

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Impacts sanitaires et coûts associés à l'ambrosie à feuilles d'armoïse en France

Rapport d'expertise collective

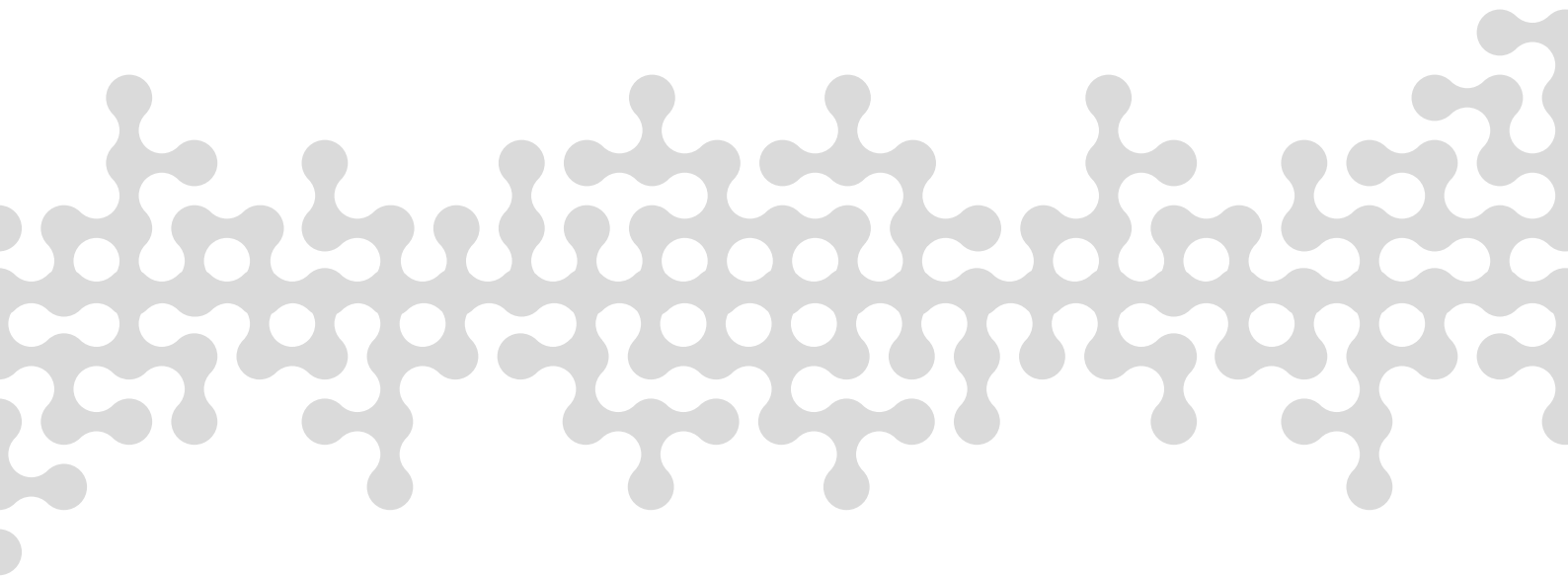
Octobre 2020 - Édition scientifique



État des connaissances sur les impacts sanitaires et les coûts associés à l'ambroisie à feuilles d'armoise en France

Rapport d'expertise collective

Octobre 2020 - Édition scientifique



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 20 octobre 2020

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à l'impact sanitaire, et coûts associés, de l'ambrosie à feuille d'armoise en France

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 05 avril 2018 par la Direction Générale de la Santé (DGS) pour la réalisation de l'expertise suivante : « état des connaissances sur l'impact sanitaire, et l'impact économique associé, de l'ambrosie à feuille d'armoise en France et estimation de leur évolution ».

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Comme l'ont souligné de précédents travaux Anses (Anses 2014), l'ambrosie à feuille d'armoise¹ émet un pollen fortement allergisant qui est facilement transportable sur de longues distances, constituant ainsi un enjeu de santé publique important. Très présente en Hongrie et au nord de l'Italie, l'ambrosie est également recensée dans la Vallée du Rhône en France. Des cartographies récentes ont mis en évidence une extension de la présence de la plante en France au cours des dernières années.

¹ Le terme « ambrosie » sera utilisé dans le reste du document en référence à l'ambrosie à feuilles d'armoise, espèce d'intérêt dans le cadre de la présente expertise.

L'impact sanitaire de l'ambrosie est régulièrement évalué en Auvergne-Rhône-Alpes, région française la plus touchée, par l'Agence Régionale de Santé (ARS) et l'Observatoire Régional de Santé (ORS). Selon une enquête téléphonique en population générale, la prévalence de l'allergie à l'ambrosie a été estimée entre 12,5% et 14,1% dans cette région, en augmentation depuis 2004 (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014). De fortes disparités spatiales sont constatées. Les dépenses liées à cette allergie (incluant utilisation de médicaments, consultations, et arrêts de travail) ont quant à elles été estimées entre 8,9 et 13,2 millions d'euros en 2014 en Rhône-Alpes (Gelas 2015). Cependant, l'impact sanitaire et économique lié à l'ambrosie reste à estimer dans le reste du territoire français (hors Auvergne-Rhône-Alpes).

Le 3^{ème} Plan national santé-environnement (2015-2019) prévoit des mesures pour la surveillance et l'évaluation de l'ambrosie en France, mais sans cadre juridique. Le décret n°2017-645 du 26 avril 2017 définit les mesures destinées à prévenir l'apparition de l'ambrosie ou lutter contre sa prolifération et dont l'application est placée sous la responsabilité des préfets après avis de l'ARS et du Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CODERST).

Dans ce cadre, la direction générale de la santé a saisi l'Anses le 05 avril 2018 afin de :

- Documenter la prévalence de l'allergie à l'ambrosie à feuilles d'armoise et son évolution au cours des dernières années en France et à l'étranger en fonction notamment du niveau d'exposition au pollen et du niveau d'infestation par la plante.
- Identifier les éventuels mécanismes et facteurs associés à l'évolution différenciée de cette prévalence. Il pourra être question des facteurs intrinsèques liés à la plante (propagation sur le territoire) ou des facteurs extrinsèques liés à l'activité humaine et au changement climatique pouvant favoriser la propagation de l'ambrosie.
- Estimer la prévalence de l'allergie à l'ambrosie pour l'ensemble du territoire national et son évolution possible sur la base de scénarios d'évolution de l'état d'infestation qui seront proposés. Une distribution par département sera recherchée.
- Évaluer le coût de l'allergie à l'ambrosie sur l'ensemble du territoire national et son évolution possible tenant compte des mêmes scénarios d'évolution. Une distribution par département de ces coûts sera recherchée.

Les impacts générés par l'ambrosie sont de nature variée. Au regard des objectifs visés, les présents travaux se sont concentrés sur l'impact sanitaire et, *in fine*, les coûts associés à cet impact. Toutefois, des données pouvant alimenter les réflexions concernant les impacts agro-environnementaux sont citées à titre informatif.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences des comités d'experts spécialisés (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » (CES pilote) et « Risques biologiques pour la santé des végétaux ». L'Anses a confié l'expertise à un groupe de travail (GT) *ad hoc*, nommé après appel à candidatures public². Les travaux ont été présentés aux CES, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques, entre le 05 juillet 2018 et le 06 juillet 2020. Ils ont été adoptés *in fine* par le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » le 6 juillet 2020.

² Le groupe de travail « ambrosie » s'est réuni à 14 reprises entre le 18 janvier 2019 et le 06 mai 2020.

Les présents travaux s'appuient sur une synthèse et une analyse critique des données publiées dans la littérature (articles scientifiques et rapports institutionnels). Des données ont également été collectées à l'occasion d'auditions d'acteurs impliqués dans la lutte contre l'ambrosie ou ayant produit une documentation scientifique d'intérêt (Observatoire des ambrosies - FREDON France, ARS Auvergne-Rhône-Alpes, et ORS Auvergne-Rhône-Alpes). Cette collecte s'est poursuivie au travers d'une consultation nationale par questionnaire auprès de professionnels de santé visant à renseigner leurs connaissances sur les problématiques sanitaires de l'ambrosie ainsi que leurs pratiques. Une consultation internationale a également été conduite afin de recueillir des informations sur l'impact (sanitaire et agro-environnemental) de l'ambrosie et les modalités de gestion adoptées le cas échéant à l'étranger. Enfin, les données nécessaires à l'estimation de l'impact sanitaire de l'ambrosie ont pu être obtenues grâce au concours :

- d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes³ ;
- de l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes ;
- du Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) ;
- du *Finnish Meteorological Institute*.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise. Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ET DU GT

Le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » a adopté les travaux d'expertise collective du GT ainsi que ses conclusions et recommandations, objets du présent avis, lors des séances des 09 juin 2020, 25 juin 2020 et 06 juillet 2020 et a fait part de cette adoption à la direction générale de l'Anses.

3.1. Synthèse des résultats

■ Description de l'ambrosie à feuille d'armoise

Taxonomie, origine et aire de distribution actuelle

L'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L., syn. *A. elatior* L.) fait partie de la famille des Asteracées (tribu *Heliantheae*, sous-tribu *Ambrosiinae*). Elle a été identifiée pour la première fois en Europe à la fin du 18^{ème} siècle. Elle est actuellement présente sur une large proportion des territoires européens, principalement entre les latitudes 42° et 52° nord. Elle est particulièrement abondante dans le sud de l'Europe de l'Est et de l'Europe centrale (principalement en Hongrie, Croatie et Serbie).

En France, le foyer principal de l'ambrosie se situe actuellement dans les vallées du Rhône et de la Loire et le Centre-Val de Loire. Depuis 2005, les populations d'ambrosie sont en pleine progression et densification sur le territoire (Figure 1) avec l'expansion récente en Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées, Bourgogne-Franche-Comté, et en Auvergne. L'ambrosie est également signalée en Martinique et Guadeloupe.

³ Associations de surveillance de la qualité de l'air pour la région Auvergne-Rhône-Alpes



Les points représentent les communes dans lesquelles il y a eu au moins un signalement de présence d'ambrosie.
Source : Observatoire de l'ambrosie, FREDON France. Cartes créées à partir des données issues du réseau des conservatoires botaniques nationaux et partenaires ainsi que des données AtlaSanté validées de la plateforme de signalement.

Figure 1. Cartes de répartition de l'ambrosie de 2005 à 2017 en France

Modes de dispersion des graines et vecteurs de propagation

Les modes de dispersion des graines et vecteurs de propagation de l'ambrosie sont multiples. La dispersion naturelle des graines se fait sur des distances courtes (barochorie, quelques mètres) à longues (hydrochorie, plusieurs kilomètres) mais est considérée d'importance faible. Les vecteurs de propagation d'origine anthropique sont plus nombreux : semences agricoles, alimentation animale, semences pour oiseaux, machines agricoles, sols contaminés, etc. Leur importance est majeure, avec une tendance à l'augmentation au cours des années ; les distances de propagation sont généralement grandes tout comme les quantités de graines dispersées.

Floraison et pollens

La floraison de l'ambrosie est induite par la réduction de la durée du jour observée après le solstice d'été et une durée de photopériode inférieure à 14 heures. La phénologie de la croissance et de la floraison des ambrosies introduites en Europe sont fortement corrélées avec la latitude. Ainsi, des ambrosies provenant des latitudes Nord de l'Allemagne fleurissent et dispersent leurs pollens et graines jusqu'à 5 semaines plus tôt que les ambrosies provenant du Sud de la France. Cette importante variabilité phénologique serait un élément facilitant son expansion future. Il semblerait également exister un gradient longitudinal dans la phénologie de la floraison, avec une émission des grains de pollens plus précoce à l'Est qu'à l'Ouest de l'Europe.

À l'échelle de la journée, l'émission des grains de pollens de l'ambrosie, conditionnée par une augmentation des températures et une humidité relative faible, advient généralement après le lever du soleil. Son émission maximale se produit le matin jusqu'au milieu de la journée (libération totale des grains en 6 heures). Les grains de pollen d'ambrosie (17-29 µm) sont sphéroïdaux et pourvus de trois sillons et trois pores. Ils se dispersent facilement dans l'atmosphère en raison de leur faible densité et de leur vitesse de sédimentation peu élevée. Les grains de pollen d'ambrosie peuvent parcourir jusqu'à quelques centaines de kilomètres selon les conditions météorologiques. Un pied peut produire de 100 millions à 3 milliards de grains de pollen selon sa taille.

En lien avec le changement climatique, à l'horizon 2060, il est attendu une augmentation des quantités annuelles de pollen d'ambrosie dans l'atmosphère et un élargissement de la zone touchée par ces pollens. L'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère a notamment un effet promoteur sur la production de pollen de l'ambrosie.

Écologie de l'ambrosie

L'ambrosie est une espèce pionnière et héliophile qui colonise actuellement tous les types d'habitats perturbés ouverts que ce soit dans son aire d'introduction, en France, comme dans son aire d'origine. C'est également une espèce rudérale qui se développe sur les bords de route, dans

les friches urbaines et périurbaines, les zones de travaux en activité, ou zones d'extraction de matériaux abandonnées. Elle colonise certains habitats semi-naturels perturbés tels que les bords des cours d'eau. Dans le domaine agricole, l'ambrosie est considérée comme une plante adventice qui affectionne les cultures de printemps (tournesol, pois, soja, maïs, etc.), les intercultures, les jachères et les friches agricoles. Dans ces milieux cultivés, elle est très compétitive et peut causer des pertes de rendement importantes, en particulier dans les cultures en rang.

L'ambrosie a une amplitude écologique très large. Elle se développe sur des sols très contrastés allant de textures sablonneuses ou limoneuses à argilo-limoneuses. Le pH optimum du sol pour son développement semble situé entre 6 et 7 mais elle est également présente en France sur des sols acides ou alcalins. L'ambrosie possède une importante capacité de résistance au stress hydrique ainsi qu'à la présence de sel et de polluants sur le bord des routes.

■ Gestion de l'espèce : stratégie, réglementation, méthodes de lutte

L'objectif principal de la gestion de l'ambrosie est de limiter la production de pollen afin de réduire les allergies qui y sont liées. L'objectif secondaire est de limiter ses effets indésirables sur la production agricole. Pour atteindre ces objectifs, Bullock *et al.* (2013) proposent une stratégie de gestion reposant sur les quatre composantes suivantes : la prévention, la lutte (mécanique, chimique, biologique), l'information des acteurs et de la population générale et la surveillance.

La prévention et la lutte contre les ambrosies en France est en grande partie organisée par les pouvoirs publics. Elle repose sur un cadre législatif et réglementaire, s'appuyant principalement sur le code de la santé publique (CSP). À l'échelle départementale, la stratégie de lutte contre l'ambrosie peut se structurer autour d'un arrêté pris par la préfecture en accord avec le directeur général de l'ARS et le CODERST lorsque la présence d'au moins une espèce d'ambrosie est constatée ou susceptible de l'être (article R. 1338-4 du CSP). En décembre 2019, il était recensé 43 arrêtés préfectoraux et 25 plans de lutte. Il est important de souligner que de nombreuses zones où l'ambrosie est présente sur le territoire hexagonal sont dépourvues d'un arrêté préfectoral.

Une identification des principales méthodes de lutte (physiques, chimiques et biologiques) a été engagée. Ces dernières visent la réduction temporaire ou durable des émissions de pollens et/ou la dissémination des semences. Les luttes mécaniques et chimiques nécessitent d'être menées sur plusieurs années afin de réduire durablement les populations d'ambrosie ; elles doivent toutes être réalisées à des stades particuliers de développement de la plante et, pour la plupart, doivent être répétées au moins deux fois par an. Les techniques faisant appel à des engins agricoles, bien qu'efficaces, sont susceptibles d'être une nouvelle source de propagation des semences d'ambrosie.

■ Dispositif de surveillance métrologique des pollens

En France, le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) est le principal système de surveillance des pollens. En 2019, il a exploité 73 sites de mesures tous pollens équipés de capteurs sur l'ensemble du territoire (Cayenne inclus) ; 10 sites supplémentaires sont spécifiquement dédiés à la surveillance des pollens d'ambrosie. La répartition des capteurs sur l'ensemble du territoire métropolitain a été optimisée afin de réduire les disparités interrégionales et le maillage a été corrigé en fonction des effectifs de population concernés par les informations polliniques. Les comptes polliniques fournis par le RNSA (en nombre de grains de pollens par m³ d'air) sont une approximation de l'exposition des populations.

Le RNSA a développé l'indicateur du risque allergique théorique (*RAth*) représentant la pertinence clinique d'un pollen pour une personne allergique dans une zone spécifique. Il s'étend de 0 (risque nul) à 5 (risque très élevé) et dépend du potentiel allergisant du pollen, de la durée de la saison pollinique, des conditions météorologiques, des comptes polliniques⁴, et de la situation géographique, *i.e.* l'infestation de la zone par l'espèce. Par la suite, le RNSA a développé le concept de risque allergique lié à l'exposition au pollen (RAEP) permettant de fournir une information prévisionnelle, à quelques jours, du risque allergique. Le RAEP est un score de risque sanitaire variant de 0 (risque nul) à 5 (risque très élevé) et intégrant des données de plusieurs natures : le *RAth*, des observations cliniques (médecins du réseau sentinelle du RNSA), des observations phénologiques hebdomadaires, et les prévisions météorologiques à quelques jours (températures, précipitations, vents). Un RAEP \geq 3 est considéré cliniquement pertinent, c'est-à-dire que les personnes allergiques ont de forte chance de présenter des symptômes. Une correspondance entre RAEP et comptes polliniques a également été mise en place par le RNSA. Dans le cas de l'ambrosie, un RAEP \geq 3 en zone infestée correspond à \geq 6 grains de pollens d'ambrosie⁵ par m³ d'air sur une journée, concentration à partir de laquelle les symptômes allergiques peuvent apparaître chez les personnes malades.

■ Modélisation de la distribution spatiale de l'ambrosie et de ses pollens

La modélisation est un outil particulièrement intéressant pour simuler ou prédire la distribution spatiale de l'ambrosie et de ses pollens. Ces prédictions reposent sur une succession de modèles numériques caractérisant la météorologie de la zone géographique d'intérêt, les émissions des pollens simulées à partir d'une cartographie détaillée de la plante, et la dispersion des pollens dans l'air.

Distribution spatiale de l'ambrosie

Dans la littérature traitant de l'ambrosie, trois approches ont été utilisées pour construire des cartographies détaillées de la distribution spatiale de la plante. La première approche est basée sur un inventaire de présence et d'absence. On parle d'approche *bottom-up* (ascendante) car la distribution est construite sur la base d'observations ou de signalements sur le terrain. La seconde approche exploite les comptes polliniques obtenus en stations couplés à des données d'occupation des sols. Elle est dite *top-down* (descendante) car la mesure des pollens est utilisée comme donnée d'entrée pour obtenir une cartographie de la source émettrice. Trois publications permettent de suivre l'évolution méthodologique de l'approche descendante, aboutissant à la création d'un inventaire européen de l'ambrosie. La troisième approche est basée sur l'utilisation de modèles écologiques de l'ambrosie modélisant la présence et la prolifération de la plante. Ces approches mathématiques sont particulièrement pertinentes pour l'élaboration de scénarios de prolifération en lien avec le changement climatique à long terme ou avec la mise en place de politiques de contrôle ou de gestion

L'approche descendante combinant comptes polliniques et occupations des sols présente les meilleures performances prédictives alors que les cartes issues de la modélisation écologique donnent, de manière très nette, les moins bons résultats. Dans le cadre de la modélisation continue des niveaux de pollens, l'approche descendante semble donc être à privilégier ; elle est simple et dispose de perspectives d'amélioration intéressantes.

Émissions de pollens

⁴ Compte pollinique : comptage du nombre de grains de pollen dans l'air pour un taxon.

⁵ Pour information, la valeur correspondante pour les pollens de graminées est \geq 10 grains par m³ d'air.

La paramétrisation des émissions de pollens a pour objectif de représenter la quantité totale de pollens émise par la plante ainsi que la temporalisation de ces émissions. Des modules de traitement des émissions sont inclus dans les modélisations de référence existantes telles que COSMO-ART, SILAM, CHIMERE, et regCM⁶. L'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a, quant à elle, adopté une approche empirique, sur la base des comptes polliniques mesurés depuis 2002, pour caractériser les émissions des pollens d'ambrosie sur son territoire.

Dispersion des pollens

Le modèle de dispersion des pollens constitue le dernier maillon de la chaîne de modélisation et permet de cartographier les niveaux de pollens dans l'air après leur émission par la plante. Les modèles initialement développés pour les polluants atmosphériques usuels ont été adaptés aux pollens. Pour les pollens d'ambrosie, les systèmes COSMO-ART et SILAM ont été plus particulièrement expertisés.

Le modèle de dispersion COSMO-ART considère la météorologie et la dispersion dans une même simulation. Cette approche permet notamment de modéliser les interactions entre météo et qualité de l'air, par exemple des interactions entre aérosols et nuages. Il ressort de la littérature que les performances prédictives du système COSMO-ART sont bonnes, à la fois dans la représentation de la distribution de l'ambrosie et dans la représentation des processus aboutissant à l'émission des grains de pollen.

Le modèle de chimie-transport SILAM, développé par le *Finnish Meteorological Institute*, est exploité pour modéliser les concentrations des polluants dans l'air ambiant, dont les pollens d'ambrosie, sur toute l'Europe. Après calibration des sorties du modèle, les niveaux de pollens dans l'air sont considérés bien modélisés en Europe.

Évolution des cartographies selon différents scénarios futurs

La modélisation de la propagation de l'ambrosie et de la dispersion des pollens permet notamment de prédire l'évolution de cette propagation et des concentrations de pollens selon différents scénarios futurs en lien avec le changement climatique, les changements d'occupation des sols (urbanisation, politiques agricoles) ou le contrôle de la prolifération (politiques publiques).

Les scénarios de changement climatique et d'occupation des sols examinés par Bullock *et al.* (2013) prévoient tous un déplacement des zones infestées vers le Nord de l'Europe d'ici à 2050, résultant de l'augmentation de la qualité climatique de l'environnement pour l'ambrosie. Un même déplacement des nuages de pollen d'ambrosie est également prédit, reflétant le déplacement de la répartition de l'espèce.

Les résultats du projet ATOPICA⁷ montrent, aux horizons 2060, un allongement des saisons polliniques et une augmentation des niveaux de pollens dans toute l'Europe, y compris dans des zones aujourd'hui non infestées. La dispersion des graines est responsable d'une augmentation de 29% à 44% des concentrations de pollens dans l'air, alors que l'impact du changement climatique est estimé bien inférieur, entre 13% et 17%.

Ces modélisations à long terme présentent de nombreuses limites liées à l'utilisation de modèles écologiques peu fiables et à l'absence de processus de calibration ou de validation des sorties de modèles en raison de l'absence de données mesurées. Les incertitudes associées aux résultats

⁶ **COSMO-ART** : mis en œuvre par Météo Suisse, extension du modèle météorologique existant COSMO. **SILAM** : *System for Integrated modeLLing of Atmospheric composition*, développé par *Finnish Meteorological Institute*. **CHIMERE** : modèle de chimie-transport développé par l'Institut P.S.Laplace CNRS et l'INERIS. **RegCM** : *The Regional Climate Model System*, développé par le *National Center for Atmospheric Research*. Tous initialement développés pour modéliser les polluants atmosphériques usuels, ils sont aujourd'hui adaptés à la modélisation de certains pollens.

⁷ Le projet ATOPICA a été financé par le septième programme-cadre de l'Union européenne : FP7/2007-2013 n°282687.

sont donc nombreuses, ce qui réduit leur pertinence dans une optique d'évaluation d'impact sanitaire (futur).

■ État des connaissances sur l'allergie et spécificités de l'allergie à l'ambroisie

Principe

L'allergie relève d'un mécanisme d'hypersensibilité initié par une réaction immunitaire spécifique à une substance étrangère à l'organisme – un allergène. Elle comporte une première étape de sensibilisation, sans expression clinique, où la présentation de l'allergène aux muqueuses aboutit à une réaction immunitaire caractérisée par la production d'immunoglobuline E spécifique. Une seconde étape se caractérise par l'apparition de symptômes lors du contact de l'allergène avec les muqueuses. L'évolution vers cette seconde étape n'est cependant pas systématique. La temporalité aboutissant à la sensibilisation allergique et aux symptômes est mal connue. Cette séquence d'évènements, appelée marche allergique, survient généralement à un stade précoce de la vie et peut persister des années ou bien disparaître spontanément avec l'âge. Plusieurs facteurs de risques environnementaux et individuels, ainsi que leurs potentielles interactions, entrent en jeu dans le développement et l'apparition de l'allergie. Dans la majorité des cas, les symptômes cliniques de l'allergie apparaissent avant 20 ans, âge autour duquel s'observe la prévalence la plus élevée.

↳ L'allergie au pollen d'ambroisie possède certaines particularités. Plusieurs études européennes soulignent que la plupart des adultes nouvellement allergiques à l'ambroisie ne présentait pas de prédisposition génétique favorable. En Europe, l'âge moyen d'apparition de l'allergie est plus élevé pour les pollens d'ambroisie (>30 ans) que pour les autres pollens. Néanmoins, aux États-Unis, où l'ambroisie est native, la sensibilisation allergique s'observe dès le plus jeune âge. De manière cohérente, dans les zones d'infestation historique de l'ambroisie en Europe, telles que la France et la Hongrie, la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie s'observe chez les plus jeunes.

Rhinite allergique

La rhinite allergique représente l'ensemble des manifestations fonctionnelles nasales engendrées par le développement de l'inflammation provoquée par l'exposition des muqueuses à un aéroallergène. Les symptômes typiques sont une rhinorrhée aqueuse, des éternuements, une obstruction nasale et un prurit nasal. L'inflammation peut dépasser la sphère nasale et atteindre les voies lacrymales et la conjonctive. Les symptômes incluent alors conjonctivite, démangeaison, rougeur, larmolement et gonflement des paupières.

↳ La rhinite allergique ou pollinose à l'ambroisie s'exprime par les symptômes typiques évoqués ci-dessus mais présente quelques particularités. Il s'agit tout d'abord d'une rhinite allergique de fin d'été ou début d'automne. Le pic de pollinisation est généralement attendu entre mi-août et mi-septembre en France, ce qui l'individualise des autres pollens reconnus très allergisants – bouleau, cyprès, et graminées. En raison de son fort potentiel allergisant, le pollen d'ambroisie est supposé provoquer des symptômes chez les individus allergiques dès que 6 grains sont présents par m³ d'air. Ce seuil, très faible, rend les symptômes difficiles à prévoir et à contrôler. Il est très probable que des niveaux plus élevés provoquent des symptômes proportionnellement plus sévères ou plus difficiles à contrôler.

Diagnostic

Le diagnostic clinique de l'allergie ou de la rhinite allergique se base sur l'existence de symptômes typiques, l'identification du caractère allergique de ces symptômes, et l'identification de l'allergène en cause – notamment grâce à l'existence ou l'absence d'une saisonnalité ou d'un facteur déclenchant. Un test cutané vient généralement corroborer l'hypothèse diagnostique en indiquant l'existence d'une sensibilisation allergique. Si les examens cutanés sont peu concluants ou doivent être validés, des tests biologiques sont réalisés par des techniques immunochimiques *in vitro* pratiquées sur sérum. Ces tests cutanés ou sanguin n'indiquent que l'existence d'une

sensibilisation allergique ; l'allergène en question n'est pas forcément à l'origine des symptômes observés.

↳ Le diagnostic de l'allergie à l'ambroisie suit les mêmes étapes. La saisonnalité des symptômes est assez individualisée de celle d'autres pollens, aidant ainsi à son identification comme facteur déclenchant. La localisation géographique et les déplacements des malades sont également à prendre en compte dans le diagnostic. Pour être allergique à l'ambroisie, un patient présentant des symptômes estivaux devra avoir été en contact avec le pollen d'ambroisie dans le passé – sauf dans le cas d'une potentielle allergie croisée.

Prise en charge et traitement

La prise en charge de la rhinite allergique repose sur la mise en place d'un traitement médicamenteux pour soulager le patient de ses symptômes, le contrôle ou l'éviction des facteurs déclenchants les symptômes, et l'éducation des patients – sur l'allergie en général et sur son traitement pour améliorer l'observance thérapeutique. En dépit du caractère pénible des symptômes, la rhinite allergique est souvent sous diagnostiquée et sous traitée, car elle est considérée comme banale. Les traitements médicamenteux de première intention ont pour objectif de soulager le malade en diminuant l'intensité des symptômes. Les traitements sont identiques quel que soit l'allergène déclencheur de la rhinite allergique. Deux classes thérapeutiques complémentaires sont les plus représentées : les antihistaminiques et les corticoïdes en pulvérisations nasales. Une thérapie combinée semble être un choix pertinent selon les dernières recommandations internationales. Dans les cas les plus sévères ou invalidants, la désensibilisation ou immunothérapie spécifique est envisagée. Elle vise à induire une tolérance de l'organisme vis-à-vis d'un allergène d'intérêt.

↳ La prise en charge et le traitement de la rhinite allergique au pollen d'ambroisie suivent le schéma général décrit ci-dessus. Les recommandations visant à réduire l'exposition au pollen sont primordiales dans les zones infestées par la plante et les zones de front.

Comorbidités

De nombreuses comorbidités coexistent avec la rhinite allergique ; l'asthme est sans doute la plus fréquente. Bien qu'ils impliquent tous deux les mêmes cellules et médiateurs inflammatoires, l'asthme touche les voies respiratoires inférieures alors que l'allergie, quand elle est respiratoire, touche les sphères supérieures (yeux, nez, gorge). L'asthme est une maladie inflammatoire chronique des voies aériennes qui se manifeste classiquement par un trouble ventilatoire obstructif réversible (spontanément ou à l'aide d'un traitement), une hyperréactivité bronchique et/ou des épisodes récurrents de symptômes respiratoires – notamment essoufflement, sifflements dans la poitrine, ou toux. Les symptômes sont épisodiques et peuvent survenir après l'effort ou après contact avec un facteur déclenchant. L'allergie est un facteur de risque majeur de l'asthme c'est-à-dire qu'elle le précède bien souvent. Jusqu'à 85% des individus asthmatiques ont une rhinite allergique et 40% des individus avec une rhinite allergique présentent un asthme.

↳ L'allergie à l'ambroisie semble s'accompagner d'asthme plus fréquemment que les autres pollinoses comme en témoignent de nombreux professionnels de santé consultés dans le cadre des présents travaux. Mais les données de la littérature scientifiques sur ce point sont rares.

Perte de qualité de vie

La rhinite allergique impacte grandement la qualité de vie des individus. Elle peut générer des conséquences négatives en matière de vie sociale et professionnelle, tant chez l'adulte que sur des populations plus jeunes. Un absentéisme scolaire accru et une perte de performance académique ont été décrits.

↳ L'allergie à l'ambroisie ne fait pas exception. Au regard des retours de la consultation nationale réalisée auprès de professionnels de santé dans le cadre de cette expertise, elle apparaît même comme particulièrement invalidante en comparaison d'autres allergies polliniques. Cependant,

dans la littérature, il n'existe pas de comparaison de l'impact de la pollinose à l'ambroisie et de la pollinose aux graminées sur la qualité de vie.

Outils épidémiologiques

Plusieurs questionnaires en lien avec l'allergie ont été proposés et validés par la communauté scientifique. Ils peuvent inclure des questions sur les symptômes typiques (yeux, nez, gorge) ou sur le diagnostic en lui-même (allergie, rhinite, rhume des foins). La question la plus informative pour identifier les individus présentant une rhinite mentionne l'occurrence de symptômes (« des problèmes d'éternuements, de nez qui coule ou de nez bouché ») sans présence d'infection respiratoire (« quand vous n'étiez pas enrhumé ou n'aviez pas la grippe »). Certains questionnaires récents demandent aux répondants de lister les déclencheurs des symptômes (animaux, poussières, pollens, autres) et/ou intègrent des questions portant sur la temporalité des symptômes au cours de l'année écoulée (fréquence par saisons ou par mois). Des données cliniques, telles que la sensibilisation allergique, peuvent être collectées dans un sous-échantillon de la population d'étude afin de combiner cette information à celles issues des questionnaires.

↳ Il n'existe pas de questionnaire standardisé spécifique à l'ambroisie. Identifier les individus allergiques à l'ambroisie nécessite donc l'utilisation combinée de questions mentionnant les symptômes ou le diagnostic et/ou de questions précisant le déclencheur ou la temporalité des symptômes. La mesure de la sensibilisation allergique peut également être utilisée si celle-ci est disponible.

Les bases de données médico-administratives sont un outil émergent permettant d'identifier, à grande échelle, des individus malades sur la base de leurs remboursements ou consommation de soins. Cependant, l'utilisation de ces bases n'est pertinente que lorsque l'expression d'une pathologie est intrinsèquement et spécifiquement liée aux actes enregistrés, sinon un biais de classification peut être introduit. Les médicaments considérés à ce jour dans la littérature pour identifier les individus allergiques d'après des bases de données médico-administratives sont ceux utilisés en première intention pour atténuer les symptômes.

↳ Il n'existe pas de définition spécifique et validée de la rhinite allergique au pollen d'ambroisie sur la base de données médico-administratives. Identifier les individus allergiques à l'ambroisie avec de telles données nécessiterait l'utilisation d'une ou plusieurs définitions disponibles dans la littérature, combinée à un indicateur de période de temps, tel que le mois ou la saison pollinique.

■ **Prévalence de l'allergie aux pollens d'ambroisie**

Près d'un tiers des adultes souffriraient d'allergie aux pollens en France (tous types) ; cette prévalence serait moindre chez les enfants et les adolescents, comprise entre 7% et 20%. Une estimation précise en population est cependant difficile à obtenir en raison de l'hétérogénéité des données disponibles (méthodes, populations d'études). Il existe également une forte variation géographique, dépendant des types de pollens observés dans l'air et de leurs quantités respectives. En France en 2006, la prévalence de la rhinite allergique variait de 26% dans le sud-ouest à 37% près de la Méditerranée. Enfin, la banalisation de la rhinite allergique en fait une pathologie généralement sous-déclarée par les participants de ces études.

↳ L'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie se heurte aux mêmes limites. De grandes études européennes incluent désormais la mesure de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans leurs panels de tests cutanés, permettant ainsi d'estimer la prévalence de cette sensibilisation à grande échelle. Des études locales, très souvent en zones infestées par l'ambroisie, ont également été menées. Ces dernières s'intéressent plutôt à la quantification ou à l'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie sur leurs territoires en considérant la sensibilisation allergique (mesurée chez des patients recevant un examen allergologique par exemple) ou la présence de symptômes (avec des questionnaires détaillés sur la saisonnalité et les déclencheurs).

En France

En 1999, une enquête téléphonique conduite par le CAREPS⁸ permettait d'estimer que 8,5% de la population rhônalpine était allergique à l'ambrosie. En 2004 et 2014, des mises à jour de ce chiffre ont été réalisées au travers des études financées par l'ARS Rhône-Alpes, permettant d'apprécier l'évolution de cette prévalence au cours du temps, en lien avec la présence de la plante (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014). Avec une méthodologie proche de celle pratiquée en 1999, la prévalence de l'allergie à l'ambrosie a été estimée à 9,2% en 2004 et 13,3% en 2014. Cette augmentation s'explique en grande partie par la hausse du nombre de cas en zones considérées fortement exposées au pollen (de 10,6% à 21,0%). La hausse de la prévalence au cours du temps est attendue et vraisemblable au regard de la propagation de la plante, l'augmentation des niveaux de pollens dans l'air, et l'évolution naturelle de l'allergie (de la sensibilisation allergique vers la manifestation clinique). L'amplitude de cette augmentation est cependant incertaine en raison des différences méthodologiques relevées entre les enquêtes de 2004 et 2014.

Les données de remboursement des soins de la sécurité sociale ont été exploitées depuis 2009 en Rhône-Alpes pour quantifier l'impact sanitaire de l'allergie à l'ambrosie. Les individus allergiques à l'ambrosie ont été identifiés en couplant les remboursements de médicaments (« traceurs » de l'allergie) à la saison pollinique (de juillet à octobre) sur les années 2012, 2013, 2014, et 2017. En 2012, la prévalence de l'allergie à l'ambrosie était ainsi estimée entre 4,2% et 5,3%, pouvant atteindre 8,6% au niveau cantonal (Gelas 2013). En 2013 et 2014, les chiffres correspondants étaient très similaires (de 3,9% à 5,1% et de 3,5% à 4,7%, respectivement) (Gelas 2015). En 2017, sur la nouvelle région Auvergne-Rhône-Alpes, l'estimation atteignait 10,1%, et jusqu'à 37,3% dans certaines communes (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018). Les chiffres de 2017 sont difficilement comparables aux précédents, en raison de méthodologies différentes : région plus grande, base de données plus complète, et liste des médicaments « traceurs » incluant pour la première fois les médicaments antiasthmatiques.

En Europe

Dans le cadre du projet ATOPICA, l'impact sanitaire actuel et futur de l'ambrosie a été estimé en Europe par Lake *et al.* (2017). Une relation exprimant la proportion de la population présentant une sensibilisation allergique à l'ambrosie en fonction des niveaux de pollens (annuels) dans l'air a été construite d'après des données de la littérature. Cette relation a ensuite été appliquée à des cartographies des niveaux annuels de pollens d'ambrosie spécifiquement modélisés dans le cadre du projet. L'Europe des 28 comptabiliserait aujourd'hui entre 23 et 34 millions d'individus sensibilisés à l'ambrosie. Cette fourchette atteindrait 62 à 79 millions à l'horizon 2060 en raison de la propagation de la plante dans les zones aujourd'hui épargnées et de l'augmentation attendue des niveaux de pollens dans l'air, en partie en lien avec le changement climatique. Les incertitudes sont nombreuses autour de ces estimations d'impact sanitaire, notamment en raison du choix de la sensibilisation allergique comme événement d'intérêt (sans pertinence clinique systématique), de la relation appliquée (peu fiable aux faibles concentrations, similaire pour toutes les zones, et présentant un large intervalle de confiance), et de la modélisation des niveaux de pollens actuels et futurs.

■ **Approches mobilisables pour l'estimation des coûts imputables à l'ambrosie**

La nature des coûts et la manière de les valoriser peuvent être significativement influencées par le point de vue considéré au sein de l'analyse économique^{9,10}. Dans la perspective d'adopter une

⁸ Centre Rhône-Alpes d'Épidémiologie et de Prévention Sanitaire.

⁹ En fonction du point de vue adopté, le périmètre des coûts peut varier. Le rapport sénatorial de Husson et Aïchi (2015) relatif à la pollution de l'air rappelait en 2015 que se contenter de mesurer l'impact sanitaire de la pollution de l'air en

vision large sur le plan économique, les experts ont fait le choix de procéder à l'expression des coûts quelle que soit la nature de l'acteur.

L'estimation des coûts des impacts générés par l'ambrosie peut se concrétiser au travers de différentes méthodologies, témoignant de diverses réalités (Tableau 1). Dans une optique comptable, il est possible de ne considérer que les coûts au regard de leur valorisation marchande, dans la mesure où celle-ci existe. Cette approche « financière » peut être dépassée par une vision économique au travers du coût d'opportunité. L'approche économique rencontre comme principal écueil l'absence de nombreuses données (notamment relatives à la disposition à payer). Il est à noter que l'ambrosie représente également un coût pour la société au travers des dispositifs de surveillance et de gestion.

Tableau 1. Typologie des impacts, coûts et approches mobilisables en matière de monétarisation

		Coût considéré	Approche économique	Approche financière
Impacts de l'ambrosie	Santé humaine	Prise en charge	✓	✓
		Pertes de production	✓	✓
		Qualité de vie	✓	✗
		Choix de localisation	✓	✗
		Entourage du malade - empathie	✓	✗
		Population exposée et non allergique - Valeur du risque	✓	✗
	Agriculture*	Pertes de rendement		✓
		Coût de gestion		✓
		Choix culturaux sous optimaux		✓
	Faune et flore sauvages	Pertes de services écosystémiques	✓	✗

* La dichotomie entre l'approche financière et l'approche économique n'est plus opérante du fait de l'étude de l'impact de l'ambrosie sur une activité de production, visible au travers de valeurs marchandes.

Coûts de la prise en charge

Dans le cas de l'allergie à l'ambrosie, la démarche la plus aboutie en matière d'étude des coûts des soins est développée dans une série de rapports diligentée par l'ARS auprès de l'ORS en région Auvergne-Rhône-Alpes. À l'échelle de la région, le coût global de la consommation de soins¹¹ relative à l'allergie à l'ambrosie (incluant les arrêts de travail) est estimé à plus de 40,6 millions d'euros en 2017 (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018). Dans une vision

termes de produit intérieur brut [=dépenses] constituerait une approche restrictive, qui ne conduirait à prendre en compte qu'un seul aspect du coût (le coût pour les finances publiques) et donc à exclure une grande partie du coût supporté par la société.

¹⁰ HAS. 2011. Guide méthodologique - choix méthodologiques pour l'évaluation économique à la HAS : Haute Autorité de Santé. Recommandation 2 : le choix de la perspective

¹¹ Pour l'ensemble de ces coûts, la valorisation correspond au coût total, au montant global de la dépense, incluant la part remboursée par l'Assurance Maladie et aussi la part non remboursée par l'Assurance Maladie à la charge du patient.

resserrée excluant les coûts pour l'Assurance Maladie des arrêts maladies, le coût moyen annuel par personne allergique prise en charge serait de 53€.

Dans le cadre d'une approche financière, l'estimation des ARS/ORS Auvergne-Rhône-Alpes apparaît comme la plus robuste et la mieux adaptée pour une généralisation à l'échelle nationale. Cette approche est toutefois à considérer comme une vision partielle des coûts qui ne prend en considération qu'une partie de la valeur économique attribuée aux traitements. Elle constitue donc une estimation basse des coûts financiers.

Il n'existe pas de disposition à payer¹² (DAP) pour l'ensemble des stratégies thérapeutiques en lien avec les conséquences sanitaires de l'ambrosie.

Coûts de la perte de production

Un travailleur malade du fait d'une allergie à l'ambrosie peut générer deux types de pertes économiques au travers de son activité productive, variable en fonction des conséquences de la pathologie : i) le travailleur peut être absent de son poste de travail ce qui peut entraîner une perte de production, et ii) le travailleur peut être présent à son poste de travail mais avec une capacité de production réduite au regard de son état de santé – baisse de productivité qui se traduit *in fine* par une perte de production.

Il est envisageable de considérer que le coût de l'ambrosie sur le marché de l'emploi est mesuré par les dépenses de sécurité sociale associées pour les personnes salariées. Le rapport des ARS-ORS Auvergne-Rhône-Alpes est donc un bon indicateur sur ce point. Le coût moyen annuel des arrêts de travail a été estimé à 8,60€ par personne allergique prise en charge. La comptabilisation des pertes de production pour les non-salariés est beaucoup plus complexe et peut s'obtenir par le biais d'enquêtes spécifiques sur la DAP.

Coûts de la perte de qualité de vie

Une santé détériorée correspond à une perte de bien-être. De nombreuses méthodes ont été créées afin de caractériser un état de santé notamment au travers de questionnaires standardisés génériques ou spécifiques à une pathologie. Cet état de santé peut alors être traduit en préférence pour l'individu. Schématiquement, l'utilité associée à une qualité de vie est notée dans un intervalle compris entre 0, correspondant à un décès, et 1 lorsqu'un individu possède une parfaite santé. Ce raisonnement peut s'appliquer dans des contextes de mortalité et de morbidité. La combinaison de ces situations peut conduire à la détermination d'un indicateur d'impact sanitaire, qui peut être valorisé sur le plan économique.

Comme l'indique le Collège des économistes de la santé dans sa recommandation n°17, la valeur statistique de la vie humaine peut se mesurer de deux façons : selon l'approche dite du capital humain, par le calcul du revenu *per capita* actualisé sur l'espérance de vie de la population française, et selon l'approche de la théorie du bien-être, par la valorisation faite par les individus des années de vie gagnées.

En France, des valeurs tutélaires (notamment la valeur de l'année de vie, valeur de la vie statistique) ont été fixées à la suite du rapport de la commission Quinet (Quinet 2013). Celles-ci sont des valeurs consensuelles et non des estimations statistiques au sens classique ; elles ne sont pas accompagnées d'intervalles de confiance. Elles proviennent d'une compilation interprétative de la littérature internationale qui prend certaines positions dont, entre autres, le taux d'actualisation à utiliser et le fait que la valeur soit présentée de manière inconditionnelle (sans référence à l'âge ou autres facteurs sociodémographiques). La donnée de référence utilisée dans le cas présent est la valeur d'une année de vie en bonne santé, fixé à 115 000€ en 2010.

¹² Disposition à payer : montant maximal qu'un individu serait prêt à payer pour obtenir un bien.

Autres types de coûts

D'autres coûts, difficilement quantifiables, peuvent être évoqués en lien avec l'impact sanitaire de l'ambrosie :

- Valeur du risque : s'il y avait un marché d'assurance pour se prémunir du risque d'allergie, les dépenses devraient être indiquées dans le rapport ORS-ARS. Le marché n'est qu'une forme de monétarisation du risque (partielle puisque le marché ne capture pas la totalité de la DAP).
- Valeur du préjudice subi par les proches d'une personne allergique.
- Contraintes sur le choix d'un logement ou d'une profession qui peuvent se traduire par une perte de bien-être pour les individus concernés.

Estimation des coûts dans le domaine agro-environnemental

L'évaluation des impacts agro-environnementaux de l'ambrosie a fait l'objet d'une étude approfondie par Bullock *et al.* (2013). Les auteurs ont cherché à évaluer les impacts générés par l'ambrosie sur la santé animale, la biodiversité, l'agriculture ou encore aux environnements sauvages. Les impacts économiques les plus importants concernent le domaine agricole.

Les impacts agricoles de l'ambrosie concernent principalement les cultures¹³ et peuvent être définis selon deux types : des impacts directs liés à l'activité productive et des impacts indirects ou cachés dus aux choix des exploitants. La dichotomie entre l'approche financière et l'approche économique n'est plus opérante ici du fait de l'étude sur une activité de production visible au travers de valeurs marchandes. Il ressort de la littérature que de nombreuses cultures sont impactées par la présence d'ambrosie, notamment les cultures de printemps : tournesol, sorgho, maïs, soja, pois, et blé/orge d'hiver. Moins fréquemment, voire de manière anecdotique, d'autres cultures sont concernées : betterave à sucre, tabac, citrouilles, haricots rouges, vigne, pomme de terre, et carotte. Trois types de coût peuvent être évoqués : les pertes de rendement, les coûts liés à la gestion de l'ambrosie, et les coûts liés aux choix culturels sous-optimaux.

■ **Estimation de l'impact sanitaire de l'ambrosie et des coûts associés**

Des évaluations de l'impact sanitaire de l'ambrosie ont été publiées dans la littérature scientifique à l'échelle européenne (Schaffner *et al.* 2020, Lake *et al.* 2017). Ces travaux ont considéré la sensibilisation allergique au pollen d'ambrosie comme indicateur de l'impact sanitaire. Néanmoins, dans le cadre de la présente saisine, l'allergie à l'ambrosie avec une expression des symptômes a été retenue comme indicateur d'intérêt car elle reflète une pertinence clinique.

La prévalence actuelle de l'allergie à l'ambrosie a ainsi été estimée à l'échelle des établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) métropolitains. Une monétarisation a été réalisée en lien avec cet impact sanitaire. Les données françaises disponibles en Auvergne-Rhône-Alpes ont été exploitées.

Estimation de l'impact sanitaire

Quatre relations exposition-risque¹⁴ ont été développées et reposent sur l'utilisation des données médico-administratives produites à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2017 (ORS et

¹³ Les animaux peuvent être allergiques au pollen d'ambrosie mais cet impact reste vraisemblablement mineur.

¹⁴ Une relation exposition-risque décrit mathématiquement l'association entre une dose d'exposition et une réponse observée (apparition d'un effet sur la santé ou présence d'un risque) sur une période de temps donnée. Dans le cas présent, une concentration (grains de pollens/m³ d'air) et une prévalence (proportion d'individus malades dans la population) sont utilisés comme proxy de l'exposition et du risque, respectivement. Par souci de simplification, et en respectant l'usage commun des évaluations d'impact sanitaire, la terminologie « exposition-risque » est conservée.

ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018). La prévalence (en % de la population âgée de 7 à 74 ans) de l'allergie à l'ambrosie à l'échelle des communes a été mise en relation avec les données d'exposition modélisée par l'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur le territoire régional pour la même année. Deux indicateurs d'exposition ont été dérivés : le nombre de grain de pollens total annuel et le nombre de jours avec ≥ 6 grains/m³ (correspondant au nombre de jour avec un RAEP ≥ 3) dans l'année. Une agrégation de ces données a été réalisée à l'échelle des EPCI *via* une moyenne pondérée par le nombre d'habitants. Cette échelle a été privilégiée car elle permet une représentation graphique fine mais lisible, et elle est également pertinente d'un point de vue de gestion locale. La relation entre le risque (prévalence) et l'exposition (nombre de grain total annuel et nombre de jours avec ≥ 6 grains/m³) a été exprimée par un modèle log et par un modèle log-log générant ainsi quatre relations exposition-risque :

- Relation 1) : prévalence en % = log(nombre de grain total annuel) ;
- Relation 2) : log(prévalence en %) = log(nombre de grain total annuel) ;
- Relation 3) : prévalence en % = log(nombre de jours avec ≥ 6 grains/m³) ;
- Relation 4) : log(prévalence en %) = log(nombre de jours avec ≥ 6 grains/m³).

Afin d'obtenir une estimation de la prévalence de l'allergie sur l'ensemble du territoire métropolitain, ces quatre relations exposition-risque ont été appliquées à des données d'exposition modélisées par le système SILAM pour la France métropolitaine sur la période 2005-2011.

Une représentation cartographiée de l'impact sanitaire de l'ambrosie, en termes de prévalence de l'allergie, associée à chacune des quatre relations exposition-risque est disponible en Figure 2. L'estimation chiffrée par départements métropolitains est disponible en Annexe de ce document. La plus forte prévalence est observée en région Auvergne-Rhône-Alpes ; entre 540 000 et 764 000 personnes seraient allergiques à l'ambrosie selon la relation considérée. De fortes disparités spatiales sont constatées entre les EPCI (forte prévalence dans la vallée du Rhône et faible prévalence dans les zones alpines). De fortes prévalences sont également observées dans certains EPCI de la région Bourgogne-France-Comté, en Provence-Alpes-Côte d'Azur, et en Centre-Val de Loire.

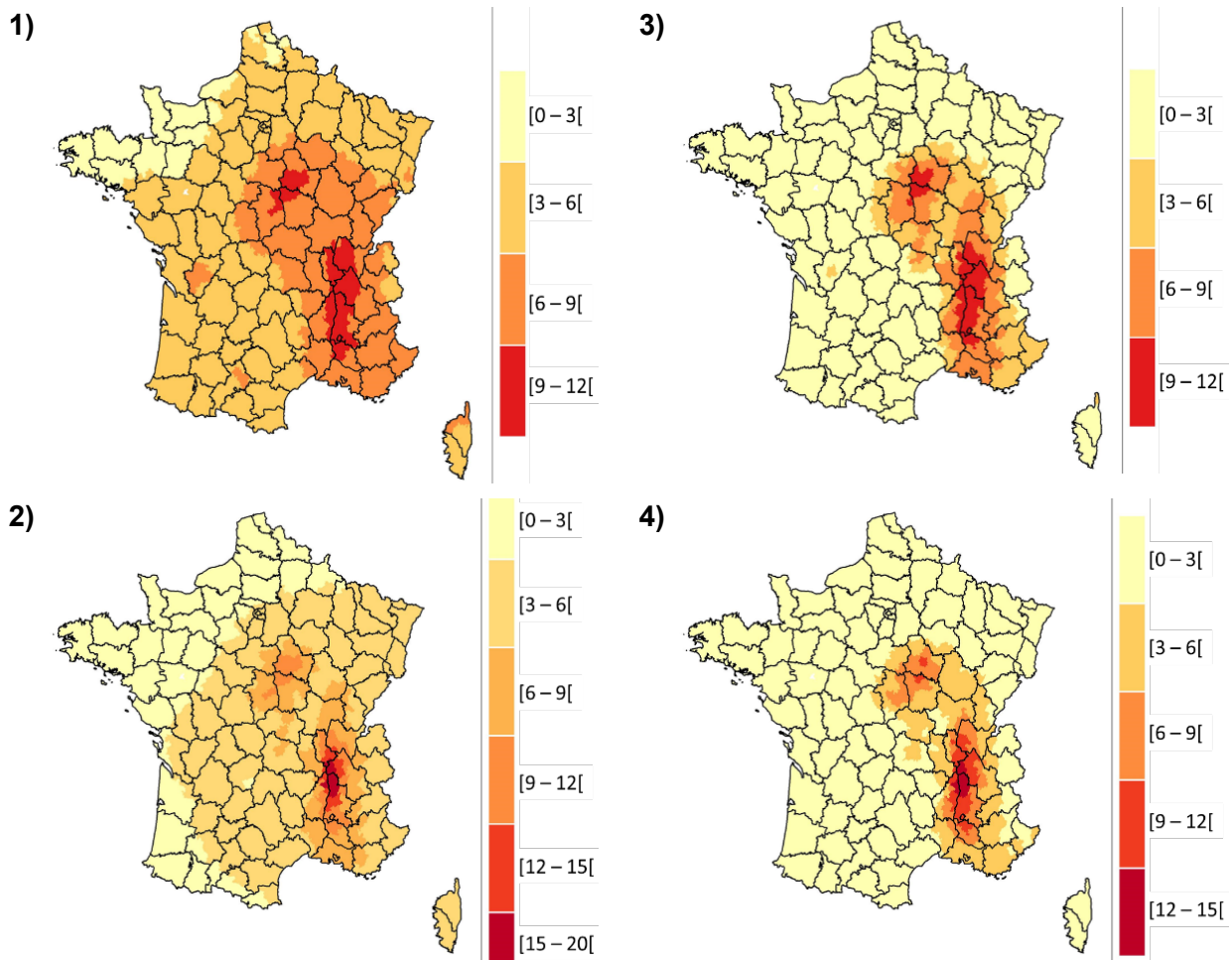
Monétarisation de l'impact sanitaire

Au regard des données disponibles, trois postes de coûts ont été estimés :

- Le coût de la prise en charge (dans le cadre d'une approche financière) ;
- Le coût des pertes de production (dans le cadre d'une approche financière) ;
- Le coût de la perte de qualité de vie (dans le cadre d'une approche économique).

Les coûts de prise en charge et ceux associés à l'estimation des pertes de production sont, par construction, proportionnels aux estimations de la prévalence. Les coûts de la perte de qualité de vie ne montrent pas la même répartition spatiale que les coûts précédents car elles incluent la durée de la pathologie et rendent compte du fardeau supporté par les populations malades. À l'échelle nationale, selon la relation considérée :

- Les coûts de prise de charge sont estimés entre 59M€ et 186M€ ;
- Les coûts des pertes de production sont estimés entre 10M€ et 30M€ ;
- Les coûts de la perte de qualité de vie sont estimés entre 346M€ et 438M€.



Estimation centrale de la prévalence dans les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) métropolitains. Valeurs issues de l'application des quatre relations exposition-risque sur les données modélisées moyennes de SILAM pour la période 2005-2011. En noir : les contours des départements.

Figure 2. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) en France pour les différentes relations exposition-risque générées (1 à 4) à partir des données françaises

Discussions

Cette expertise constitue la première tentative de calcul de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France métropolitaine *via* l'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie. L'utilisation de cet indicateur, qui reflète une pertinence clinique, permet d'améliorer les travaux existant à l'échelle européenne dans la littérature. L'estimation des coûts associés à cet impact sanitaire bénéficie grandement de cette amélioration. Les résultats présentés doivent cependant être interprétés avec précaution considérant :

- Les limites inhérentes à la construction de la relation exposition-risque, en lien notamment avec le traçage de la courbe, et la définition des indicateurs la composant, tels que les biais de classification potentiels ;
- L'absence de prise en compte de paramètre individuel ou environnemental dans la construction des relations exposition-risque. En outre, les relations proposées ne représentent pas un risque individuel ;
- La non spécificité de certaines données économiques concernant la problématique de l'ambroisie. À titre d'illustration, aucune disposition à payer permettant de se prémunir du risque d'une allergie à l'ambroisie n'est disponible dans la littérature économique.

Ces travaux présentent toutefois de nombreuses forces qui soutiennent l'ensemble des résultats obtenus. L'analyse repose sur l'exploitation de données françaises de qualité, tant pour l'estimation de l'impact sanitaire que pour sa monétarisation. Ces données sont mobilisées au travers d'une méthodologie standard appliquée de manière uniforme pour l'ensemble du territoire, permettant ainsi une comparaison des zones avec des niveaux d'infestation variés. Ces estimations présentent une pertinence clinique, grâce à la définition des indicateurs, et reflètent différents aspects de l'impact sanitaire de l'ambrosie. Les incertitudes associées aux données et à la méthodologie ont été explicitées tout au long de l'analyse et sont partiellement quantifiées dans le calcul des ordres de grandeur.

Dans le futur, si l'ambrosie poursuit son développement dans des zones actuellement peu ou pas infestées, l'impact sanitaire associé augmentera, même s'il n'est pas possible actuellement de quantifier cette augmentation.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DU CES

4.1. Conclusions du CES

■ Connaissances relatives à l'ambrosie

L'ambrosie à feuilles d'armoise est présente et se propage depuis le début du 20^{ème} siècle en France. Aujourd'hui, trois zones peuvent être distinguées : les zones avec une forte implantation (par exemple : Rhône, Isère, Drôme ou encore Nièvre, Cher), les zones de front (Charentes, Côte-d'Or, Gard), et les zones encore très peu concernées et/ou isolées des deux précédentes. Sa vitesse de propagation s'accélère depuis les années 1960.

Plusieurs vecteurs peuvent favoriser cette propagation, notamment anthropiques, comme les machines agricoles et/ou de fauchage ou encore, le transport de sol ou de semences contaminés. Il est à noter que l'étendue de la propagation n'est pas la même en fonction du vecteur et de la biologie de l'espèce (reproduction par graines ou végétativement, tailles et nombre des semences, etc.).

L'endiguement de la propagation de la plante semble possible dans les zones de front et les zones très peu concernées et/ou isolées. Toutefois, certaines zones de front ne disposent pas de réglementation spécifique.

De nombreuses méthodes de lutte existent (chimiques, physiques, biologiques) en fonction du niveau d'infestation, de la surface et du milieu concerné. Des phénomènes de résistance sont observés en matière de lutte chimique. Les méthodes ne sont pas toutes disponibles ou utilisées en France. En particulier, la lutte biologique n'y est pas déployée bien que celle-ci ait montré de l'intérêt et une efficacité en Chine, en Australie et en Italie¹⁵.

La gestion de l'ambrosie se heurte toujours à certains freins réglementaires, notamment le pouvoir de police limité du maire en particulier dans des parcelles privées, la coordination de la lutte à l'échelle de l'Europe, la discordance actuelle du code rural et de la pêche maritime et du code de la santé publique.

D'un point de vue sanitaire comme agro-environnemental, l'ensemble des ambrosies est à considérer, notamment dans une optique de lutte.

¹⁵ La présence d'*Ophraella communa* en Italie n'a pas résulté d'une introduction volontaire dans le cadre d'un plan de lutte planifié.

■ **Approches disponibles en matière de modélisation (propagation de la plante et dispersion des pollens), et pertinence associée**

La surveillance de la plante et des pollens repose sur un système d'observation et de signalements (Fredon-Observatoire des ambrosies, FCBN) et de mesure des pollens (RNSA). Il existe des approches innovantes en matière de surveillance dont la faisabilité à grande échelle mérite d'être confirmée (satellite ou drone pour l'observation et le comptage automatique des pollens). Ces observations sont primordiales pour alimenter, calibrer et valider les modèles de propagation de l'ambrosie et de dispersion des pollens.

La modélisation permet la prévision à court terme des niveaux de pollens et la scénarisation à long terme de la propagation de la plante et de la dispersion de ses pollens. La modélisation s'avère également pertinente dans une perspective d'évaluation *a priori* de l'efficacité des méthodes de lutte.

Plusieurs modèles sont aujourd'hui exploités pour estimer l'émission et la dispersion des pollens d'ambrosie. Les systèmes de modélisation SILAM et COSMO-Art sont les plus matures à l'échelle européenne. En France, le système de modélisation d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, qui exploite des données d'entrées d'excellente qualité, permet de représenter les niveaux de pollens journaliers et les niveaux de risque allergique associés de manière fiable à l'échelle régionale.

La modélisation à long terme de la distribution de l'ambrosie et de la dispersion de ses pollens reste complexe. Les méthodes actuelles présentent de nombreuses limites et les résultats sont incertains. Cependant, la prédiction de propagation de la plante vers le Nord de l'Europe, notamment du fait du changement climatique, par rapport aux implantations actuelles apparaît robuste.

■ **Connaissances actuelles relatives à l'impact sanitaire en lien avec l'ambrosie**

De manière générale, la rhinite allergique au pollen d'ambrosie, tout comme la rhinite allergique aux autres pollens, reste une maladie chronique banalisée, sous diagnostiquée et sous traitée malgré l'impact important observé sur la qualité de vie.

L'allergie associée au pollen d'ambrosie présente certaines spécificités en comparaison de l'allergie à d'autres pollens, notamment un âge de début plus tardif en France/Europe. Cette particularité de la marche allergique pourrait être liée à l'introduction « récente » de l'ambrosie dans nos régions par opposition aux graminées qui sont des plantes natives. De plus, le pollen d'ambrosie a un fort potentiel allergisant et quelques grains suffisent à provoquer des symptômes chez les personnes allergiques.

De nombreux outils sont aujourd'hui utilisés à grande échelle pour identifier les individus allergiques : tests cutanés, sérologie – IgE spécifiques, questionnaires standardisés, base de données médico-administratives concernant le remboursement de soins, et parfois une combinaison de ceux-ci. Il n'existe aujourd'hui aucun questionnaire standardisé ni aucune définition médico-administrative validée pour l'allergie à l'ambrosie. La littérature scientifique a néanmoins souvent recours à des questionnaires très détaillés (sur la saisonnalité et les déclencheurs des symptômes), qui peuvent être utilisés en complément de l'indication d'une sensibilisation allergique.

Les travaux menés par l'ORS et l'ARS en Auvergne-Rhône-Alpes, région française la plus infestée, permettent d'estimer localement l'impact sanitaire des pollens d'ambrosie et sont un outil précieux et nécessaire à la prise de conscience et à la mise en place d'action de terrain. Jusque

13% de la population régionale¹⁶ serait allergique à l'ambrosie, mais une grande variabilité géographique est observée. Les méthodes et données utilisées (enquêtes téléphoniques et analyse des données de remboursements avec de multiples définitions des cas) sont variées, pertinentes en termes cliniques et épidémiologiques, offrent une indication de l'incertitude, et possèdent de nombreuses perspectives d'amélioration.

Deux analyses d'impact sanitaire de l'ambrosie à feuille d'armoise en Europe ont récemment été menées sur la base de la sensibilisation allergique : l'une par Lake *et al.* au sein du projet ATOPICA, l'autre par Schaffner *et al.* au sein du projet COST-SMARTER¹⁷. Les impacts estimés sont différents : 32,6 millions de personnes sensibilisées à l'ambrosie selon Lake *et al.* (2017) et 23,2 millions selon Schaffner *et al.* (2020). De telles estimations n'ont cependant pas de pertinence clinique systématique.

La prévalence de l'allergie à l'ambrosie a été estimée localement et à plus large échelle en Europe. Aujourd'hui, selon les zones infestées, entre 4,5 et 40,0% des populations seraient allergiques à l'ambrosie (et jusqu'à 60% y seraient sensibilisés). Les estimations, bien qu'incertaines, prévoient une multiplication du nombre de cas par 2,5 d'ici à 2060 en lien avec la propagation de la plante dans des zones aujourd'hui non infestées, exposant de fait de nouvelles populations à ce pollen. La modification de l'allergénicité du pollen d'ambrosie dans le futur et/ou la modification de la production de pollen par la plante (tous deux en lien avec la pollution atmosphérique et les conditions climatiques) pourraient également jouer un rôle dans l'augmentation de cette prévalence.

■ État de l'art relatif aux aspects économiques associés aux impacts de l'ambrosie à feuille d'armoise

L'estimation du coût des impacts de l'ambrosie repose sur différentes approches méthodologiques : financière (basée sur le prix de marché) ou économique (basée sur la disposition à payer), et sur différents points de vue (individu malade, entourage du malade, Assurance Maladie, agriculteurs...).

Bien que plusieurs rapports institutionnels aient cherché à estimer le coût sanitaire de l'ambrosie selon des approches diverses, l'ensemble des démarches employées reste perfectible. La principale difficulté réside dans l'incapacité d'alimenter ces modèles d'estimation par des données robustes tant en matière de quantification des impacts que de leur monétarisation.

Dans le cadre de ces travaux, pour estimer le coût des impacts, le CES privilégie une optique sociétale, volontairement large, faisant écho aux recommandations du collège des économistes de la santé et du Sénat. Sur un plan méthodologique, cette approche, qualifiée d'économique, vise à s'appuyer sur la disposition à payer plutôt que sur les prix de marché afin d'estimer le coût des impacts de l'ambrosie.

Concernant la monétarisation des impacts sanitaires, l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes a développé l'approche financière la plus aboutie. Selon la dernière estimation réalisée, le coût global de la consommation de soins relative à l'allergie à l'ambrosie est estimé à plus de 40,6 millions d'euros en 2017 dans la région. Cette vision reste cependant restrictive et ne prend en compte qu'une partie des coûts économiques.

L'ambrosie a également des conséquences économiques dans le domaine agricole. Sans pouvoir procéder à une quantification robuste des coûts, il faut noter que la présence d'ambrosie

¹⁶ Soit 284 604 cas en considérant la population régionale en 2014.

¹⁷ SMARTER (*Sustainable management of Ambrosia Artemisiifolia across Europe*) : projet financé par l'action COST (*Cooperation in Science and Technology*) FA1203 de l'Union Européenne.

engendre une baisse des rendements, une hausse des coûts de gestion et des choix culturaux sous-optimaux.

■ **Quantification et monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambrosie à feuille d'armoise en France**

Cette expertise constitue la première tentative d'analyse de l'impact sanitaire de l'ambrosie à l'échelle de la France métropolitaine. L'indicateur retenu repose sur l'allergie aux pollens d'ambrosie. Les présents travaux montrent la faisabilité d'une telle analyse.

Les principaux enjeux résident dans la disponibilité des données mobilisées pour développer la relation exposition-risque, dans son application à l'échelle du territoire métropolitain et dans le calcul économique qui en découle.

Compte-tenu des incertitudes, la prévalence de l'allergie à l'ambrosie, à l'échelle nationale, a été estimée entre 1,7% et 5,4% de la population française, soit entre 1 115 000 et 3 504 000 personnes allergiques. Le coût pour la prise en charge (médicale) est estimé entre 59M€ et 186M€, le coût des arrêts de travail est estimé entre 10M€ et 30M€, et le coût des pertes de qualité de vie est estimé entre 346M€ et 438M€.

4.2. Recommandations du CES

En préambule, le CES s'accorde sur le fait que les recommandations émanant des précédentes expertises Anses (Anses 2014, 2017a, b) restent d'actualité concernant l'ambrosie. Au travers de l'expertise et des conclusions développées ci-avant, le CES formule l'ensemble des recommandations suivantes.

■ **Pour une gestion préventive et active de l'ambrosie**

La gestion de l'ambrosie repose sur la sensibilisation des acteurs, la surveillance de la plante et de ses pollens et la lutte (mécanique, chimique, biologique). Seule une articulation de ces différentes actions à l'échelle des territoires pourra limiter les impacts sanitaires, environnementaux et par conséquent économiques de l'ambrosie. Bien qu'il existe déjà de nombreux dispositifs de gestion, il apparaît nécessaire d'en renforcer certains aspects.

En matière de prévention, le CES recommande :

- De poursuivre les efforts d'informations sur la plante et sa gestion auprès des acteurs concernés et de la population générale. Cette information est pour le moment relayée par les pouvoirs publics, notamment au travers des ARS et de leurs délégations départementales, ainsi que les organismes de surveillance (FREDON - Observatoire des ambrosies, RNSA), et les Associations de Surveillance de la Qualité de l'Air, comme Atmo Auvergne-Rhône-Alpes à l'échelle de cette région. Il apparaît nécessaire que de telles démarches de diffusion de l'information soient développées dans les zones de front *via* ces organismes ou leurs antennes locales.
- De développer la nomination de référents territoriaux (commune, établissement public de coopération intercommunale (EPCI)). L'échelle des EPCI semble plus adaptée pour mener les actions de sensibilisation, d'information et de lutte. Il est essentiel que cette action soit coordonnée à l'échelle territoriale afin d'appuyer ces référents. Ce modèle, très présent dans les zones fortement concernées par l'ambrosie à l'image de la région Auvergne-Rhône-Alpes, doit être promu à l'échelle nationale.
- Concernant la gestion de vecteurs anthropiques, il est nécessaire que les recommandations actuelles deviennent des obligations, notamment celles relatives au nettoyage du matériel agricole et à la gestion des terres contaminées sur les chantiers.

- De viser l'absence de graines d'ambrosie dans les semences.

En matière de lutte, le CES recommande :

- D'évaluer l'efficacité des différentes méthodes de lutte contre l'ambrosie en fonction des zones géographiques et de leur niveau d'infestation.
- D'expertiser les retours d'expérience chinois et italiens concernant l'usage d'*Ophraella communa* dans le cadre de la lutte biologique contre l'ambrosie.
- D'accroître la vigilance autour des activités anthropiques en impliquant un maximum d'acteurs dans la lutte dont le secteur du bâtiment et travaux publics et le monde agricole. Une implication forte du monde agricole est indispensable, pour protéger la santé de la population générale et des travailleurs agricoles susceptibles d'être fortement exposés au pollen d'ambrosie. Cette implication contribuerait également à limiter les préjudices économiques subis par ce secteur d'activité du fait de la présence d'ambrosie (perte de rendement, et/ou choix culturels sous optimaux).
- De renforcer la connaissance des agriculteurs concernant les bonnes pratiques relatives à la gestion de l'ambrosie via l'ensemble des canaux d'information pertinents, notamment les instituts techniques et les chambres d'agriculture.
- De limiter la présence de terres mises à nue à l'exception des surfaces agricoles utiles, notamment en implantant un couvert végétal adapté. Il est alors important de privilégier les espèces les moins nocives pour la santé.
- De poursuivre dans les zones fortement infestées, les actions actuellement réalisées dans l'optique de stabiliser et contenir les populations d'ambrosie.
- D'encourager, dans les zones de front, la mise en place d'une réglementation spécifique via des arrêtés préfectoraux.

■ **Pour des outils de surveillance et de modélisation plus performants**

La surveillance et la modélisation contribuent à l'information des populations à la problématique de l'ambrosie. Elles prennent ainsi une place importante dans la gestion de l'espèce.

Concernant la surveillance opérationnelle, le CES recommande :

- D'étendre et d'intensifier la surveillance de la plante et de ses pollens à l'échelle hexagonale. Une pérennisation des observatoires via une implication large des pouvoirs publics est donc nécessaire.
- De moderniser le système de surveillance du pollen d'ambrosie en le couplant à un système de modélisation de la dispersion du pollen à l'échelle de la France métropolitaine, à l'instar de ce qui a été mis en place dans la région Auvergne-Rhône-Alpes.
- D'actualiser régulièrement les observations et signalements à l'échelle nationale, données d'entrée et de validation essentielles à tout système de modélisation. De plus, il apparaît important de documenter en particulier la densité de l'infestation au-delà de la simple indication de présence.

Concernant les modèles relatifs à l'ambrosie et à ses pollens, dans une optique d'amélioration des connaissances utiles à l'action publique, le CES recommande :

- De tester à grande échelle les méthodes innovantes telles que les dispositifs de reconnaissance et de comptage automatique des pollens pour la surveillance et l'usage de satellite/drone pour l'observation de la distribution de la plante.

- D'améliorer les connaissances sur la phénologie¹⁸ et la plasticité phénotypique¹⁹ de la plante pour permettre d'alimenter au mieux les modèles écologiques de propagation de l'ambrosie et les modules d'émission des pollens.
- De confirmer l'impact des scénarii de changement climatique sur la propagation de l'ambrosie et de libération de ses pollens, en initiant par exemple des analyses rétrospectives qui exploitent des mesures et des modèles du passé.

Concernant la centralisation, la diffusion et la mobilisation de l'information, le CES recommande :

- De centraliser et d'harmoniser à l'échelle nationale puis européenne les données de présence de l'ambrosie qui sont produites localement, et ce de façon régulière.
- D'accroître la diffusion et de faciliter la compréhension des informations issues de la surveillance ou de la modélisation auprès des pouvoirs publics, des professionnels de santé, de la population générale et des individus allergiques. Ces informations se doivent d'être facilement intelligibles, y compris par des non-spécialistes²⁰. Cette action doit être réalisée tant à une échelle nationale et régionale qu'à des strates plus fines – communes, territoires de santé.

■ **Pour l'acquisition de nouvelles connaissances sur la prévalence de l'allergie en population et sur l'évolution de l'allergénicité des pollens**

Des efforts en matière de recherche et d'expertise sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact de l'ambrosie sur la santé. Ainsi, le CES recommande :

- De suivre l'évolution de l'allergie à l'ambrosie, particulièrement sur les territoires infestés et les zones de front, en réalisant des études épidémiologiques qui analyseraient :
 - des données de questionnaires disposant d'un fort pouvoir informatif vis-à-vis de l'allergie à l'ambrosie ;
 - des données issues de bases de remboursement de soins pour identifier les personnes allergiques à l'ambrosie ;
 - des résultats de tests cutanés ou de dosages biologiques spécifiques à la sensibilisation à l'ambrosie.
- De développer l'utilisation conjointe des différents outils mentionnés ci-avant.
- De réaliser des études pour évaluer l'impact des dispositifs de gestion sur la santé des populations.
- D'évaluer l'impact sanitaire de l'ambrosie dans les territoires d'outre-mer.
- De réaliser des études sur l'allergénicité du pollen d'ambrosie liée aux grains, aux fragments, aux composants inflammatoires et sur d'éventuelles allergies croisées.
- De réaliser des études sur l'allergénicité du pollen d'ambrosie en fonction des effets de certains cofacteurs d'intérêt, notamment les principaux polluants atmosphériques gazeux et particulaires et le changement climatique.

¹⁸ Phénologie : science des influences climatiques sur le développement saisonnier des plantes.

¹⁹ Adaptation évolutive du phénotype en réponse aux variations d'un environnement.

²⁰ HCSP (2016), Avis relatif à l'information et recommandations à diffuser en vue de prévenir les risques sanitaires liés aux pollens allergisants.

■ Pour une meilleure prise de conscience de la problématique de l'allergie à l'ambroisie

Les professionnels de santé sont des acteurs essentiels dans l'accompagnement des individus souffrant d'allergie, dont les symptômes sont trop souvent banalisés. Ainsi, le CES recommande :

- De sensibiliser les professionnels de santé et les personnes allergiques ou potentiellement allergiques dans les zones où l'ambroisie est présente mais surtout dans les zones où elle est amenée à se développer – zone de front.
- De favoriser le développement de réseaux de médecins et de patients sentinelles dédiés aux problématiques d'allergie. Ces réseaux peuvent faciliter les échanges d'information à l'échelle des territoires de santé.
- La mise en place, par les autorités compétentes, d'une réflexion sur les modalités et la préservation de l'accès au traitement des allergies pour le plus grand nombre.

■ Pour une amélioration de la fiabilité des estimations économiques

Les enjeux économiques en lien avec les impacts de l'ambroisie apparaissent importants et variés en fonction notamment des acteurs concernés. Afin d'améliorer les estimations économiques réalisées jusqu'à présent, le CES recommande :

- De recourir à l'approche basée sur la disposition à payer, qui apparaît comme la plus pertinente d'un point de vue théorique car permettant d'estimer pleinement l'impact économique sur la société.
- De réaliser des recherches visant à révéler les dispositions à payer des agents économiques concernés.
- De combler le manque de données en évaluant le fardeau de la rhinite allergique en lien avec l'ambroisie, ainsi que la disposition à payer pour éviter l'allergie à la fois pour les individus allergiques, non-allergiques, et les tiers.
- De conduire une enquête auprès des agriculteurs pour évaluer les coûts associés aux impacts dans le domaine agricole (rendements, coûts de gestion, réallocation de terre), et pour renseigner les pratiques de substitution de culture.
- De poursuivre et d'améliorer l'approche de l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes, notamment en élargissant le périmètre des coûts considérés et en intégrant une analyse de sensibilité.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » présentées ci-dessus.

Cette expertise a permis d'estimer un impact sanitaire, et certains coûts associés, généré par l'ambroisie à feuille d'armoise en France métropolitaine. Ces résultats désignent l'ambroisie comme une problématique de santé publique à l'échelle nationale, tant sur les territoires où son implantation est forte que sur des régions nouvellement ou encore peu infestées. L'impact de l'ambroisie sur la santé et le bien-être des populations ne doit pas être banalisé.

Les éléments d'analyse économique développés dans la présente expertise s'inscrivent dans une perspective sociétale, d'intérêt pour le gestionnaire public. Par rapport aux deux grandes familles d'approches examinées par les experts (approche financière, approche économique), l'approche dite économique a été ici privilégiée. En pratique, il existe une large palette d'approches possibles suivant les lignes de coûts intégrées dans l'analyse. L'Anses rappelle que l'important est de faire un choix éclairé sur le périmètre des familles de coûts à prendre en compte : au regard de la question soulevée, tout d'abord, et au regard des données disponibles d'autre part. Au-delà, la

possibilité de comparer les résultats avec des analyses pour d'autres territoires ou d'autres problématiques sanitaires est également un point à prendre en compte dans la définition du périmètre d'analyse, mais cela n'est pas toujours faisable.

L'Anses souligne l'importance de contrôler la propagation de l'ambroisie. Les efforts soutenus dans les territoires où la plante est présente doivent être poursuivis afin de contenir les populations. Des actions doivent également être développées dans les zones de front de propagation afin d'endiguer l'expansion de la plante. Ces zones représentent de fait un enjeu majeur pour les acteurs de la lutte. A cet égard, l'Anses appuie la recommandation des experts pour pallier l'absence de prise d'arrêtés préfectoraux dans ces zones de front en vue, notamment, de favoriser la coordination interservices au niveau territorial.

Plus largement, la présente expertise vient compléter les travaux de l'Agence sur les impacts sanitaires des pollens dans l'air ambiant, des moisissures dans le bâti, et des moisissures dans l'air ambiant – en France métropolitaine et en départements et régions d'Outre-mer (DROM), en s'intéressant spécifiquement aux données relatives à l'ambroisie.

Ces différents travaux d'expertise de l'Anses font ressortir l'importance d'améliorer la représentativité du réseau de surveillance des pollens et des moisissures dans l'air ambiant en France métropolitaine et en DROM dans une optique de santé publique. Une telle avancée en matière de surveillance permettrait une meilleure caractérisation de l'exposition de la population générale et servirait à l'ensemble de la chaîne de modélisation visant la prédiction des niveaux de ces polluants dans l'air ambiant.

Dr Roger Genet

MOTS-CLES

Allergie, ambrosie, cartographie, coûts, coût social, impact économique, impact sanitaire, lutte, modélisation, pollinose, prévention, rhinite allergique.

Allergy, ambrosia, maps, costs, social cost, economic impact, health impact, control, management, modelling, pollinosis, prevention, allergic rhinitis.

BIBLIOGRAPHIE

- Anses. 2014. "État des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant." : ANSES.
- Anses. 2017a. "Avis et Rapport de l'Anses relatif à la réalisation d'une analyse de risques relative à l'ambrosie trifide (*Ambrosia trifida* L.) et pour l'élaboration de recommandation de gestion." : Anses. 108.
- Anses. 2017b. "État des connaissances sur l'impact sanitaire des pollens et moisissures allergisants de l'air ambiant sur la population générale des départements et régions d'outre-mer." : ANSES.
- Anzivino, L. , C. Marant-Micallef, et A. Sonko. 2014. "Etude de la prévalence de l'allergie à l'ambrosie en rhône-alpes." : ORS Rhône-Alpes.
- Bullock, J. M., D. Chapman, S. Schafer, D. Roy, Marco Girardello, Thomas Haynes, Stephen Beal, Belinda Wheeler, Ian Dickie, Zara Phang, Rob Tinch, Kristijan Čivić, Ben Delbaere, Laurence Jones-Walters, Andrea Hilbert, Andrew Schrauwen, Marje Prank, Mikhail Sofiev, Sami Niemelä, Petri Räsänen, Bev Lees, Murray Skinner, Steve Finch, et Chris Brough. 2013. "Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe (ENV.B2/ETU/2010/0037)." : Natural Environment Research Council, UK.
- Gelas, A. 2013. "Rapport sur l'ambrosie en région Rhône-Alpes : analyse des données environnementales et médico-économiques 2012." : ARS Rhône-Alpes et Groupe de travail régional sur l'ambrosie.
- Gelas, A. 2015. "Rapport sur l'ambrosie en région Rhône-Alpes : analyse des données environnementales et médico-économiques en 2013 et 2014 " : ARS Rhône-Alpes et Groupe de travail régional sur l'ambrosie.
- Husson, JF, et L Aïchi. 2015. "Rapport fait au nom de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air." *Rapport au Sénat* (610).
- Lake, I. R., N. R. Jones, M. Agnew, C. M. Goodess, F. Giorgi, L. Hamaoui-Laguel, M. A. Semenov, F. Solomon, J. Storkey, et R. Vautard. 2017. "Climate change and future pollen allergy in Europe." *Environmental Health Perspectives* 125 (3):385-391.
- ORS, et ARS Auvergne-Rhône-Alpes. 2018. "L'impact sanitaire de l'ambrosie en Auvergne-Rhône-Alpes : analyse des données médico-économiques 2017." : ORS Auvergne-Rhône-Alpes ; . 10 p.
- Quinet, E. 2013. "L'évaluation socio-économique des investissements publics, rapport du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective." *La Documentation Française, Paris*.

Schaffner, Urs, Sandro Steinbach, Yan Sun, Carsten A Skjøth, Letty A de Weger, Suzanne T Lommen, Benno A Augustinus, Maira Bonini, Gerhard Karrer, et Branko Šikoparija. 2020. "Biological weed control to relieve millions from Ambrosia allergies in Europe." *Nature Communications* 11 (1):1-7.

ANNEXE – ESTIMATION DE LA PREVALENCE DE L'ALLERGIE A L'AMBROISIE (EN %) PAR DEPARTEMENT METROPOLITAIN

Ce tableau rassemble les estimations moyennes, hautes, et basses de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie pour l'ensemble des départements métropolitains, à partir des estimations dérivées à l'échelle des EPCI les composant (*via* une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants). Pour maintenir la clarté des résultats, les quatre relations exposition-risque ont été considérées ensemble. La prévalence est exprimée en % de la population.

		Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) Estimation centrale moyenne [estimation la plus basse – estimation la plus haute]
1	Ain	8,23 [7,19 - 9,40]
2	Aisne	1,82 [0 - 4,43]
3	Allier	5,39 [3,6 - 7,43]
4	Alpes-de-Haute-Provence	5,97 [4,17 - 7,88]
5	Hautes-Alpes	5,12 [3,31 - 7,24]
6	Alpes-Maritimes	5,03 [2,98 - 7,30]
7	Ardèche	9,26 [8,44 - 11,57]
8	Ardennes	1,69 [0 - 4,24]
9	Ariège	2,10 [0 - 5,29]
10	Aube	4,60 [2,66 - 6,99]
11	Aude	2,16 [0 - 5,39]
12	Aveyron	2,04 [0 - 5,07]
13	Bouches-du-Rhône	6,22 [4,47 - 8,05]
14	Calvados	0,95 [0 - 2,23]
15	Cantal	2,08 [0 - 5,04]
16	Charente	3,71 [1,74 - 6,61]
17	Charente-Maritime	1,97 [0 - 4,85]
18	Cher	7,10 [5,6 - 8,66]
19	Corrèze	1,96 [0 - 4,90]
21	Côte-d'Or	5,98 [4,32 - 7,80]
22	Côtes-d'Armor	0,78 [0 - 1,73]
23	Creuse	3,33 [1,60 - 6,01]
24	Dordogne	2,05 [0 - 5,11]
25	Doubs	3,73 [1,84 - 6,50]
26	Drôme	11,75 [10,27 - 15,39]
27	Eure	1,38 [0 - 3,43]
28	Eure-et-Loir	1,83 [0 - 4,55]

		Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) Estimation centrale moyenne [estimation la plus basse – estimation la plus haute]
29	Finistère	0,85 [0 - 1,94]
2A	Corse-du-Sud	3,11 [1,23 - 6,01]
2B	Haute-Corse	3,58 [1,73 - 6,27]
30	Gard	6,02 [4,27 - 7,97]
31	Haute-Garonne	2,50 [0 - 6,08]
32	Gers	2,07 [0 - 5,20]
33	Gironde	1,79 [0 - 4,49]
34	Hérault	3,05 [1,04 - 6,14]
35	Ille-et-Vilaine	1,06 [0 - 2,54]
36	Indre	4,30 [2,36 - 6,81]
37	Indre-et-Loire	2,14 [0 - 5,24]
38	Isère	9,13 [8,26 - 10,96]
39	Jura	5,59 [3,81 - 7,56]
40	Landes	1,64 [0 - 4,12]
41	Loir-et-Cher	3,05 [1,33 - 5,85]
42	Loire	6,52 [4,80 - 8,43]
43	Haute-Loire	4,13 [2,26 - 6,78]
44	Loire-Atlantique	1,48 [0 - 3,70]
45	Loiret	4,24 [2,41 - 6,84]
46	Lot	2,03 [0 - 5,08]
47	Lot-et-Garonne	2,24 [0 - 5,57]
48	Lozère	2,59 [0,26 - 5,69]
49	Maine-et-Loire	1,51 [0 - 3,8]
50	Manche	0,77 [0 - 1,69]
51	Marne	2,20 [0,18 - 5,23]
52	Haute-Marne	3,69 [1,88 - 6,27]
53	Mayenne	1,13 [0 - 2,75]
54	Meurthe-et-Moselle	2,19 [0 - 5,32]
55	Meuse	2,34 [0 - 5,41]
56	Morbihan	1,12 [0 - 2,72]
57	Moselle	2,13 [0 - 5,27]
58	Nièvre	7,52 [6,43 - 8,76]
59	Nord	1,30 [0 - 3,21]
60	Oise	1,68 [0 - 4,21]
61	Orne	1,18 [0 - 2,89]
62	Pas-de-Calais	1,25 [0 - 3,06]

		Prévalence estimée de l'allergie à l'ambrosie (en %) Estimation centrale moyenne [estimation la plus basse – estimation la plus haute]
63	Puy-de-Dôme	5,28 [3,41 - 7,63]
64	Pyrénées-Atlantiques	1,66 [0 - 4,14]
65	Hautes-Pyrénées	1,63 [0 - 4,07]
66	Pyrénées-Orientales	1,97 [0 - 4,91]
67	Bas-Rhin	2,25 [0 - 5,54]
68	Haut-Rhin	2,66 [0 - 6,17]
69	Rhône	10,74 [9,75 - 13,43]
70	Haute-Saône	3,51 [1,65 - 6,41]
71	Saône-et-Loire	6,28 [4,68 - 8,03]
72	Sarthe	1,44 [0 - 3,64]
73	Savoie	5,45 [3,92 - 7,49]
74	Haute-Savoie	4,25 [2,31 - 6,9]
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val- de-Marne	2,34 [0 - 5,2]
76	Seine-Maritime	1,26 [0 - 3,09]
77	Seine-et-Marne	2,84 [0,81 - 5,73]
78	Yvelines	1,90 [0 - 4,68]
79	Deux-Sèvres	2,17 [0 - 4,99]
80	Somme	1,36 [0 - 3,37]
81	Tarn	2,29 [0 - 5,68]
82	Tarn-et-Garonne	2,43 [0 - 5,93]
83	Var	5,34 [3,3 - 7,54]
84	Vaucluse	8,75 [7,96 - 9,78]
85	Vendée	1,74 [0 - 4,34]
86	Vienne	2,50 [0 - 5,59]
87	Haute-Vienne	2,46 [0 - 5,55]
88	Vosges	2,48 [0,06 - 5,7]
89	Yonne	7,65 [6,39 - 9,05]
90	Territoire-de-Belfort	2,79 [0 - 6,16]
91	Essonne	2,46 [0,03 - 5,46]
95	Val-D'oise	1,96 [0 - 4,74]

**État des connaissances sur les impacts sanitaires,
et les coûts associés, à l'ambroisie à feuilles
d'armoise en France**

Saisine n°2018-SA-0088 – Ambroisie

**RAPPORT
d'expertise collective**

Comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques liés aux milieux aériens »
Groupe de Travail « Ambroisie »

Juillet 2020

Mots clés

Ambroisie, allergie, rhinite allergique, pollen, modélisation, cartographie, impact sanitaire, impact économique, analyse d'impact, France, lutte, gestion.

Ambrosia, ragweed, allergy, allergic rhinitis, pollen, modeling, mapping, health impact, economic impact, impact analysis, France, management, control.

Présentation des intervenants

Préambule : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Denis CHARPIN – Retraité de l'Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille – Spécialités : allergologie pneumologie

Membres

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRAE PACA, Institut Sophia Agrobiotech – Spécialités : écotoxicologie, écologie et gestion des espèces invasives

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Directeur de recherche, INRAE Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers, UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères – Spécialités : Agronomie, bioclimatologie, écophysiologie, génétique, modélisation

M. Boris FUMANAL – Maître de conférences, Université Clermont Auvergne – Spécialités : Ecologie, biologie des invasions, botanique, génétique

M. Philippe POLOME – Professeur des universités, Université Lyon 2 – Spécialités : économie de l'environnement, évaluation économique des politiques publiques, économétrie

M. Pascal PONCET – Chargé de recherche, Institut Pasteur – Spécialités : allergologie moléculaire et cellulaire, immunologie

M. Olivier SANCHEZ – Ingénieur d'études, Airparif – Spécialités : émissions et modélisation, météorologie, dispersion

M. Michel THIBAUDON – Retraité – Spécialités : aérobiologie, pollens, ambroisie

COMITE D'EXPERTS SPECIALISE

Les travaux, objets du présent rapport, ont été suivis et adoptés par le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » lors des séances des 05/07/2018, 14/03/2019, 20/06/2019, 19/09/2019, 17/12/2019, 16/01/2020, 06/02/2020, 05/03/2020, 14/05/2020, 09/06/2020, 25/06/2020, et 06/07/2020.

Présidente

Mme Rachel Nadif – Chargée de recherche (INSERM – Responsable Equipe, CESP U1018) – Spécialité : épidémiologie, santé respiratoire.

Vice-président

M. Christophe PARIS – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Rennes 1 - Inserm U1085 IRSET – Centre hospitalier universitaire de Rennes). Spécialités : épidémiologie des risques professionnels, pathologies professionnelles, santé au travail.

Membres

Mme Sophie ACHARD – Enseignant chercheur, maître de conférence (Université Paris Descartes) – Spécialité : toxicologie environnementale.

Mme Christina ASCHAN-LEYGONIE – Enseignant-chercheur (Université Lumière Lyon 2 - UMR 5600 Environnement Ville Société - EVS) - Spécialités : géographie, milieux urbains, inégalités de santé.

M. Denis BEMER – Responsable d'études (Institut national de recherche et de sécurité) – Spécialités : physique et métrologie des aérosols - filtration de l'air. Démission le 3 juillet 2020.

Mme Valérie BEX – Responsable de la cellule santé habitat (Service parisien de santé environnementale) – Spécialités : métrologie des polluants biologiques, qualité de l'air intérieur.

Mme Nathalie BONVALLOT – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique) – Spécialités : toxicologie, évaluation des risques sanitaires.

M. Denis CAILLAUD – Professeur des universités, praticien hospitalier (CHU de Clermont-Ferrand) – Spécialités : pneumologie, allergologie, épidémiologie-environnement (pollens, moisissures).

M. Jean-Dominique DEWITTE - Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Brest) – Spécialités : santé travail, pneumologie.

M. Marc DURIF – Responsable de Pôle (Institut national de l'environnement industriel et des risques) – Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, caractérisation des expositions.

Mme Emilie FREALLE – Praticien Hospitalier (Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, Institut Pasteur de Lille) – Spécialités : écologie microbienne de l'air, microbiologie analytique, évaluation et prévention du risque microbiologique, surveillance de l'environnement intérieur.

M. Philippe GLORENNEC – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique – Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) – Spécialités : évaluation des expositions et des risques sanitaires d'origine chimique.

Mme Ghislaine GOUPIL – Chef de département, adjoint au chef du pôle environnement (Laboratoire Central de la Préfecture de Police) – Spécialités : métrologie des polluants (air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail), techniques d'analyses, réglementation air.

Mme Marianne GUILLEMOT – Responsable d'études (Institut national de recherche et de sécurité) – Docteur en Chimie – Spécialités : métrologie, surveillance atmosphérique et des environnements professionnels.

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Chargée de recherche (INSERM) – Spécialités : épidémiologie environnementale, pollution atmosphérique.

M. Olivier JOUBERT – Maître de conférences (Université de Lorraine) – Spécialités : toxicologie, sécurité sanitaire.

Mme Danièle LUCE – Directrice de recherche (Institut national de la santé et de la recherche médicale) – Spécialités : Epidémiologie, santé travail.

Mme Corinne MANDIN – Chef de division (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) – Spécialités : évaluation des expositions et des risques sanitaires, environnements intérieurs.

M. Fabien MERCIER – Ingénieur de recherche, Responsable R&D (Ecole des hautes études en santé publique / Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé) – Spécialités : métrologie des polluants, méthodes d'analyse, air intérieur.

Mme Christelle MONTEIL – Enseignant-chercheur (Université de Rouen Normandie) – Spécialité : toxicologie.

Mme Anne OPPLIGER – Privat-Doctent & Maître d'Enseignement et de Recherche (Institut universitaire romand de Santé au Travail, Lausanne) – Spécialités : Santé travail, risques biologiques, bioaérosols, agents zoonotiques.

M. Pierre PERNOT – Responsable de service (Airparif) – Spécialités : surveillance et réglementation de la qualité de l'air.

Mme Chantal RAHERISON – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Bordeaux) – Spécialités : pneumologie, allergologie, épidémiologie. Démission le 7 novembre 2018.

Des points d'information ont été réalisés auprès du CES « Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux » lors des séances des 14/05/2019, 21/01/2020.

Président

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR botanique et bio-informatique de l'architecture des plantes

Membres

Mme Marie-Hélène BALESDENT – Directrice de recherche, INRAE Centre Versailles - Grignon, UR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

Mme Françoise BINET – Directrice de recherche, CNRS, UMR ECOBIO Rennes

M. Antonio BIONDI – Enseignant-Chercheur, Université de Catagne, Département Agriculture, Alimentation et Environnement, Italie

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRAE Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

M. Christophe CLEMENT – Professeur des Universités, Université de Reims Champagne Ardenne, Unité RIBP Résistance induite et Bio-protection des Plantes

Mme Péninna DEBERDT – Chercheur, CIRAD, UPR HORTSYS

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRAE Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU – Directrice de recherche, INRAE Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Directeur de recherche, INRAE Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers, UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères

M. Laurent GENTZBITTEL – Professeur des Universités, Institut National Polytechnique de Toulouse, Laboratoire d'Écologie Fonctionnelle et Environnement

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRAE Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche, INRAE AgroParisTech Paris-Saclay, UMR d'Agronomie

M. Arnaud MONTY – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Faculté de Gembloux Agro-BioTech, Department BIOSE, Biodiversity and Landscape Unit

Mme Maria NAVAJAS – Directrice de recherche, INRAE Occitanie-Montpellier, UMR CBGP Centre de biologie pour la gestion des populations

M. Xavier NESME – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre Auvergne-Rhône Alpes Est, UMR Écologie microbienne

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

M. Thierry WETZEL – Directeur de recherche, DLR RHEINPFALZ

PARTICIPATION ANSES

Coordination et contribution scientifique

M. Thomas BAYEUX – Chargé d'analyse socio-économiques – Mission sciences sociales, expertises, société, Anses

Mme Margaux SANCHEZ – Coordinatrice d'expertise scientifique – Direction d'évaluation des risques, unité d'évaluation des risques liés à l'air, Anses

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Anses

Mme Virginie SADE – Anses

AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES

Agence régionale de santé Auvergne-Rhône-Alpes

M. Hervé BERTRAND – Technicien du génie sanitaire – Référent régional Pollens & Ambroisie – Service Santé-Environnement-Direction de la santé publique

M. Pierre-Jean CHAMBARD – Responsable du service statistiques et études – Direction de la stratégie et des parcours

Observatoire régional de santé Auvergne-Rhône-Alpes

Mme Lucie ANZIVINO – Docteur en épidémiologie – Chargée d'étude Santé Environnementale et Évaluation d'Impact sur la Santé

Mme Magali VENZAC – Chargée d'études statistiques

Observatoire des Ambroisies

Mme Marilou MOTTET – Coordinatrice de l'Observatoire des ambroisies

FREDON France

M. Olivier PECHAMAT – Directeur

CONTRIBUTIONS EXTERIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

Experts rapporteurs

M. Olivier Chanel – Directeur de Recherche, CNRS ; Groupement de Recherche en Économie Quantitative d'Aix-Marseille – mandaté pour une relecture critique du chapitre 5 du rapport d'expertise.

Mise à disposition des données nécessaires à l'estimation de l'impact sanitaire

M. Hervé BERTRAND – Technicien du génie sanitaire – Référent régional Pollens & Ambroisie – Service Santé-Environnement - Direction de la santé publique (Agence régionale de santé Auvergne-Rhône-Alpes).

Mme Géraldine GUILLAUD – Responsable Adjointe, unité Prévision et Vigilance (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes).

M. Gilles OLIVER – Ingénieur, formateur (Réseau National de Surveillance Aérobiologique).

Mme Julia PALAMARCHUK – Chargée de recherche (*Finnish Meteorological Institute*).

M. Mikhail SOFIEV – Professeur de recherche, adjoint au chef du groupe de modélisation de la composition de l'atmosphère (*Finnish Meteorological Institute*).

SOMMAIRE

1.	Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise	19
1.1	Contexte	19
1.2	Objet de la saisine.....	19
1.3	Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	20
1.4	Prévention des risques de conflits d'intérêts	20
2.	L'ambroisie	21
2.1	Description de l'espèce	21
2.1.1	Taxonomie et origine	21
2.1.2	Historique de l'introduction et aire de distribution actuelle	21
2.1.3	Distribution future de l'ambroisie	24
2.1.4	Biologie et phénologie de l'espèce	25
2.1.5	Pollen	30
2.1.6	Variabilité génétique et histoire évolutive	31
2.1.7	Écologie	31
2.1.8	Prédateurs, parasites et pathogènes de l'ambroisie	32
2.1.9	Présentation des trois autres espèces d'ambroisie introduites en France	33
2.2	Gestion de l'espèce: stratégie, réglementation et méthodes de lutte	36
2.2.1	Stratégie globale de lutte contre l'ambroisie.....	36
2.2.2	Réglementation.....	37
2.2.3	Prévention.....	39
2.2.4	Surveillance : détection, communication	40
2.2.5	Sensibilisation et information des acteurs et de la population générale	41
2.2.6	Méthodes de lutte	41
2.3	Conclusions	47
3.	Distribution géographique de l'ambroisie à feuille d'armoise et de ses pollens.....	49
3.1	Dispositifs de surveillance de présence et de propagation de la plante.....	49
3.2	Dispositif de surveillance météorologique des pollens et outils de communication associés.....	50
3.2.1	Réseau National de Surveillance Aérobiologique en France (RNSA)	50
3.2.2	Informations collectées et diffusées par le RNSA	52
3.3	Modélisation de la présence de la plante et de la dispersion de ses pollens.....	55
3.3.1	Généralités concernant la modélisation des pollens	55
3.3.2	Modélisation de la distribution spatiale de l'ambroisie	57
3.3.3	Paramétrisation des émissions.....	82
3.3.4	Modélisation de la dispersion des pollens	83
3.4	Conclusions	112
4.	État des connaissances sur l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise	113

4.1	L'allergie	113
4.1.1	Principe de l'allergie	113
4.1.2	Allergènes et allergénicité	116
4.1.3	Cofacteurs de l'allergénicité	119
4.1.4	Allergies croisées	123
4.1.5	Rhinite allergique	124
4.1.6	Diagnostic clinique	125
4.1.7	Prise en charge et traitements	126
4.1.8	Comorbidités de l'allergie	127
4.1.9	Impacts de l'allergie sur la qualité de vie, la productivité, et l'absentéisme	128
4.1.10	Outils en épidémiologie	128
4.2	Prévalence de l'allergie aux pollens d'ambroisie	131
4.2.1	En France	132
4.2.2	En Europe	143
4.3	Conclusions	154
5.	État de l'art relatif aux aspects économiques associés aux impacts de l'ambroisie à feuille d'armoise	156
5.1	Approches mobilisables pour l'estimation des coûts imputables à l'ambroisie	156
5.1.1	Approche financière	156
5.1.2	Approche économique	157
5.1.3	Approche mobilisée	158
5.2	Estimation des coûts en lien avec l'allergie à l'ambroisie	159
5.2.1	Coûts de la prise en charge	159
5.2.2	Coûts de la perte de production	163
5.2.3	Coûts de la perte de qualité de vie	165
5.2.4	Autres coûts	168
5.3	Estimation des coûts dans le domaine agro-environnemental	169
5.3.1	Coûts dans le domaine agricole	169
5.3.2	Coûts dans le domaine environnemental	170
5.4	Les coûts de gestion pour les pouvoirs publics	172
5.4.1	Coûts de la surveillance et des actions de contrôle de l'ambroisie	172
5.4.2	Valeur économique d'un plan d'action	172
5.5	Conclusions	173
6.	Estimation et monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise en France métropolitaine	174
6.1	Introduction	174
6.1.1	Impact sanitaire	174
6.1.2	Coûts associés	175
6.2	Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France	176
6.2.1	Méthodes	176
6.2.2	Résultats	182
6.2.3	Discussion	185
6.3	Monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France	191

6.3.1	Méthodes	191
6.3.2	Résultats	192
6.4	Conclusion	197
7.	Conclusions et recommandations	198
7.1	Conclusions	198
7.2	Recommandations	200
8.	Bibliographie	204
Annexe 1	Lettre de saisine	225
Annexe 2	Présentation des positions divergentes	227
Annexe 3	Suivi des actualisations du rapport	228
Annexe 4	Paramétrisation des émissions de pollens : généralités et paramétrisations existantes	229
Annexe 5	Questionnaire et retours de la consultation nationale à destination des professionnels de santé	240
Annexe 6	Questionnaire de la consultation internationale à destination des organismes, agences ou institutions nationaux responsables de la gestion ou de la lutte contre l'ambroisie	244
Annexe 7	Compte rendu de l'audition de l'Observatoire des ambroisies – FREDON France	248
Annexe 8	Compte rendu de l'audition de l'Agence Régionale de Santé (ARS) et de l'Observatoire Régional de Santé (ORS) de la région Auvergne-Rhône-Alpes	256
Annexe 9	Questionnaire de la consultation européenne menée par Bullock et al. (2013)	264
Annexe 10	Modélisation de l'exposition au pollen d'ambroisie en France métropolitaine	266
Annexe 11	Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise par départements et régions métropolitains	271
Annexe 12	Monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise par départements métropolitains	286

Sigles et abréviations

AASQA : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air

AM : Assurance Maladie

APSF : Association des pollinarius sentinelles de France

ARIA : *Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma*

ARS : Agence régionale de santé

ATC : Anatomique Thérapeutique Chimique

CAREPS : Centre Rhône-Alpes d'Épidémiologie et de Prévention Sanitaire

CBN : Conservatoire botanique national

CES : Comité d'experts spécialisé

CIP : Code Identifiant de Présentation

CMIP : *Coupled model intercomparison project* (en français : projet d'intercomparaison des modèles couplés)

CODERST : Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques

COSMO-ART : *Consortium for Small-scale Modeling - Aerosols and Reactive Trace Gases*

CSP : Code de la Santé Publique

DALY : *Disability adjusted life years* (en français : années de vie ajustées sur l'incapacité)

DAP : Disposition à payer

DGS : Direction générale de la santé

FCBN : Fédération de Conservatoires Botaniques Nationaux

FMI : *Finnish Meteorological Institute*

FNA : *Flora North America*

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

GT : Groupe de travail

HAS : Haute Autorité de Santé

IgE : immunoglobulines E

INCa : Institut national du cancer

ISAAC : *International Study of Asthma and Allergies in Childhood*

NUTS : Unités territoriales statistiques

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORS : Observatoire régional de la santé

QALY : *Quality-adjusted life year* (en français : année de vie pondérée par la qualité)

RAEP : Risque allergique lié à l'exposition aux pollens

RCP : *Representative Concentration Pathway* (en français : trajectoires de concentration représentatives)

RegCM : *Regional Climate Model system*

RNSA : Réseau National de Surveillance Aérobiologique

SILAM : *System for Integrated modeLLing of Atmospheric coMposition*

Liste des tableaux

Tableau 1. Superficie mondiale (km ²) des zones à « risque d'allergie élevé » en 2100 pour 3 espèces d'ambroisie dans les conditions climatiques actuelles et futures (Pachauri <i>et al.</i> 2014, Rasmussen <i>et al.</i> 2017).....	24
Tableau 2. Modes de dispersion de l'ambroisie	27
Tableau 3. Liste des 29 stations de mesures de pollens utilisées pour cartographier le taux d'infestation de l'ambroisie en France et taux d'infestation calculés (Thibaudon <i>et al.</i> 2014).....	65
Tableau 4. Matrice de confusion permettant d'évaluer la qualité du modèle empirique	70
Tableau 5. Durée des phases de développement de l'ambroisie et sensibilité à la photopériode tels qu'utilisés dans le modèle mécaniste (Bullock <i>et al.</i> 2013)	72
Tableau 6. Variables explicatives utilisées dans le modèle de prolifération de Bullock <i>et al.</i> (2013) ...	73
Tableau 7. Critères statistiques utilisés pour comparer les performances des cartographies de distribution de l'ambroisie dans Zink <i>et al.</i> (2017)	81
Tableau 8. Scores de performance des cartographies de distribution de l'ambroisie par région et scores globaux sur la base des moyennes régionales et sommes des résultats individuels (Zink <i>et al.</i> 2017).....	82
Tableau 9. Critères statistiques d'évaluation des performances des simulations exploitant Cosmo-Art (Zink <i>et al.</i> 2012).....	85
Tableau 10. Paramètres et constantes utilisés dans les simulations Cosmo-Art (Zink <i>et al.</i> 2012)	87
Tableau 11. Contributions modélisées (en %) des différentes régions émettrices de pollen d'ambroisie pour 5 stations de mesures en Allemagne (Zink <i>et al.</i> 2012)	87
Tableau 12. Paramètres du modèle SILAM pour les pollens d'ambroisie (Prank <i>et al.</i> 2013)	89
Tableau 13. Allergènes de pollen d'ambroisie (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	118
Tableau 14. Questionnaires standardisés pour évaluer la rhinite dans les études épidémiologiques	129
Tableau 15. Méthodes des deux enquêtes téléphoniques menées en région Rhône-Alpes en 2004 et 2014 (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014, CARESP 2005).....	134
Tableau 16. Synthèse des résultats d'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie en Rhône-Alpes en 2004 et 2014 (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014, CARESP 2005).....	136
Tableau 17. Tableau comparatif des méthodologies appliquées dans les analyses de données médico-administratives menées en Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes.....	139
Tableau 18. Comparaison des résultats obtenus dans les analyses de données médico-administratives menées en Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes	141
Tableau 19. Typologie des impacts, des coûts et des approches mobilisables en matière de monétarisation	158
Tableau 20. Impacts potentiels de l'ambroisie sur les services écosystémiques (Bullock <i>et al.</i> 2013)	171
Tableau 21. Équations de recherche utilisées et nombre de résultats (au 18 septembre 2019).....	179
Tableau 22. Comparaison des données exploitées et des méthodes mises en place dans trois analyses d'impact sanitaire de l'ambroisie.....	190
Tableau 23. Pertinence théorique et disponibilité des données dans la perspective de monétariser les impacts générés par l'ambroisie	191
Tableau 24. Coût estimé annuel (en €) associé à la prise en charge des soins liés à l'allergie à l'ambroisie par régions métropolitaines	192
Tableau 25. Coût estimé annuel (en €) associé à la prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie par régions métropolitaines	193
Tableau 26. Coût estimé annuel (en €) associé à la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie par régions métropolitaines	193
Tableau 27. Données d'entrée utilisées dans la paramétrisation des émissions des pollens d'aulne et de noisetier (Helbig <i>et al.</i> 2004).....	232

Tableau 28. Données d'entrée utilisées dans la paramétrisation des émissions des pollens d'aulne et de noisetier (Helbig <i>et al.</i> 2004).....	233
Tableau 29. Exposition moyenne estimée de la population au pollen d'ambroisie dans les départements métropolitains selon les modélisations du système SILAM.....	266
Tableau 30. Exposition moyenne estimée de la population au pollen d'ambroisie dans les régions métropolitaines selon les modélisations du système SILAM.....	270
Tableau 31. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) dans les départements de France métropolitaine selon les 4 relations exposition-risque issues des données françaises	276
Tableau 32. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie dans les régions de France métropolitaine selon les 4 relations exposition-risque issues des données françaises	279
Tableau 33. Prévalence estimée de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans les départements métropolitains selon les relations exposition-risque issues des données de la littérature	281
Tableau 34. Prévalence estimée de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans les régions de France métropolitaine selon les relations exposition-risque issues des données de la littérature	284
Tableau 35. Estimation du coût annuel (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains selon 4 relations exposition-risque	286
Tableau 36. Estimation du coût annuel (en milliers d'€) de prise en charge des arrêts de travail liés l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains selon 4 relations exposition-risque.....	290
Tableau 37. Estimation du coût annuel (en milliers d'€) associé à la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains selon 4 relations exposition-risque	294

Liste des figures

Figure 1. Distribution d' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> dans le monde (Montagnani <i>et al.</i> 2017)	21
Figure 2. Distribution d' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> en Europe – d'après Essl <i>et al.</i> (2015) à partir de Bullock <i>et al.</i> (2013) et de données non publiées de Chapman <i>et al.</i>	22
Figure 3. Chronologie de l'expansion de l'ambroisie en France, de 1865 à 2002 (Dessaint, Chauvel, et Bretagnolle 2005).....	23
Figure 4. Carte actuelle de la répartition française de l'ambroisie d'après les données de signalements de 2010 à 2018 (Observatoire des ambrosies - FREDON France, 2019).....	23
Figure 5. Cartes de répartition Française de l'ambroisie de 2005 à 2017 (Observatoire des ambrosies – FREDON France)	23
Figure 6. Distribution potentielle de l'ambroisie sous le climat actuel et futur telle que prévue par des modèles de distribution des espèces (Guisan et Thuiller 2005).....	24
Figure 7. Cycle de développement de l'ambroisie à feuilles d'armoise en France (Fumanal 2007)	25
Figure 8. L'ambroisie à feuille d'armoise : semences, feuilles, racines, fleurs et pollens (Fumanal 2007)	26
Figure 9. Quantités de pollen d'ambroisie mesurées par les capteurs de Genas, Roussillon et Valence en France entre août et septembre 2017, 2018, et 2019 (communication personnelle S. Monnier et RNSA, janvier 2020)	29
Figure 10. Habitats colonisés par <i>Ambrosia artemisiifolia</i> en France (Fumanal 2007).....	32
Figure 11. Comparaison des quatre espèces d'ambrosies introduites en France (Karrer <i>et al.</i> 2017) 33	
Figure 12. Distribution mondiale d' <i>Ambrosia trifida</i> , <i>A. psilostachya</i> et <i>A. tenuifolia</i> (Montagnani <i>et al.</i> 2017).....	34
Figure 13. Cartes de répartition Françaises de <i>A. trifida</i> (a), <i>A. psilostachya</i> (b), et <i>A. tenuifolia</i> (c) d'après les signalements de 2000 à 2018 (Observatoire de l'ambroisie, FREDON France, 2019).....	35
Figure 14. Adéquation de l'habitat de l'ambroisie à feuilles d'armoise (Aa, haut), de l'ambroisie à épis lisses (Ap, milieu) et de l'ambroisie trifide (At, bas) en Europe dans les conditions climatiques actuelles (gauche) et futures selon deux scénarios de changement climatique (centre et droite) (Rasmussen <i>et al.</i> 2017).....	36
Figure 15. Les quatre composantes de la stratégie globale de lutte contre l'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	37
Figure 16. Organisation territoriale de la lutte contre l'ambroisie (source : Observatoire des ambrosies, Annexe 7).....	38
Figure 17. Carte des départements métropolitains dotés d'un arrêté préfectoral relatif à la lutte contre l'ambroisie (décembre 2019)	38
Figure 18. Le rôle du référent ambroisie (Bilon, Chauvel, et Mottet 2017)	40
Figure 19. Sept organismes les plus prometteurs et complémentaires en terme de niche alimentaire (Gerber <i>et al.</i> 2011).....	45
Figure 20. Procédure de signalement de l'ambroisie (source : www.signalement-ambroisie.fr)	49
Figure 21. Localisation des capteurs du Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) ...	50
Figure 22. Grille de correspondance entre risque allergique théorique du pollen d'ambroisie et comptes polliniques selon zone d'infestation	53
Figure 23. Carte annuelle des comptes polliniques et du risque sanitaire induit par les pollens d'ambroisie en France	54
Figure 24. Principe général d'une chaîne de modélisation de dispersion atmosphérique	55
Figure 25. Qualité des données collectées sur la distribution de l'ambroisie à feuille d'armoise en Europe (Bullock <i>et al.</i> 2013)	58
Figure 26. Carte de distribution de l'ambroisie à feuille d'armoise en Europe en 2013 (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	59

Figure 27. Carte de distribution de l'ambroisie à feuille d'armoise en France en 2013 (Bullock <i>et al.</i> 2013)	59
Figure 28. Carte de distribution de l'abondance de l'ambroisie à feuille d'armoise en Europe (Bullock <i>et al.</i> 2013)	60
Figure 29. Cartes retraçant la prolifération de l'ambroisie en Europe depuis 1900 (Bullock <i>et al.</i> 2013)	60
Figure 30. Densité des signalements d'ambroisie en région Rhône-Alpes (Atmo Rhône-Alpes 2010)	61
Figure 31. Probabilité de présence de l'ambroisie en région Rhône-Alpes en fonction des critères d'altitude et d'occupation des sols (Atmo Rhône-Alpes 2010)	61
Figure 32. Densité probable d'ambroisie en région Rhône-Alpes (Atmo Rhône-Alpes 2010)	61
Figure 33. Algorithme général de production de la cartographie de la distribution de l'ambroisie en plaine de Pannonie par une approche descendante (Skjøth <i>et al.</i> 2010)	63
Figure 34. Densité des habitats potentiels de l'ambroisie dans la plaine pannonienne sur une grille de 50x50 km (Skjøth <i>et al.</i> 2010)	63
Figure 35. Taux d'infestation par l'ambroisie dans la plaine pannonienne sur une grille de 50x50 km (Skjøth <i>et al.</i> 2010)	63
Figure 36. Habitats potentiels pour l'ambroisie définis selon l'altitude (Thibaudon <i>et al.</i> 2014)	64
Figure 37. Cartographie des 29 stations de mesures françaises prises en compte pour cartographier le taux d'infestation de l'ambroisie en France par une approche descendante (Thibaudon <i>et al.</i> 2014)	65
Figure 38. Densité (%) des habitats potentiels de l'ambroisie en France sur une grille de 5x5 km (Thibaudon <i>et al.</i> 2014)	65
Figure 39. Taux d'infestation « européen » (%) par l'ambroisie en France sur une grille de 5x5 km (Thibaudon <i>et al.</i> 2014)	65
Figure 40. Taux d'infestation (%) par l'ambroisie en Italie sur une grille de 5x5 km pour trois périodes de temps : 2003-2014 (a), 2003-2012 (b), et 2013-2014 (c) (Bonini <i>et al.</i> 2018)	66
Figure 41. Schéma général illustrant la méthodologie de construction des cartes de distribution de l'ambroisie en Europe (Skjøth <i>et al.</i> 2019)	67
Figure 42. Stations de mesure exploitées pour la construction des cartes de distribution de l'ambroisie en Europe (Skjøth <i>et al.</i> 2019)	67
Figure 43. Taux d'infestation (%) par l'ambroisie en Europe sur une grille de 10x10 km (à gauche) et en France et en Italie sur une grille de 1x1 km (à droite) (Skjøth <i>et al.</i> 2019)	68
Figure 44. Etapes principales de génération d'un modèle corrélatif ou empirique (Leriche 2010)	69
Figure 45. Fonctionnement d'un modèle mécaniste (haut) et influence des variables environnementales (bas)	71
Figure 46. Taux de développement phénologique de l'ambroisie en fonction de la température horaire (gauche) et photopériode (droite) pendant la phase photosensible (Bullock <i>et al.</i> 2013)	72
Figure 47. Stades de développement prédits pour être atteints par l'ambroisie (gauche) et présence observée de l'ambroisie (droite) en Europe (Bullock <i>et al.</i> 2013)	73
Figure 48. Cartographie de la qualité climatique calibrée pour l'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013)	75
Figure 49. Cartographie des facteurs limitant de la qualité climatique calibrée pour l'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013)	75
Figure 50. Probabilité d'extinction de l'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013)	76
Figure 51. Probabilité de présence modélisée de l'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013)	76
Figure 52. Cartographie de la distribution observée de l'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013)	76
Figure 53. Cartes de la distribution d'ambroisie en France selon différentes approches (Zink <i>et al.</i> 2017)	79
Figure 54. Regroupement des sites de mesures par région pour l'analyse des performances des cartographies de distribution (Zink <i>et al.</i> 2017)	81
Figure 55. Illustration schématique des étapes du traitement des émissions de pollen	83

Figure 56. Distribution de l'ambroisie en Allemagne, Autriche, République tchèque et Hongrie (Zink <i>et al.</i> 2012).....	85
Figure 57. Concentrations modélisées et mesurées des pollens d'ambroisie entre le 13 et le 16 septembre 2006 (Zink <i>et al.</i> 2012).....	86
Figure 58. Scores de performances issus des matrices de contingences des 15 simulations Cosmo-Art réalisées (Zink <i>et al.</i> 2012)	88
Figure 59. Émissions totales de pollen (pollen.m ⁻² .an ⁻¹) à gauche, compte pollinique total au centre, et biais fractionnel sur les comptes polliniques à droite selon pour la période 2005-2011 (en moyenne) à partir de la cartographie de distribution initiale (Prank <i>et al.</i> 2013).....	90
Figure 60. Émissions totales de pollen (pollen.m ⁻² .an ⁻¹) à gauche, compte pollinique total au centre, et biais fractionnel sur les comptes polliniques à droite pour la période 2005-2011 (en moyenne) à partir de la cartographie de distribution corrigée (Prank <i>et al.</i> 2013)	91
Figure 61. Carte des facteurs de correction des émissions de pollens d'ambroisie (Bullock <i>et al.</i> 2013)	91
Figure 62. Séries temporelles des comptes polliniques mesurés, issus de la première simulation, et issus de la simulation après calibrage (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	93
Figure 63. Nombre de jours de dépassement de seuil pour les comptes polliniques mesurés, issus de la première simulation, et issus de la simulation après calibrage (Bullock <i>et al.</i> 2013)	93
Figure 64. Progression de la saison en nombre de jours depuis le 1 ^{er} janvier (début à gauche, pic au centre, fin à droite) d'après simulations exploitant SILAM en haut (à 2,5%, 50%, et 97,5% des émissions) et d'après comptes polliniques annuels mesurés en bas (Prank <i>et al.</i> 2013).....	94
Figure 65. Précision de la progression modélisée de la saison pollinique donnée par la différence entre le nombre de jours depuis le 1 ^{er} janvier modélisés par SILAM et le nombre de jours depuis le 1 ^{er} janvier mesurés à 2,5% (gauche), 50% (centre) et 97,5% (droite) des émissions modélisées (Prank <i>et al.</i> 2013).....	94
Figure 66. Corrélations temporelles entre comptes polliniques mesurés et comptes pollinique modélisés par SILAM sur la période 2005-2011 (séries temporelles saisonnières) (Prank <i>et al.</i> 2013).....	94
Figure 67. Nombre d'heures cumulées avec des concentrations horaires simulées par SILAM dépassant des seuils de 5 (gauche), 20 (centre), et 100 (droite) grains par m ³ (Prank <i>et al.</i> 2013, Zink <i>et al.</i> 2017).....	95
Figure 68. Comparaison (ratio) du nombre de jours avec dépassements horaires selon modélisation par SILAM et selon mesures pour les seuils 5 (gauche), 20 (centre) et 100 (droite) grains par m ³ (Prank <i>et al.</i> 2013).....	95
Figure 69. Scores statistiques de bonne détections (haut) et mauvaise détections (bas) par la modélisation SILAM du nombre de jours avec dépassements horaires pour les seuils 5 (gauche), 20 (centre) et 100 (droite) grains par m ³ (Prank <i>et al.</i> 2013).....	95
Figure 70. Comptes polliniques annuels moyennés (mesures en noir et modélisation SILAM en orange) sur les stations de Hongrie entre 2005 et 2011 (Prank <i>et al.</i> 2013).....	96
Figure 71. Comparaison des mesures avec les sorties brutes CHIMERE (bleu) et les sorties assimilées (rouge) selon krigeage avec dérive externe (haut) et Krigeage avec dérive externe avec variable auxiliaire (bas) pour les stations de Roussillon (gauche) et Coux (droite) (Atmo Rhône-Alpes 2010)	98
Figure 72. Nombre de jours avec un risque allergique très élevé selon modélisations CHIMERE brutes (rouge), modélisations CHIMERE assimilées (bleu), et données mesurées du RSA (vert) (Atmo Rhône-Alpes 2010).....	98
Figure 73. Évolution des concentrations en CO ₂ en fonction de quatre scénarios de changement climatique RCP (van Vuuren <i>et al.</i> 2011)	100
Figure 74. Distributions géographiques de l'ambroisie après processus de calibration pour CHIMERE (en haut) et RegCM (en bas) sur la période actuelle (à gauche) et deux scénarios climatiques futurs (au centre et à droite) (Hamaoui-Laguel <i>et al.</i> 2015)	101
Figure 75. Comparaison des données mesurées et des valeurs modélisées avant calibration (gauche) et après calibration (droite) pour les modèles CHIMERE (haut) et RegCM (bas) (Hamaoui-Laguel <i>et al.</i> 2015).....	101

Figure 76. Comptes polliniques moyens annuels simulés par CHIMERE (haut) et RegCM (bas) pour la période actuelle (1986-2005, gauche) et la période future (2041-2060) selon les scénarios de changement climatique modéré (RCP4,5, centre) et pessimiste (RCP8,5, droite) (Hamaoui-Laguel <i>et al.</i> 2015).....	102
Figure 77. Contributions de différents facteurs aux comptes polliniques relatifs au scénario de référence 2050 (RCP8,5) (Hamaoui-Laguel <i>et al.</i> 2015).....	103
Figure 78. Impact des scénarios rapide (gauche) et lent (droite) de propagation de l'ambroisie sur la distribution de la plante en 2041-2060 pour le scénario de changement climatique pessimiste (RCP8,5) et les modèles CHIMERE (haut) et RegCM (bas).....	104
Figure 79. Impact des scénarios rapide (gauche) et lent (droite) de propagation de l'ambroisie sur les comptes polliniques annuels en 2041-2060 pour le scénario de changement climatique pessimiste (RCP8,5) et les modèles CHIMERE (haut) et RegCM (bas).....	104
Figure 80. Comptes polliniques moyens mensuels pour la période actuelle (gauche) et future (2041-2060, droite) en grains par m ³ (Lake <i>et al.</i> 2017).....	105
Figure 81. Cartographies de la probabilité (de 0 à 1) de présence de l'ambroisie pour la période 1990-2010 (à gauche) et pour les 4 scénarios climatiques envisagés à l'horizon 2060 (à droite, identifiés par les lettres (a) à (d)) (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	107
Figure 82. Évolution au cours du temps du nombre de mailles (5 x 5 km) infestées par l'ambroisie en Europe pour chacun des quatre scénarios considérés par (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	107
Figure 83. Qualité climatique (en haut) et facteurs limitants de la qualité climatique (en bas) pour l'installation de l'ambroisie en 2050 pour chacun des trois scénarios de changement climatique considéré par (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	108
Figure 84. Cartographies brutes (gauche) et corrigées (droite) du nombre moyen d'heures de dépassements de seuils des concentrations simulées des pollens d'ambroisie (>1, >10, et >50 grains/m ³ en haut, au centre, et en bas, respectivement) pour la période actuelle 1990-2010 (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	109
Figure 85. Cartographies brutes du nombre moyen d'heures de dépassements de seuils des concentrations simulées des pollens d'ambroisie (>1 grains/m ³ à droite et >50 grains/m ³ à gauche) pour l'année 2050 selon les 3 scénarios prospectifs (en lignes) de changement climatique et d'occupation des sols (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	109
Figure 86. Exposition humaine simulée au pollen d'ambroisie pour la période actuelle (1990-2010) par pays d'Europe (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	111
Figure 87. Trajectoires de l'exposition humaine simulée au pollen d'ambroisie de 2010 à 2080 selon trois scénarios de changement climatique (en lignes) pour l'Europe (à gauche), la Hongrie (au centre), et l'Allemagne (à droite) (Bullock <i>et al.</i> 2013).....	111
Figure 88. Interactions entre le pollen, les facteurs environnementaux et les acteurs du système immunitaire inné conduisant à la réponse inflammatoire et les acteurs du système immunitaire acquis conduisant à la réponse immunologique T2.....	120
Figure 89. Activité redox liée au contenu en NADPH oxydase de différents pollens (Boldogh <i>et al.</i> 2005).....	121
Figure 90. Activité rédox liée au contenu en NADPH oxydase dans du pollen d'ambroisie « frais » et du pollen d'ambroisie « vieux ».....	121
Figure 91. Relation exposition-risque décrivant le taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie (en %) en fonction des niveaux de pollens d'ambroisie (nombre total de grains par m ³ par an) (Lake <i>et al.</i> 2017).....	145
Figure 92. Prévalence (%) estimée de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie en Europe pour la période actuelle (à gauche) et la période future (à droite) (Lake <i>et al.</i> 2017).....	147
Figure 93. Répartition géographique des données quantitatives descriptives des taux de sensibilisation allergique (en %) en Europe dans la population générale (A) et les populations de « patients » (B) (Schaffner <i>et al.</i> 2020).....	151
Figure 94. Relation entre la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie et le nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m ³ dans 313 localités de la région Rhône-Alpes (Schaffner <i>et al.</i> 2020).....	152

Figure 95. Cartographie de la prévalence estimée de la sensibilisation allergique (en %) à l'ambroisie dans la population européenne (Schaffner <i>et al.</i> 2020)	152
Figure 96. Schématisation du surplus du consommateur et du producteur.....	157
Figure 97. Typologie des producteurs de soins	159
Figure 98. Méthode d'estimation des coûts de l'allergie à l'ambroisie en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017 (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018).....	160
Figure 99. Répartition du coût total estimé de l'allergie à l'ambroisie par type de coût en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017 (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018).....	161
Figure 100. Coût moyen par personne ayant consommé des soins remboursés en lien avec l'allergie à l'ambroisie par département en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017	161
Figure 101. Répartition du coût total estimé de l'allergie à l'ambroisie par type de coût et par département en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017	161
Figure 102. Effet de la subvention.....	162
Figure 103. Démarche calculatoire des <i>Disability Adjusted Life Years</i> (DALYs).....	166
Figure 104. Complémentarité des DALYs et des QALYs (Arnesen et Nord 1999).....	166
Figure 105. Cadre général d'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France métropolitaine appliqué dans la présente expertise.....	176
Figure 106. Relations exposition-risque (1 à 4) dérivées des données Françaises (en Auvergne-Rhône-Alpes) exprimant la prévalence de l'allergie à l'ambroisie (%) en fonction de deux indicateurs d'exposition	182
Figure 107. Nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m ³ modélisé par SILAM pour la période 2005-2011.....	183
Figure 108. Nombre de jours annuel avec ≥6 grains de pollens d'ambroisie par m ³ modélisé par SILAM pour la période 2005-2011.....	183
Figure 109. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) en France selon les relations exposition-risque (1 à 4) issues des données françaises.....	184
Figure 110. Distribution de la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) dans les EPCI des 11 régions de France métropolitaine selon les relations exposition-risque (1 à 4) issues des données françaises.....	185
Figure 111. Estimation des dépenses de soins associés à l'ambroisie en France obtenue par Fredon France-Observatoire des Ambrosies	195
Figure 112. Cycles journaliers (de 0 à 24 heures) des vitesses de friction et vitesses de friction seuil pour les émissions et la remise en suspension du pollen de noisetier.....	235
Figure 113. Cycles journaliers (de 0 à 24 heures) des concentrations en pollen de noisetier à différentes distances de la source pour le 5 ^e jour de simulation	235
Figure 114. Cycles journaliers (de 0 à 24 heures) des flux d'émissions du pollen de noisetier pour 4 jours de simulation	235
Figure 115. Coupe verticale des concentrations en pollen de noisetier à 12 heures pour le 5 ^e jour de simulation.....	235
Figure 116. Topographie du domaine d'étude et champ de vent à 12 heures	236
Figure 117. Flux d'émission de pollen d'aulne sur le domaine d'étude à 12 heures	236
Figure 118. Cartographie des concentrations simulées de pollen d'aulne en surface (20 m du sol) en milieu de journée (12 heures, à gauche) et en fin de journée (18 heures, à droite)	236
Figure 119. Fonction décrivant l'influence de la température (à gauche), de l'humidité relative (au centre) et de la turbulence de l'atmosphère (à droite) sur la libération du pollen de bouleau.....	238
Figure 120. Principe d'ajustement du modèle phénologique de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur les données du capteur Roussillon.	239
Figure 121. Profil quotidien (de 0 à 24 heures) du facteur d'émissions des pollens d'ambroisie modélisé en pourcentage de la dose journalière totale émise (Atmo Rhône-Alpes 2010).....	239
Figure 122. Fonctionnement de l'Observatoire des Ambrosies.....	248

Figure 123. Nombre de requêtes journalières (en moyenne de 2004 à 2019) pour différents mots clés (source : <i>Google Trends</i>).....	250
Figure 124. Nombre de requêtes associant le mot « ambroisie » à « santé » par régions (source : <i>Google Trends</i>).....	251
Figure 125. Documentations existantes pour divers publics.....	252
Figure 126. Relations exposition-risque (S1 et S2) dérivées des données de la littérature exprimant la prévalence de la sensibilisation allergique (%) en fonction du nombre total de grains de pollens d'ambroisie mesuré annuellement.....	271

1. Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Comme l'ont souligné de précédents travaux (Anses 2014), l'ambroisie à feuilles d'armoise émet du pollen fortement allergisant qui est facilement transportable par l'air sur de longues distances, constituant ainsi un enjeu de santé publique important. Très présente en Hongrie et au nord de l'Italie, l'ambroisie l'est aussi particulièrement dans la Vallée du Rhône en France. Des cartographies récentes ont mis en évidence une extension de la présence de la plante en France au cours des dernières années (voir chapitres 2 et 3) qui pourrait continuer d'ici 2050 pour toucher tout le territoire métropolitain français, augmentant ainsi l'impact sanitaire associé (Lake *et al.* 2017).

L'impact sanitaire de l'ambroisie à feuilles d'armoise est régulièrement évalué en Auvergne-Rhône-Alpes, région française la plus touchée, par l'Agence Régionale de Santé (ARS). Selon une enquête téléphonique en population générale, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie a été estimée entre 12,5% et 14,1% dans cette région, et serait en augmentation depuis 2004 (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014). De fortes disparités départementales sont constatées. Les dépenses (incluant utilisation de médicaments, consultations, arrêts de travail) liées à cette allergie ont quant à elles été estimées entre 8,9 et 13,2 millions d'euros en 2014 pour la seule région Rhône-Alpes (Gelas 2015). Cependant, des interrogations subsistent quant à l'impact sanitaire et économique lié à l'ambroisie à feuilles d'armoise dans le reste du territoire français (hors Auvergne-Rhône-Alpes).

En conséquence, le 3^{ème} Plan national santé-environnement (2015-2019) a prévu des mesures pour la surveillance et l'évaluation de l'ambroisie en France – mais sans cadre juridique. Le décret n°2017-645 du 26 avril 2017 définit les mesures destinées à prévenir l'apparition de l'ambroisie ou lutter contre sa prolifération et dont l'application est placée sous la responsabilité des préfets après avis du CODERST et de l'ARS. Cependant, les outils actuels, tant législatifs que techniques, semblent insuffisants pour permettre la maîtrise de la propagation et des impacts sanitaires de la plante.

1.2 Objet de la saisine

Dans ce contexte, l'Anses a été saisie par la Direction Générale de la Santé (DGS), pour dresser un état des connaissances sur l'impact sanitaire et économique associé à l'ambroisie à feuilles d'armoise en France et réaliser l'estimation de leur évolution (cf. Annexe 1).

Les demandes initiales formulées dans la saisine étaient déclinées autour de quatre axes :

- Documenter la prévalence de la pollinose à l'ambroisie à feuilles d'armoise et son évolution en France et à l'étranger en fonction notamment de l'exposition à ce pollen et du niveau d'infestation par la plante ;
- Identifier les éventuels mécanismes et facteurs associés à l'évolution différenciée de cette prévalence ;
- Estimer la prévalence de cette pollinose pour l'ensemble du territoire national et son évolution possible sur la base de scénarios d'évolution de l'état d'infestation qui seront proposés ;
- Évaluer le coût sanitaire des allergies à l'ambroisie pour l'ensemble du territoire national et son évolution possible tenant compte des mêmes scénarios d'évolution.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié à un groupe de travail (GT) ad-hoc, rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » l'instruction de cette saisine. Ce GT a été constitué après appel à candidatures d'experts public.

Les travaux du GT se sont appuyés sur une collecte d'informations par l'intermédiaire :

- De recherches bibliographiques ;
- D'une consultation nationale (Annexe 5) et internationale (Annexe 6) ;
- D'auditions (Annexe 7 et Annexe 8).

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

2. L'ambrosie

2.1 Description de l'espèce

2.1.1 Taxonomie et origine

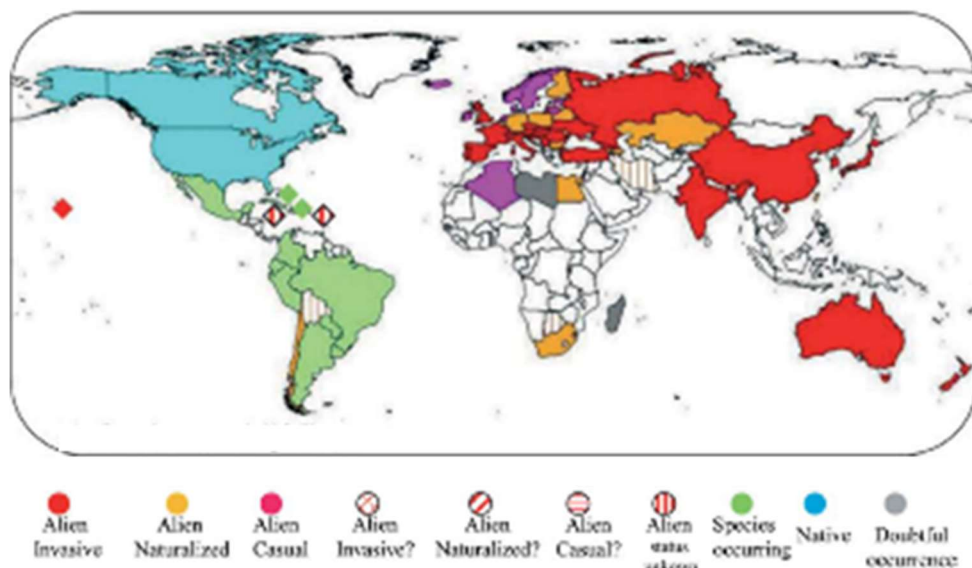
L'ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L., syn. *A. elatior* L.) fait partie de la famille des Asteracées (tribu *Heliantheae*, sous-tribu *Ambrosiinae*). Le nom « ambrosie » sera employé dans la suite du texte en référence à l'ambrosie à feuilles d'armoise, sauf mention du contraire.

Le genre *Ambrosia* est composé d'une quarantaine d'espèces, toutes natives du continent américain (dont la majorité du nord du continent) à l'exception d'une seule espèce, *A. maritima* (FloraNorthAmerica 2006, Makra *et al.* 2015). Cette dernière est signalée comme étant originaire de la région méditerranéenne et d'Afrique tropicale. Le genre *Ambrosia* est phylogénétiquement proche des genres *Hymenoclea*, *Iva* et *Xanthium* (Miao *et al.* 1995, Miao, Turner, et Mabry 1995). Le genre est présent depuis de nombreuses décennies sur tous les continents et plus particulièrement entre les latitudes 45° et 30° nord et sud (Allard 1943).

L'ambrosie est originaire d'Amérique du Nord comme l'attestent des pollens fossiles retrouvés dans des dépôts interglaciaires canadiens datant de 60 000 ans (Bassett et Crompton 1975). Elle est présente des États-Unis au Canada à l'exception des deux territoires : Yukon et Nunavut.

2.1.2 Historique de l'introduction et aire de distribution actuelle

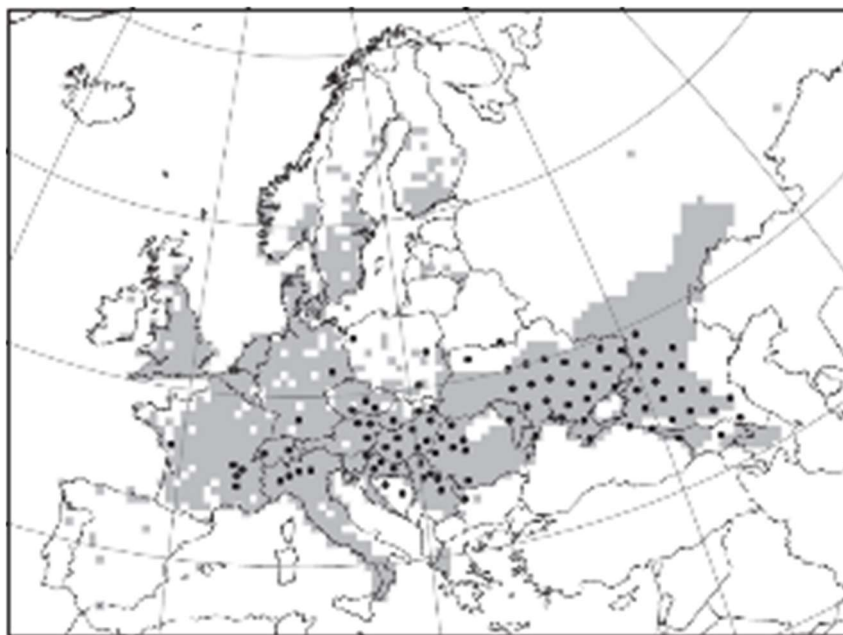
L'ambrosie a été introduite depuis la fin du 19^{ème} siècle dans de nombreuses régions tempérées de la planète (Bassett et Crompton 1975, Essl *et al.* 2015, Montagnani *et al.* 2017) – voir Makra *et al.* (2015) pour un descriptif détaillé de l'historique d'introduction pays par pays (Figure 1). L'espèce est également présente dans des pays dont le climat ne lui est pas totalement favorable, comme par exemple les Pays-Bas ou la Belgique. Dans ces pays, les populations d'ambrosie sont naturalisées mais non invasives.



Les statuts *invasive*, *naturalized*, et *casual* sont attribués quand ils sont confirmés. Lorsqu'ils sont incertains, ils sont suivis de « ? ». *Alien* : espèce non native du pays. *Alien status unknown* : espèce non native du pays mais statut in connu. *Species occurring* : espèce présente dans le pays mais origine (étrangère ou native) incertaine. *Native* : espèce native du pays. *Doubtful occurrence* : présence de l'espèce non confirmée.

Figure 1. Distribution d'*Ambrosia artemisiifolia* dans le monde (Montagnani *et al.* 2017)

L'ambroisie a été identifiée pour la première fois en Europe à la fin du 18^{ème} siècle dans des jardins botaniques français. Elle a été observée dans la nature dans de nombreux pays européens au cours du 19^{ème} siècle. La distribution de l'espèce au début du 21^{ème} siècle est présentée dans la Figure 2.



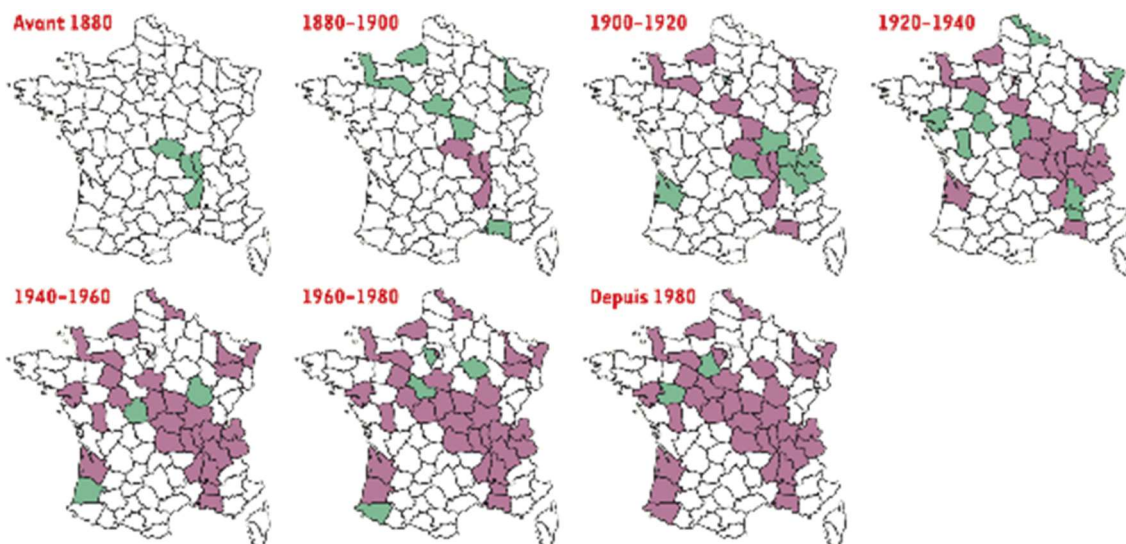
Les carrés gris indiquent la présence de l'espèce (maille de 50 x 50 km). Les points noirs indiquent des zones très fortement colonisées associées à des niveaux d'allergies élevés

Figure 2. Distribution d'*Ambrosia artemisiifolia* en Europe – d'après Essl et al. (2015) à partir de Bullock et al. (2013) et de données non publiées de Chapman et al.

L'ambroisie est actuellement présente en abondance en Europe, principalement entre les latitudes 42° et 52° nord (Figure 2). Elle est particulièrement abondante dans le sud de l'Europe de l'Est et de l'Europe centrale (principalement en Hongrie, Croatie et Serbie). D'après l'étude génétique menée par (Gaudeul et al. 2011), les populations d'ambroisie d'Europe centrale seraient originaires de l'Est des États-Unis alors que celles installées en Europe de l'Est viendraient plutôt de l'Ouest des États-Unis.

L'ambroisie a été trouvée en France dès 1863 dans des champs de trèfle violet du département de l'Allier (Olivier 1904) et peu après dans les années 1870 dans la vallée du Rhône (Rhône, Loire, Ardèche). Comme le montre l'étude de Dessaint, Chauvel, et Bretagnolle (2005), l'ambroisie a ensuite été introduite à de multiples reprises tout au long du 20^{ème} siècle dans d'autres départements Français, soit *via* des introductions primaires de l'aire native soit secondairement *via* des zones françaises ou européennes déjà colonisées (Figure 3).

En France, le foyer principal de l'ambroisie se situe actuellement dans les vallées du Rhône et de la Loire (Figure 4). Depuis 2005, les populations d'ambroisie semblent toujours, et de plus en plus, en pleine progression et densification sur le territoire (Figure 5). La Figure 5 montre l'expansion récente de l'ambroisie en Poitou-Charentes et Midi-Pyrénées ainsi qu'en Auvergne. Elle est principalement retrouvée à l'étage collinéen, en plaine et basse altitude, bien qu'elle puisse être observée occasionnellement jusqu'à au moins 1000 m d'altitude. À ces altitudes élevées, l'ambroisie ne rencontre pas les conditions nécessaires pour s'installer durablement et produire des semences (Allard 1943). Bien qu'elle n'y soit pas envahissante, l'ambroisie est recensée en Martinique et Guadeloupe (Anses 2017b, Gerber et al. 2011, Montagnani et al. 2017).



En vert : les nouveaux départements où l'espèce est apparue entre deux périodes.

Figure 3. Chronologie de l'expansion de l'ambroisie en France, de 1865 à 2002 (Dessaint, Chauvel, et Bretagnolle 2005)

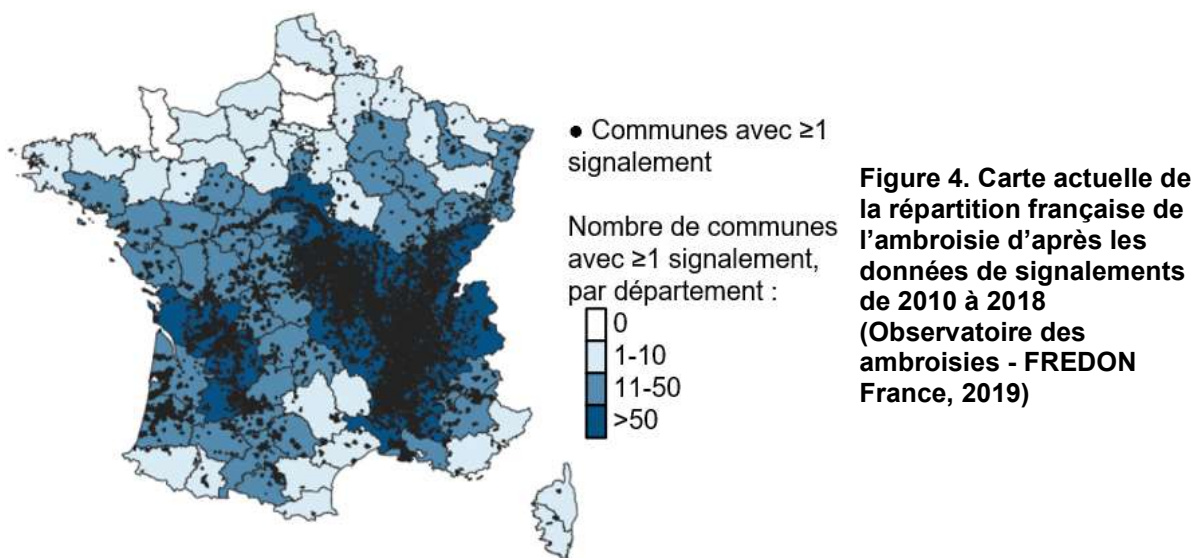


Figure 4. Carte actuelle de la répartition française de l'ambroisie d'après les données de signalements de 2010 à 2018 (Observatoire des ambrosies - FREDON France, 2019)

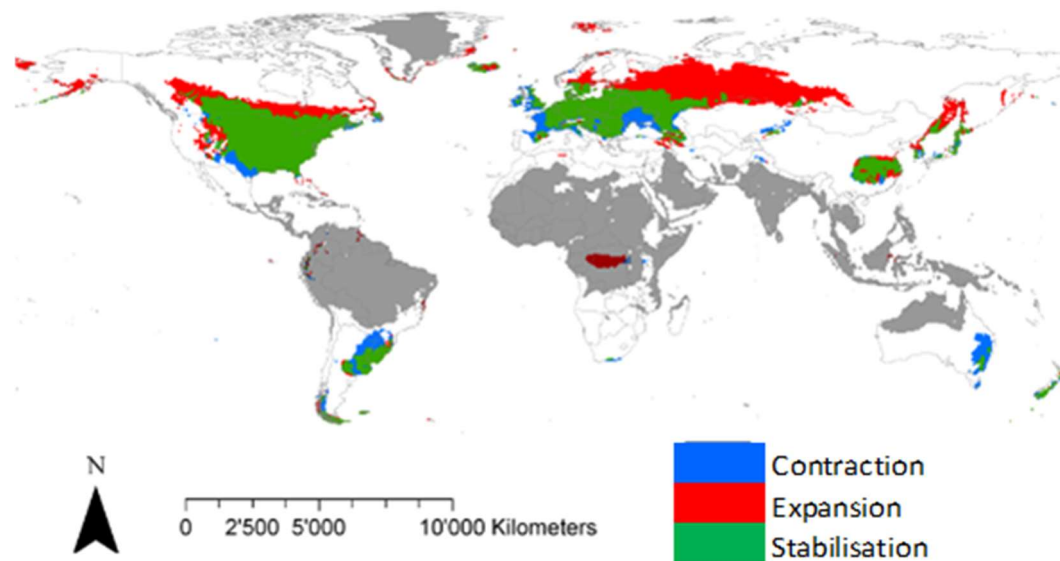


Les points représentent les communes dans lesquelles il y a eu au moins un signalement. Cartes créées à partir des données issues du réseau des conservatoires botaniques nationaux et partenaires ainsi que des données AtlaSanté validées de la plateforme de signalement.

Figure 5. Cartes de répartition Française de l'ambroisie de 2005 à 2017 (Observatoire des ambrosies – FREDON France)

2.1.3 Distribution future de l'ambroisie

Les modélisations¹ actuelles basées sur des scénarios climatiques plus ou moins optimistes, s'accordent à prévoir, à l'horizon 2100, une expansion mondiale des populations d'ambroisie en raison du changement climatique (Figure 6) (Essl *et al.* 2015, Rasmussen *et al.* 2017).



En bleu, rouge et vert les zones de contraction, d'expansion et de stabilisation potentielles de l'aire de répartition de l'ambroisie. Les zones grises représentent les conditions climatiques non analogues par rapport à la gamme utilisée pour l'étalonnage des modèles de distribution des espèces. D'après Essl *et al.* (2015).

Figure 6. Distribution potentielle de l'ambroisie sous le climat actuel et futur telle que prévue par des modèles de distribution des espèces (Guisan et Thuiller 2005)

C'est en Europe que l'expansion la plus importante de l'ambroisie est prédite d'ici 2100 (Figure 6). Cette expansion de l'ambroisie serait plus importante dans le cas du scénario correspondant à une augmentation de la température moyenne de 2,2°C d'ici 2100 que dans des scénarios plus pessimistes (Tableau 1). On peut tout de même observer que dans certaines régions, dont notamment en France, l'ambroisie aurait tendance à régresser dans la partie Ouest et Centre mais à se maintenir à l'Est voire à progresser en altitude.

Tableau 1. Superficie mondiale (km²) des zones à « risque d'allergie élevé » en 2100 pour 3 espèces d'ambroisie dans les conditions climatiques actuelles et futures (Pachauri *et al.* 2014, Rasmussen *et al.* 2017)

	Superficie considérée « risque d'allergie élevé » (km ²) en 2100 selon le scénario climatique :		
	Actuel	RCP6,0	RCP8,5
Ambroisie à feuilles d'armoise	89 460	178 960	129 320
Ambroisie à épis lisses	41 660	52 760	78 650
Ambroisie trifide	38 220	75 290	26 530

Les scénarios climatiques RCP (trajectoires de concentration représentatives) correspondent à une augmentation moyenne des températures de +1,4°C à +3,1°C pour RCP6,0 et de +2,6°C à +4,8°C pour RCP8,5.

¹ Ces éléments sont discutés plus précisément dans le chapitre 3.

Les modèles à l'échelle européenne s'accordent à prédire que les étés plus chauds et les gels d'automne plus tardifs permettront une propagation de l'ambroisie vers le nord (jusqu'au sud de la Scandinavie et aux îles britanniques) et l'est de l'Europe (Cunze, Leiblein, et Tackenberg 2013, Storkey *et al.* 2014). En revanche, les populations actuelles d'ambroisie les plus méridionales deviendront inadaptées au climat en raison de l'effet combiné de l'augmentation des sécheresses estivales et des températures élevées. C'est ainsi qu'on observe une contraction probable des populations d'ambroisie dans le sud de la France à l'horizon 2100.

Il reste toutefois complexe de prévoir avec certitude la propagation d'une espèce envahissante (Gallien *et al.* 2010). La modélisation est entravée par la distribution non équilibrée de l'ambroisie, la cartographie parfois imprécise de sa distribution à l'échelle continentale, la mauvaise cartographie de la variation de la taille des populations, ou encore par les modèles peu adaptés à la dispersion anthropique (Bullock *et al.* 2013). Seuls les modèles appliqués à l'échelle régionale dans des pays bien cartographiés semblent les plus valides (Richter *et al.* 2013, Smolik *et al.* 2010). D'autres facteurs que le climat peuvent également influencer de manière positive ou négative la propagation future de l'espèce comme la déprise agricole telle qu'observée en Europe de l'Est, la politique et l'efficacité de la lutte contre l'espèce, l'utilisation accrue de pesticides comme dans le nord-ouest de l'Europe (Essl *et al.* 2015).

2.1.4 Biologie et phénologie de l'espèce

2.1.4.1 Cycle biologique

L'ambroisie est une espèce annuelle dont le cycle biologique commence au début du printemps pour se terminer au milieu de l'automne (Figure 7). En France, les semences germent de fin mars à fin avril, et les plantes se développent jusqu'à la floraison (émission des pollens) en fin d'été, de fin juillet à septembre. Les plantes produisent et dispersent leurs semences d'octobre à décembre.

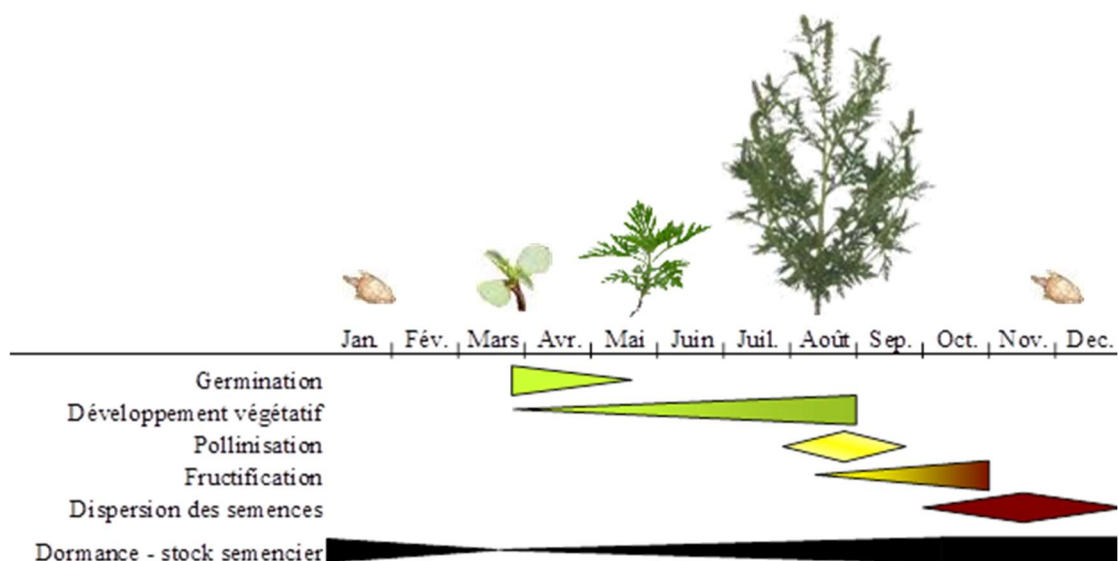


Figure 7. Cycle de développement de l'ambroisie à feuilles d'armoise en France (Fumanal 2007)

2.1.4.2 Semences d'ambroisie : caractéristiques, dispersion, stock semencier

Les semences d'ambroisie sont des akènes (fruits secs indéhiscents) de 3-4 mm renfermant une graine (Figure 8). Elles se développent de fin août à fin octobre et sont libérées à maturation entre octobre et décembre. Les modes de dispersion (et vecteurs) de l'ambroisie sont multiples et conduisent à une propagation de l'espèce à des échelles spatiales différentes. Naturellement, les semences d'ambroisie se dispersent principalement en tombant de la plante par simple barochorie, généralement dans un rayon de 2 mètres autour de la plante mère (Dickerson 1969, Gebben 1965). Toutefois, une proportion importante des semences est en capacité de flotter et peut ainsi être également dispersée à longue et très longue distance par les cours d'eau lorsque la plante se développe à proximité (Fumanal *et al.* 2007). Secondairement, les semences d'ambroisie peuvent être dispersées à longue et très longue distance via des vecteurs d'origine anthropique (déplacement de terres et de substrats contaminés, d'engins agricoles, commerce de semences pour l'agriculture ou l'oisellerie) (Essl *et al.* 2015). Enfin, la dispersion *via* l'épandage de compost est potentiellement possible mais peu documentée et considérée comme marginale par Bullock *et al.* (2013). La dispersion par les animaux par endo- ou ectozoochorie sont également possibles mais restent limitées (Bullock *et al.* 2013). Le Tableau 2, modifié d'après Essl *et al.* (2015), synthétise ces différents éléments pour l'Europe et, selon les informations connues, spécifiquement pour la France.



a) Plantules d'ambroisie au stade cotylédon ou première paire de feuilles ; b) Racine principale en pivot ; c) Plante adulte en fleur ; d) Inflorescence mâle - début de pollinisation ; e) Akènes non matures – disposés en grappes l'aisselle des feuilles ; f) Grains de pollen en vue polaire (gauche) et méridienne (droite) ; g) Semences d'ambroisie : akène mature (haut), akène ouvert montrant un embryon unique et charnu (bas)

Figure 8. L'ambroisie à feuille d'armoïse : semences, feuilles, racines, fleurs et pollens (Fumanal 2007)

Tableau 2. Modes de dispersion de l'ambroisie

Mode de dispersion	Distance spatiale	Importance en Europe (en France)	Tendance temporelle supposée en matière d'importance	Références choisies
Dispersion naturelle				
Barochorie	Très* courte	Faible (faible)	→	(Bassett et Crompton 1975)
Hydrochorie	Courte à longue*	Faible (moyenne*)	→	(Fumanal <i>et al.</i> 2007)
Dispersion d'origine anthropique				
Semences agricoles	Moyenne à longue	Moyenne (moyenne)	→	(Karrer <i>et al.</i> 2011, Song et Prots 1998)
Alimentation animale et semences pour oisellerie	Longue	Moyenne (moyenne)	↘	(EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, Allergies, et Health 2010)
Machines agricoles (dont moissonneuses-batteuses*)	Courte à longue	Forte (forte)	↗	(Karrer <i>et al.</i> 2011)
Machine de fauchage	Courte* à moyenne	Forte (?)	↗	(Vitalos et Karrer 2009)
Véhicules routiers	Courte	Moyenne (forte)	→	(Vitalos et Karrer 2009)
Sol contaminé	Courte à longue	Forte (forte)	↗	(Tamarcaz <i>et al.</i> 2005)
Réseau ferroviaire	Courte* à moyenne*	Moyenne (?)	→	(Bullock <i>et al.</i> 2013, Essl, Dullinger, et Kleinbauer 2009)

Sont présentées dans le tableau : les distances de dispersion (vert - courte distance < 1 km ; jaune - distance moyenne 1-100 km ; rouge - longue distance > 100 km), l'importance du mode de dispersion dans la propagation de l'espèce, les tendances temporelles supposées en matière d'importance (rouge = en augmentation ; orange = stable ; jaune = en diminution). Les données du tableau proviennent de la publication de Essl *et al.* (2015) et se réfèrent au rapport de Bullock *et al.* (2013). Les mentions suivies de * ont été estimées par B. Fumanal et références choisies. Les données d'importance pour la France sont extraites du rapport de Bullock *et al.* (2013).

L'ambroisie produit en moyenne entre 300 et 6000 semences en fonction de sa taille, jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de graines pour les individus les plus gros (Fumanal, Chauvel, et Bretagnolle 2007). Le nombre de semences produites par plante est positivement corrélé au volume de cette dernière ($r^2=0,81$) ce qui permet une estimation rapide de la production par individus (Fumanal, Chauvel, et Bretagnolle 2007, Lommen *et al.* 2018). Les semences de l'ambroisie sont dormantes dès leur dispersion (dormance primaire). Si les semences ne rencontrent pas de conditions favorables à leur germination, elles ont la capacité de rentrer en dormance secondaire (Baskin et Baskin 1980) et peuvent ainsi rester dormantes dans le sol plus d'une dizaine d'années, voire jusqu'à 40 ans. L'espèce constitue ainsi un stock semencier dans le sol qui lui permet de perdurer dans le temps et lui confère une bonne survie dans les habitats perturbés. Fumanal *et al.* (2008) ont observé en France que le stock semencier de l'ambroisie pouvait varier d'environ 500 à 5000 semences par m² dans les 20 premiers cm de sol selon l'habitat étudié. Les densités de semences les plus importantes ont été mesurées dans les champs cultivés étudiés.

2.1.4.3 Germination des semences

La grande majorité des semences qui germent se situent en surface (Figure 8 a). Le taux de croissance décroît ensuite pour les semences situées entre 2 et 8 cm d'enfouissement et devient inexistant au-delà (Dickerson 1969, Gebben 1965, Guillemin et Chauvel 2011). La germination des semences d'ambroisie dépend de différents facteurs comme la température du sol (entre 10 et 15°C), une alternance des températures, la lumière, l'hygrométrie et la concentration en CO₂ (Essl *et al.* 2015). La germination des semences et l'établissement des

jeunes plantules sont essentiellement liés à la perturbation du sol et à la faible concurrence (Bazzaz 1979, Rothrock, Squiers, et Sheeley 1993). La germination dans les milieux cultivés coïncide avec la mise en place des cultures de printemps. Fumanal *et al.* (2008) ont montré par une expérimentation en plein champ que le recrutement de la banque de semences d'ambroisie dans le sol d'une jachère était doublé lorsque la végétation concurrente était éliminée et de deux à douze fois plus élevée lorsque la surface du sol était en plus perturbée.

2.1.4.4 Croissance et développement de la plante

L'ambroisie peut se développer et prospérer si la somme des températures² dépasse le seuil de 1 400°C nécessaire à son développement floral et à celui de ses graines (Cunze, Leiblein, et Tackenberg 2013). En dessous de ce seuil, sous un climat maritime les populations d'ambroisie ne peuvent que se maintenir sans pour autant prospérer. À l'inverse, si la somme des températures est trop élevée, comme par exemple en région méditerranéenne, les étés chauds et secs provoquent une réduction importante des pollens émis. L'ambroisie est globalement capable de se développer dans une large gamme de température allant de 0,9°C (température de base) à 40°C, pour une température optimale de 31,7°C (W. Deen, L. A. Hunt, et C. J. Swanton 1998, W. Deen, T. Hunt, et C. J. Swanton 1998). Elle est sensible au gel, en particulier lorsque ce dernier se produit sur les plantules en fin de printemps (Leiblein-Wild et Tackenberg 2014). Cependant, il semblerait que les plantules aient une plus grande tolérance au gel dans son aire de distribution en Europe que dans son aire native en Amérique. Cette différence de tolérance serait attribuée au poids des semences plus importantes en Europe. Les plantes matures (Figure 8) mesurent en moyenne entre 10 et 175 cm selon l'habitat colonisé, les conditions édaphiques, le régime de perturbation, la concurrence et les conditions climatiques annuelles (Fumanal 2007). Cette plasticité phénotypique de la taille de la plante s'observe également au niveau des autres traits biologiques et physiologiques (Fumanal 2007, Gard 2012). Elle lui confère un très fort potentiel adaptatif, en particulier dans un contexte de changement global (perturbation des habitats et du climat). La densité des individus est également très différente en fonction des paramètres précédents, elle peut varier de 1 à 500 plantes par m² (données de 48 populations Françaises) (Fumanal *et al.* 2008). Du point de vue de sa photosynthèse, l'ambroisie étant une plante en C3, elle répond positivement à une augmentation des concentrations en CO₂ atmosphérique et de ce fait serait favorisée dans un contexte de changement climatique (Wayne *et al.* 2002).

2.1.4.5 Floraison et reproduction

La floraison est induite par la réduction de la durée du jour observée après le solstice d'été et une durée de photopériode inférieure à 14h (W. Deen, T. Hunt, et C. J. Swanton 1998). Donc, *via* la durée du jour, la phénologie de la croissance et de la floraison des ambrosies introduites en Europe sont fortement corrélées avec la latitude (Leiblein-Wild et Tackenberg 2014). Ainsi, des ambrosies provenant des latitudes Nord de l'Allemagne fleurissent et dispersent leurs pollens et graines jusqu'à 5 semaines plus tôt que les ambrosies provenant du Sud de la France, lorsque celles-ci sont cultivées ensemble en parcelles jardinées. Leiblein-Wild et Tackenberg (2014) concluent que cette importante variabilité de la phénologie de l'espèce serait un élément facilitant l'expansion future de l'espèce.

Il semblerait exister un gradient longitudinal dans la phénologie de la floraison, avec une émission des pollens plus précoce à l'Est qu'à l'Ouest. Comme chez la plupart des processus physiologiques, la phénologie de la floraison est dépendante de la température (Zaka *et al.* 2017, Zaka *et al.* 2015). Donc, le gradient temporel associé à la longitude entre Est (climat continental) et Ouest (climat océanique) serait dépendant du cumul de températures

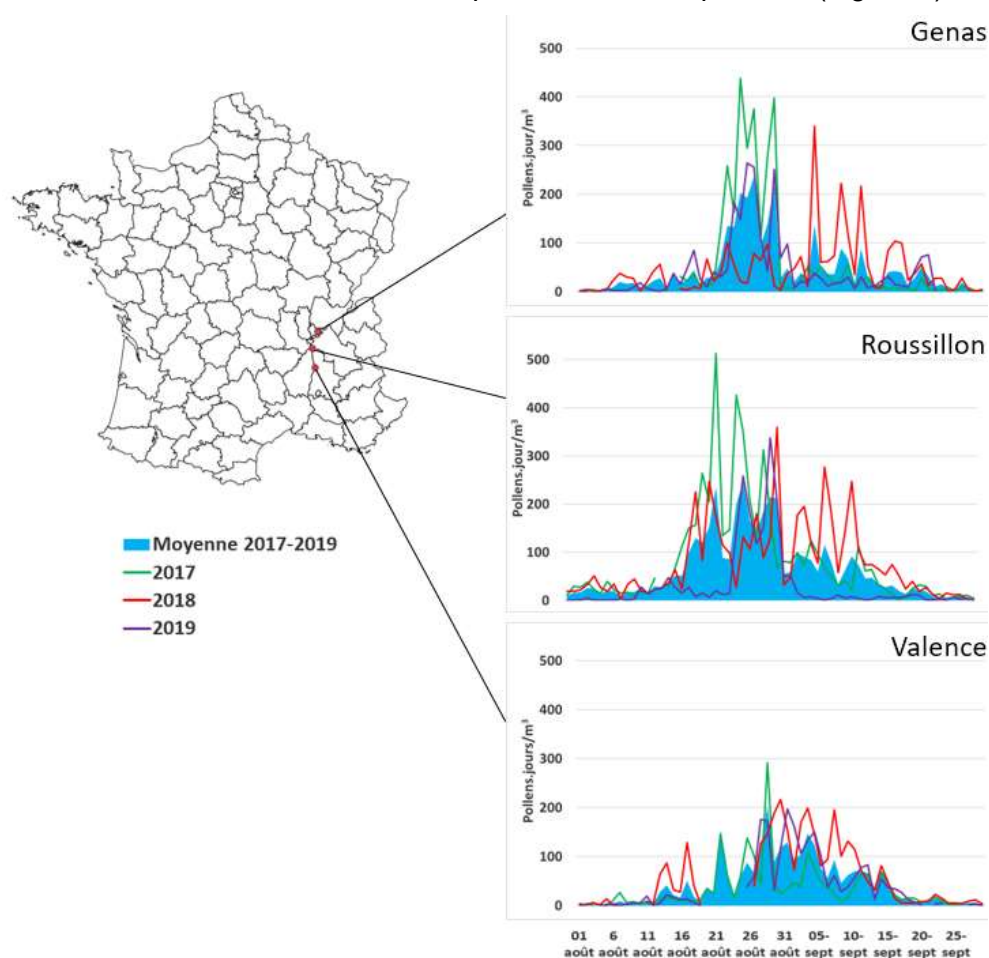
² La somme des températures correspond au cumul des degrés/jours au-delà d'une température seuil de base.

favorables à la croissance au cours de l'année. Ainsi, comme le soulignent Chapman *et al.* (2014), la phénologie de l'ambroisie semble être un élément clé qui détermine les limites de distribution de l'espèce et doit, de ce fait, être prise en compte pour la modélisation de l'expansion future de l'espèce, en particulier dans le contexte de changement climatique.

L'ambroisie est une espèce monoïque, c'est-à-dire qu'elle porte des fleurs unisexués mâles et femelles sur un même pied. Les fleurs mâles se trouvent aux extrémités apicales de la plante, regroupées en capitules formant l'inflorescence (Figure 8d) alors que les fleurs femelles se trouvent au-dessous, en grappe (Figure 8e). Certaines plantes (moins de 5 % par population) peuvent cependant n'être qu'uniquement femelles (Bassett et Crompton 1975).

La reproduction de l'ambroisie est principalement croisée (allogame) avec un fort système d'auto-incompatibilité (Friedman et Barrett 2008). Un plant est toutefois capable, dans une très faible mesure, de s'autoféconder. L'ambroisie est une espèce anémophile, c'est-à-dire que le pollen est transporté par le vent des fleurs mâles aux fleurs femelles.

À l'échelle de la journée, l'émission du pollen est conditionnée par une augmentation des températures et une humidité relative faible, ce qui advient généralement après le lever du soleil (Martin, Chamecki, et Brush 2010). Son émission maximale se produit le matin jusqu'au milieu de la journée (libération totale du pollen d'une fleur en 6 heures). La production de pollen d'ambroisie est suivie annuellement, en France et en Europe, à l'aide de capteurs polliniques. Dans la vallée du Rhône, zone la plus touchée en France, elle est maximale durant la deuxième moitié du mois d'août et encore importante début septembre (Figure 9).



Les capteurs de Genas et Roussillon sont de type Hirst marque Lanzoni modèle VPPS 2000 et le capteur de Valence est de type Hirst marque Burkard.

Figure 9. Quantités de pollen d'ambroisie mesurées par les capteurs de Genas, Roussillon et Valence en France entre août et septembre 2017, 2018, et 2019 (communication personnelle S. Monnier et RNSA, janvier 2020)

Sur la base des liens entre la phénologie de la floraison et la température, Ziska *et al.* (2003) ont montré qu'en Amérique du Nord la durée de la période de pollinisation en populations naturelles avait augmenté de 13 à 27 jours suite au réchauffement climatique observé depuis 1995. En Europe, les modèles prévoient ce phénomène à l'horizon 2041-2060³ (Lake *et al.* 2017).

2.1.5 Pollen

Les grains de pollen, de 17 à 29 µm, sont sphéroïdaux et pourvus de trois sillons et trois pores (Figure 8) (Déchamp et Meon 2002). Bien que l'ambroisie soit exclusivement anémophile, le pollen est collant lors de sa libération, mais après quelques heures, il est suffisamment sec pour être dispersé par le vent. Ils peuvent très facilement se disperser dans l'atmosphère en raison de leur faible densité (0,63) et de leur vitesse de sédimentation peu élevée, de 1,56 cm /secondes (Harrington Jr et Metzger 1963). Ils peuvent parcourir au moins 65 km avant de se déposer et jusqu'à quelques centaines de kilomètres selon les conditions météorologiques (Girsh 1982, Smith *et al.* 2008). Dans ce cas, les pollens d'ambroisie transportés sur de longues distances peuvent être identifiés dans des endroits où la plante n'est pas présente (de Weger *et al.* 2016, Cecchi *et al.* 2006). Au Danemark par exemple, la présence de l'ambroisie est modérée mais on observe parfois des pics anormalement élevés dans les relevés polliniques. Les études ont révélé que cette charge pollinique supplémentaire trouvait son origine en Ukraine et en Roumanie, situées à plus de 1 000 km (Sommer *et al.* 2015).

Un pied d'ambroisie peut produire en moyenne de 100 millions à 3 milliards de grains de pollen selon sa taille. Tout comme ce qui a été observé pour la production de semences, la quantité de grains de pollen produit par une ambroisie est positivement corrélée à son volume ($r^2=0,73$) (Fumanal 2007, Lommen *et al.* 2018). Les corrélations entre production de semences ou de pollens et poids sec de la plante adulte étaient encore plus élevées, ce qui faisait de ce dernier paramètre un meilleur estimateur de la production. Cependant, le poids sec de la plante adulte est un paramètre plus difficile et plus long à mesurer que le simple volume de cette dernière, ce qui le rend moins utile.

Les modélisations climatiques en Europe prévoient à la fois une augmentation des quantités de pollen dans l'atmosphère et lors du pic d'émission de pollen (mi-août à mi-septembre), mais aussi un élargissement de la zone touchée par ces fortes émissions (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015, Lake *et al.* 2017). À l'horizon 2041-2060, le pollen aéroporté serait susceptible d'être présent beaucoup plus tôt dans la saison (mi-juillet à mi-août) en raison du développement accéléré des plantes en lien avec le changement climatique, particulièrement en France et dans le nord-ouest de l'Italie. Le pollen pourrait persister dans l'air dans la majeure partie de l'Europe entre la mi-septembre et la mi-octobre, probablement en raison des gelées d'automne retardées (Storkey *et al.* 2014).

L'augmentation des concentrations en CO₂ dans l'atmosphère aura également un effet positif sur la production de pollen de l'ambroisie (Ziska et Caulfield 2000). Wayne *et al.* (2002) ont montré que, pour un doublement de concentration de CO₂, la production de pollen d'ambroisie augmentait de 61%. Comme l'ont montré Ziska *et al.* (2003), les ambrosies situées dans les zones urbaines, où les températures et les teneur en CO₂ sont plus élevées qu'en zone rurales, ont une croissance plus rapide, fleurissent plus tôt, et produisent plus de pollen. Cela aura d'autant plus d'impact sur la santé humaine que ces augmentations se situent dans les zones les plus peuplées.

³ La pertinence de ces modèles est discutée dans le chapitre 3.

2.1.6 Variabilité génétique et histoire évolutive

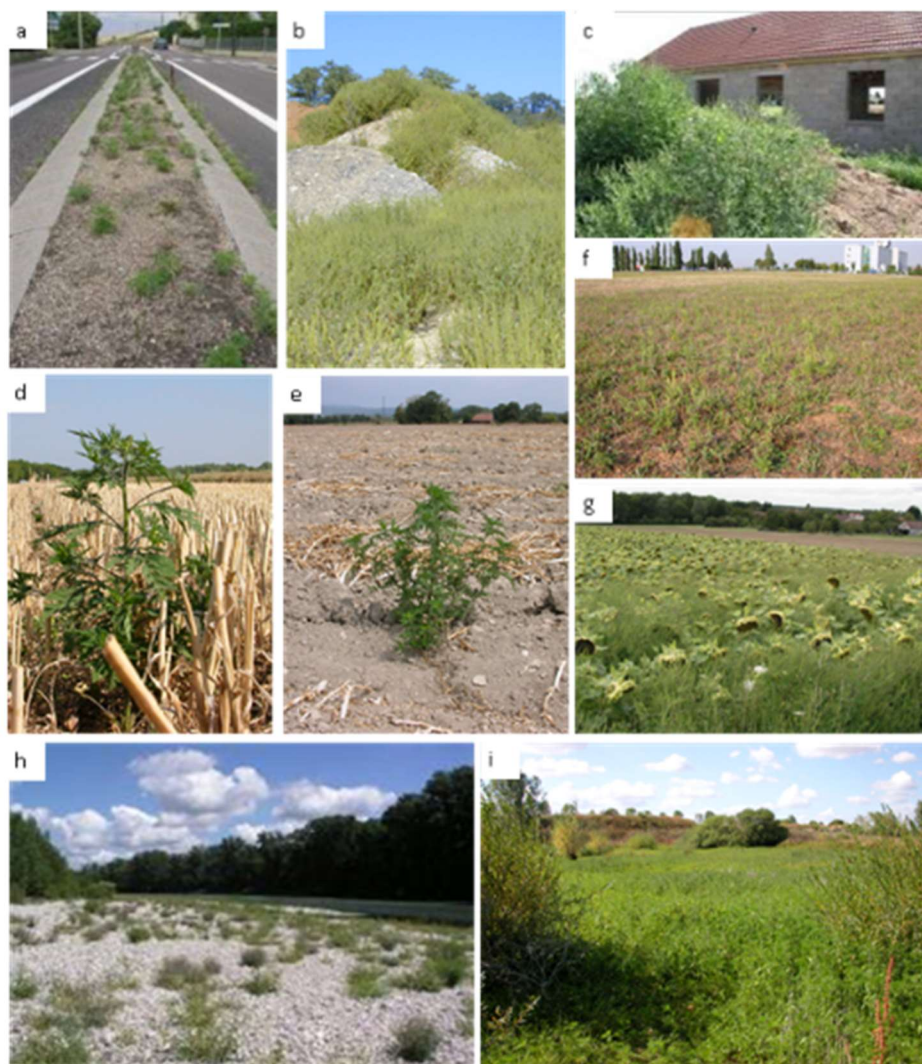
Les différentes études moléculaires réalisées sur l'ambroisie ont montré que les populations introduites en Europe étaient issues d'un mélange de différentes populations nord-américaines (Chun *et al.* 2010, Genton, Shykoff, et Giraud 2005, Fumanal 2007). Cela se traduit par une diversité génétique aussi élevée dans les populations introduites (voire plus élevée dans certains cas) que dans les populations natives. Par ailleurs, la diversité génétique se concentre à l'intérieur des populations alors qu'elle est faible entre populations. Cette diversité génétique élevée confère à l'échelle des populations un potentiel d'adaptation face à des modifications environnementales, d'autant plus qu'elles peuvent échanger des gènes sur de longues distances *via* son mode de pollinisation par le vent (Chun *et al.* 2010). D'autres études ont montré que les populations d'Europe occidentale introduites à la fin du 19^{ème} siècle étaient génétiquement différentes de celles établies au milieu du 20^{ème} siècle en Europe centrale et orientale, ce qui pourrait s'expliquer par des sources d'introduction différentes depuis l'Amérique du Nord (Gaudeul *et al.* 2011, Gladieux *et al.* 2011).

Les bases moléculaires de la capacité d'envahissement de l'ambroisie ont également été étudiées entre populations natives et introduites par rapport à des réponses aux stress lumineux ou nutritionnels (Hodgins et Rieseberg 2011). Au total, 180 gènes candidats ont été identifiés comme étant différentiellement exprimés entre populations natives et introduites en réponse aux stress. Parmi ces gènes, plusieurs se révèlent potentiellement impliqués dans le métabolisme des composés secondaires et dans les réponses aux stress. D'après Hodgins et Rieseberg (2011), ces gènes pourraient être impliqués dans une augmentation du taux de croissance et de reproduction observée dans ces mêmes populations. Cela suggérerait que ces populations ont évolué vers une plus grande allocation à la reproduction ce qui pourrait avoir eu des conséquences sur le potentiel d'envahissement des populations introduites.

2.1.7 Écologie

L'ambroisie est une espèce pionnière et héliophile qui colonise actuellement tous les types d'habitats perturbés ouverts (Figure 10) que ce soit dans son aire d'introduction comme dans son aire d'origine (Bassett et Crompton 1975, Fumanal *et al.* 2008). Avant la conquête du continent nord-américain par les européens, l'espèce était cantonnée aux grèves des rivières, aux plaines alluviales, aux deltas et aux glissements de terrain (Wodehouse 1971). Cette donnée est à mettre en regard avec un de ses modes de dispersion déjà mentionné, l'hydrochorie. Elle a ensuite colonisé les zones agricoles et les habitats perturbés par l'homme (Bassett et Crompton 1975, Marks 1983). Du point de vue agricole (Figure 10 d, e, g), c'est une plante adventice qui affectionne plus particulièrement les cultures de printemps (pois, tournesol, soja, maïs, etc.), les intercultures, ainsi que les jachères (Figure 10 f) et les friches agricoles. Dans ces milieux cultivés elle est très compétitive et peut causer des pertes de rendement importantes, en particulier dans les cultures en rang (Bullock *et al.* 2013, Kazinczi *et al.* 2008, Novák *et al.* 2009). C'est également une espèce rudérale qui se développe sur les bords de route (Figure 10 a), dans les friches urbaines (Figure 10 c) et périurbaines, les zones de travaux en activité (Figure 10 b) ou zones d'extraction de matériaux abandonnées (Figure 10 i). Enfin, elle colonise également certains habitats semi-naturels perturbés tels que les bords des cours d'eau (Figure 10 h) comme à son origine. Elle est cependant limitée par la fermeture des milieux⁴ dans les successions végétales secondaires que ce soit au début du fait d'une faible compétitivité face aux espèces prairiales (Poacées en particulier), ou par la suite du fait de sa faible tolérance au manque de lumière (Bazzaz 1974).

⁴ La fermeture des milieux est la colonisation progressive des milieux ouverts par des espèces végétales arbustives et arborescentes – plus hautes et feuillues.



(a) bord de route, (b) zone de stockage de graviers, (c) lotissement en construction, (d) chaumes de céréale, (e) interculture, (f) jachère ancienne, (g) culture de tournesol, (h) grève de rivière, (i) gravière abandonnée.

Figure 10. Habitats colonisés par *Ambrosia artemisiifolia* en France (Fumanal 2007)

L'ambrosie a une amplitude écologique très large par rapport aux conditions édaphologiques. En effet, elle se développe sur des sols très contrastés allant de textures sablonneuses ou limoneuses, à argilo-limoneuses (Bassett et Crompton 1975, Fumanal *et al.* 2008). Le pH optimum du sol pour son développement semble situé entre 6 et 7 (Bassett et Crompton 1975). Cependant, on peut tout de même l'observer en France sur des sols acides ou alcalins allant de pH 4,1 à 8,6 (Fumanal *et al.* 2008). Elle se développe sur des sols plus ou moins riches en éléments nutritifs (Fumanal *et al.* 2008). L'ambrosie possède aussi une importante capacité de résistance au stress hydrique ainsi qu'à la présence de sel et de polluants sur le bord des routes (DiTommaso 2004). D'après l'étude de Cahill Jr et Casper (1999), l'ambrosie possède un système racinaire parfaitement adapté à la recherche et à l'exploitation rapide des nutriments distribués de manière hétérogène dans le sol. Elle est également capable de développer des symbioses racinaires avec des champignons mycorhiziens à arbuscules (Fumanal *et al.* 2006) lui permettant ainsi en théorie, une meilleure résistance au stress hydrique et une meilleure exploitation des éléments nutritifs du sol comme le phosphore (Crowell et Boerner 1988).

2.1.8 Prédateurs, parasites et pathogènes de l'ambrosie

Dans son aire native, l'ambrosie est attaquée par une très grande diversité d'organismes. Au total, Goeden et Palmer (1995) ont dénombré 450 espèces d'insectes, d'acariens et de

champignons associés au genre *Ambrosia* sur le continent Américain dont 109 espèces d'invertébrés et 19 champignons spécialisés sur les plantes de la sous-tribu des *Ambrosiinae* (Gerber *et al.* 2011). En ce qui concerne l'ambrosie, ce n'est pas moins de 70 insectes et acariens qui ont été recensés comme prédateurs ou parasites dans son aire native. Ces organismes s'attaquent aux différents organes de la plante. Toutefois, à l'heure actuelle, dans son aire d'introduction, elle n'est que très faiblement attaquée par une cinquantaine d'insectes, acariens et champignons généralistes (Essl *et al.* 2015, Gerber *et al.* 2011).

La prédation des semences d'ambrosie par les oiseaux (moineaux et faisans) a aussi été observée en Amérique du Nord (Gebben 1965, Payne 1962). Raynal et Bazzaz (1975) ont observé jusqu'à 43 % de prédation des semences sur les plantes d'ambrosie. De même, la prédation des semences par les insectes après dispersion par la plante a été signalée mais pas quantifiée (Gallandt *et al.* 2005, Seaman et Marino 2003). Gerber *et al.* (2011) ont identifié 23 agents de lutte biologique parmi lesquels figurent 18 insectes et 5 champignons pathogènes. Ils ont également distingué des organismes prometteurs et complémentaires en terme de niche alimentaire ainsi que les méthodes de lutte biologique appropriées aux 23 agents. Cette partie sera développée par la suite dans la section portant sur les modalités de gestion de l'ambrosie.

L'ambrosie présente une faible tolérance au piétinement (par les herbivores par exemple) car les tiges principales des individus matures ont tendance à se briser facilement (Nitzsche 2010, Bullock *et al.* 2013). Les tiges brisées se flétrissent souvent au-dessus de la fracture (Brandes et Nitzsche 2006).

En conditions expérimentales, Gard *et al.* (2013) ont montré que les ambrosies indigènes et introduites tolèrent une défoliation artificielle, qui n'affecte pas la reproduction, et que les plantes peuvent réallouer les ressources dans les pousses même après que 90% de la surface foliaire ait été supprimée.

2.1.9 Présentation des trois autres espèces d'ambrosie introduites en France

Trois autres espèces du même genre que l'ambrosie ont été introduites d'Amérique du Nord en France entre la fin du 19^{ème} siècle et le début du 20^{ème} siècle. Il s'agit de l'ambrosie trifide (*A. trifida* L.), de l'ambrosie à épis lisses (*A. psilostachya* DC.) et de l'ambrosie à feuilles étroites (*A. tenuifolia* Sprengel). Les quatre espèces se distinguent facilement entre elles par leur port général, leur taille et la découpe des feuilles (Figure 11) ou encore leur système racinaire (*A. artemisiifolia* et *A. trifida* ont un système racinaire à pivot alors que *A. psilostachya* et *A. tenuifolia* possèdent un rhizome). Tout comme *A. artemisiifolia*, *A. trifida* est une espèce annuelle, alors que les deux autres sont pérennes. Les quatre espèces sont capables de s'hybrider entre elles, mais ces hybrides n'ont été observés qu'en laboratoire ou très rarement dans leur zone native.

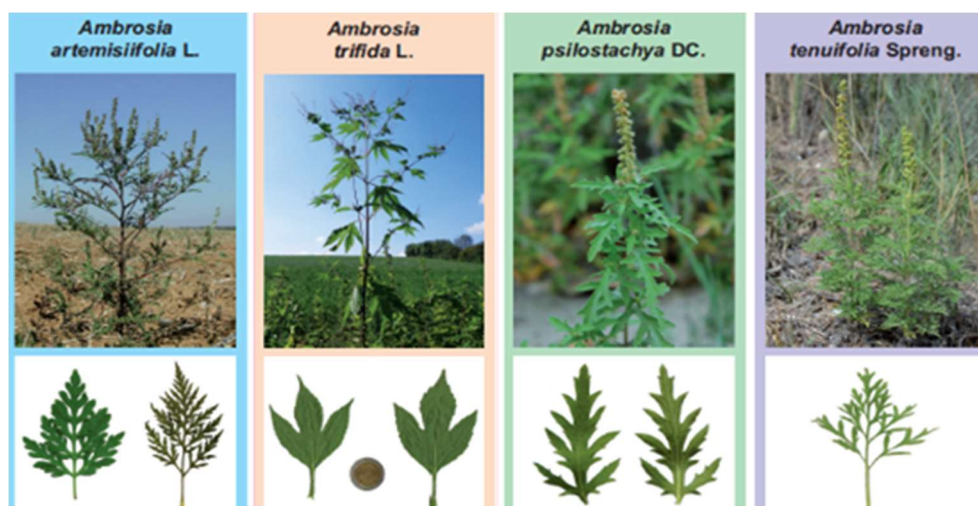
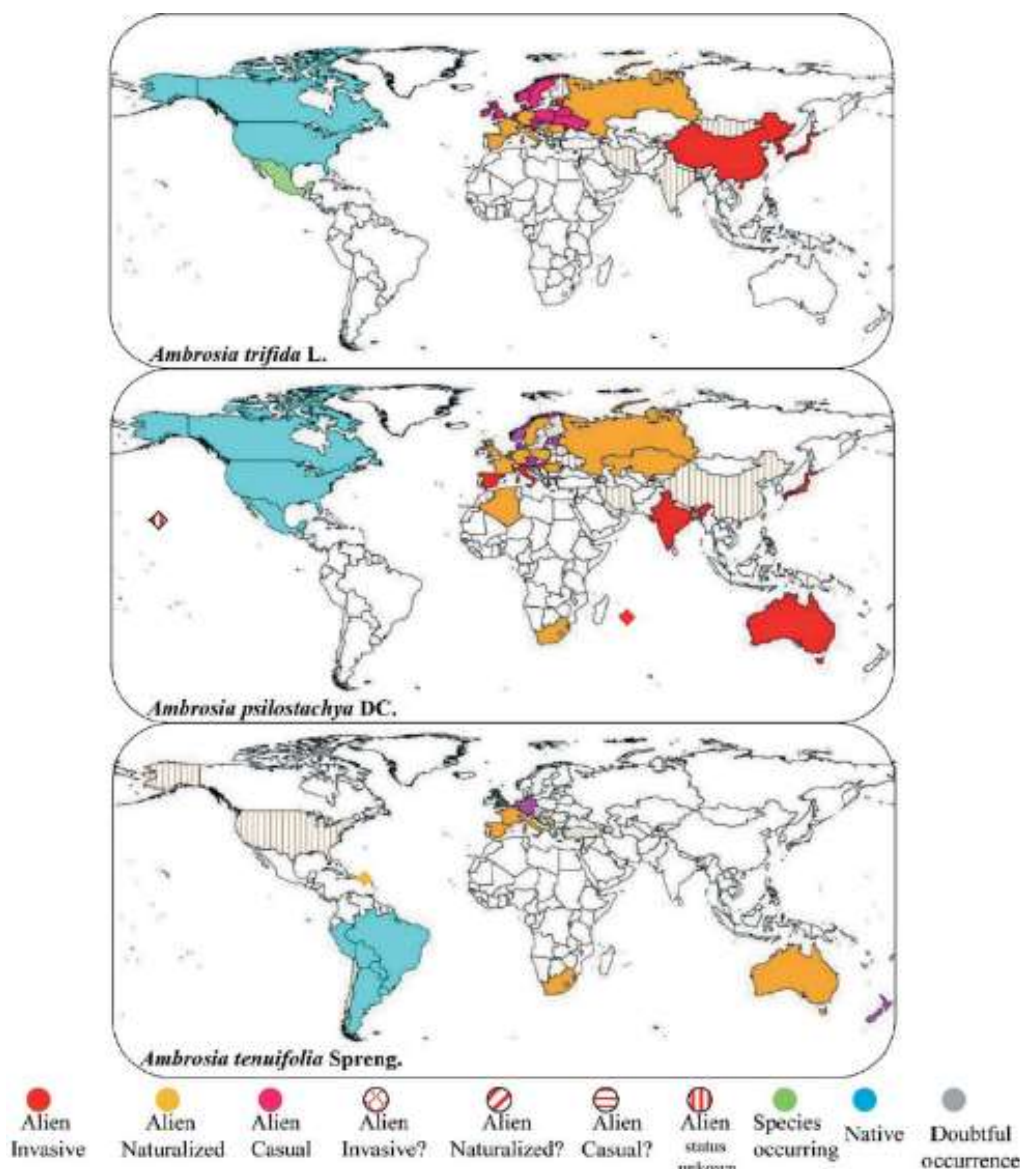


Figure 11.
Comparaison
des quatre
espèces
d'ambrosies
introduites en
France (Karrer
et al. 2017)

Port de la plante
entière (haut) et
forme des feuilles
(bas).

Alors que l'ambroisie trifide et l'ambroisie à épis lisses sont respectivement envahissantes en Asie du sud-est et en Inde/Australie, l'ambroisie à feuilles étroites elle, n'est pas considérée comme envahissante dans ces zones d'introduction (Figure 12). Tout comme l'ambroisie à feuilles d'armoise, ces trois autres espèces possèdent un pollen allergisant. Celui de l'ambroisie trifide est très allergisant alors que celui de l'ambroisie à épis lisses l'est moyennement. Celui de l'ambroisie à feuilles étroite reste peu documenté mais serait également très allergisant.



« Alien » si espèce non native du pays. « Invasive », « naturalized », et « casual » attribués quand confirmés. Si incertains alors suivis de « ? ». « Alien status unknown » si espèce non native du pays et statut inconnu. « Species occurring » si espèce présente mais origine (étrangère ou native) incertaine. « Native » si espèce native du pays. « Doubtful occurrence » si présence non confirmée.

Figure 12. Distribution mondiale d'*Ambrosia trifida*, *A. psilostachya* et *A. tenuifolia* (Montagnani et al. 2017)

Ces trois espèces sont très localisées, peu présentes voire rares dans la flore française, et ne sont pas envahissantes à l'heure actuelle. L'ambroisie trifide est observée dans les jardins botaniques français dès le 18^{ème} siècle mais retrouvée dans la nature à partir de 1901 (Chauvel et al. 2015). Actuellement, on la retrouve en France dans les cultures de tournesol, maïs et soja et en bordure de champs. Les plus fortes présences sont signalées en Ariège et en Haute-Garonne (Figure 13 a). L'ambroisie à épis lisses et l'ambroisie à feuilles étroites se développent dans les zones rudérales voire herbeuses et ont été respectivement introduites

en 1900 et 1839. L'ambroisie à épis lisses est faiblement présente sur le territoire, elle se trouve surtout dans le sud-est de la France (Figure 13 b). L'ambroisie à feuilles étroites est enfin la plus discrète avec moins d'une dizaine de localités signalées en France (Figure 13 c). Parmi ces trois espèces, l'ambroisie trifide, qui a déjà fait l'objet d'une analyse de risque par l'Anses, est considérée comme préoccupante (« risque phytosanitaire inacceptable ») (Anses 2017a). Cette espèce est considérée à l'heure actuelle comme une espèce « émergente instable » et pourrait potentiellement se révéler envahissante sans toutefois tenir la comparaison avec l'ambroisie à feuilles d'armoise (Chauvel *et al.* 2015).

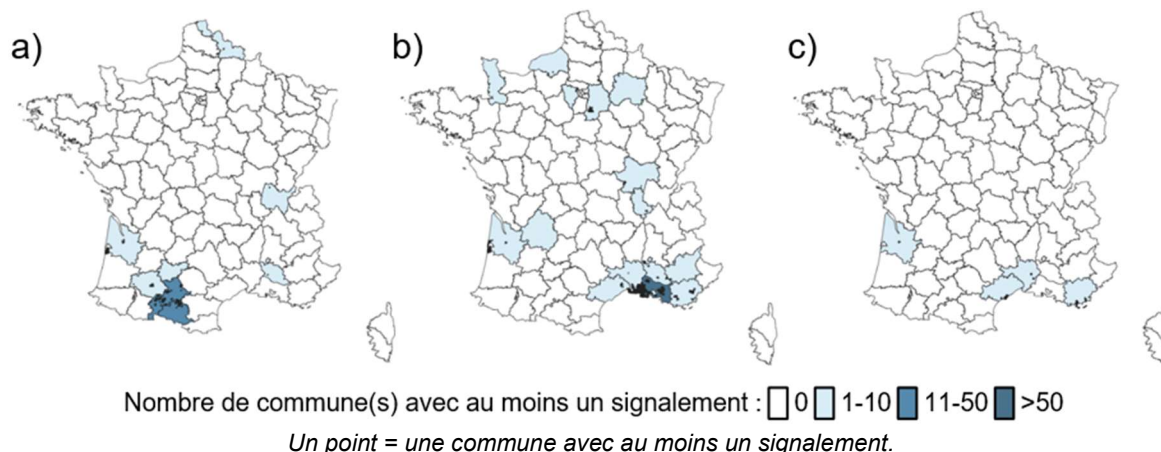
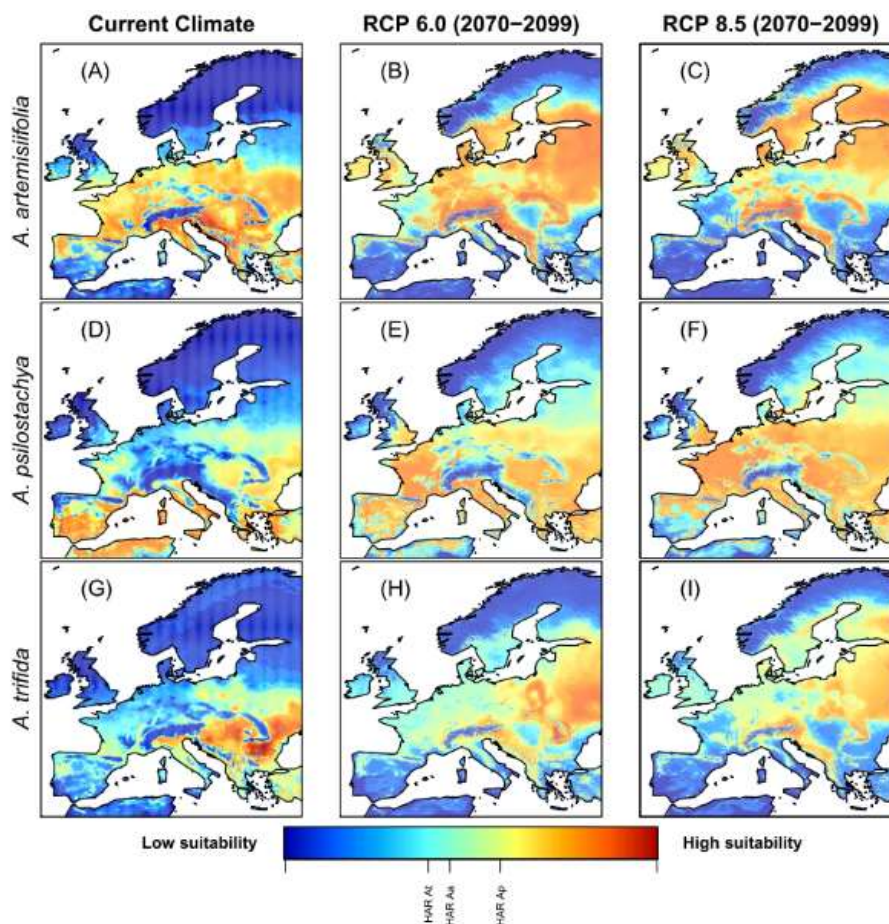


Figure 13. Cartes de répartition Françaises de *A. trifida* (a), *A. psilostachya* (b), et *A. tenuifolia* (c) d'après les signalements de 2000 à 2018 (Observatoire de l'ambroisie, FREDON France, 2019)

D'après les modélisations de la distribution des habitats favorables aux ambrosies sous hypothèse de changement climatique réalisées par Rasmussen *et al.* (2017), l'ambroisie trifide, tout comme l'ambroisie à feuilles d'armoise, semble plus performante dans les habitats humides alors que l'ambroisie à épis lisses semble mieux adaptée aux habitats secs. Si on compare la distribution des habitats favorables prédits de ces 3 espèces, *via* les scénarios climatiques modérés comme pessimistes où les périodes de sécheresse augmentent, on peut observer que l'ambroisie à épis lisses est celle qui serait la plus avantagée (Tableau 1 et Figure 14). En revanche, l'ambroisie trifide serait avantagée dans le scénario modéré et désavantagée dans le scénario pessimiste. Les auteurs soulignent l'importance de considérer ces trois espèces d'ambroisie dans l'évaluation du risque allergique futur car elles vont toutes les trois contribuer, plus ou moins selon l'espèce et le scénario, à son augmentation. Ils précisent également que les travaux portant sur la modélisation de la distribution future des espèces d'ambroisie devraient veiller à intégrer des variables non-climatiques comme par exemple la durée du jour – d'importance dans la phénologie des espèces, en particulier pour leur pollinisation.



Les seuils des zones à risque allergique élevé (HAR), pour chaque espèce, sont indiqués graphiquement sur la barre de couleur. RCP6,0 : scénario climatique modéré. RCP8,5 : scénario climatique pessimiste.

Figure 14. Adéquation de l'habitat de l'ambroisie à feuilles d'armoise (Aa, haut), de l'ambroisie à épis lisses (Ap, milieu) et de l'ambroisie trifide (At, bas) en Europe dans les conditions climatiques actuelles (gauche) et futures selon deux scénarios de changement climatique (centre et droite) (Rasmussen *et al.* 2017)

2.2 Gestion de l'espèce: stratégie, réglementation et méthodes de lutte

2.2.1 Stratégie globale de lutte contre l'ambroisie

L'objectif principal de la gestion de l'ambroisie est de limiter la production de pollen afin de réduire les allergies qui y sont liées. Pour limiter la production de pollen, il faut soit éradiquer la source d'émission temporairement (avant la pollinisation) ou définitivement, soit la faire régresser en réduisant les densités des populations et/ou l'empêcher de progresser. Dans les deux derniers cas, il faudra empêcher la plante de produire des semences. L'objectif secondaire de gestion de l'ambroisie est de limiter ses effets indésirables sur la production agricole.

Pour atteindre ces objectifs, Bullock *et al.* (2013) proposent une stratégie de gestion reposant sur les quatre composantes suivantes (Figure 15) : la prévention, la lutte (mécanique, chimique, biologique), l'information et la surveillance. Cette stratégie doit mettre en œuvre de manière concertée et combinée ses 4 composantes pour être la plus efficace possible. Selon les auteurs, la composante de l'information est cruciale pour la réussite de toutes les autres actions. La stratégie doit également être appuyée par une réglementation spécifique et une concertation de la lutte à l'échelle nationale comme territoriale.



Figure 15. Les quatre composantes de la stratégie globale de lutte contre l'ambroisie (Bullock et al. 2013)

2.2.2 Réglementation

La prévention et la lutte contre les ambrosies en France est en grande partie organisée par les pouvoirs publics. Elle repose sur un cadre législatif et réglementaire, s'appuyant en principalement sur le code de la santé publique.

L'instruction ministérielle de juillet 2018 (Encadré 1), complétée du *Vademecum* de l'Observatoire des ambrosies de janvier 2019, décrivent l'architecture de l'organisation de la lutte contre l'ambroisie (Figure 16)⁵. L'Observatoire a été mis en place en juin 2011 par le Ministère chargé de la Santé en partenariat avec les ministères chargés de l'agriculture et de l'écologie et le ministère de l'intérieur. Il a été piloté par l'Institut national de la recherche agronomique jusqu'en 2017 et est depuis piloté et animé par FREDON France.

Afin de pouvoir organiser la prévention et la lutte contre des espèces nuisibles à la santé humaine telles que les ambrosies, la loi n°2016-41 du 26 janvier 2016 de modernisation de notre système de santé a créé, à l'article 57, un nouveau chapitre intitulé « Lutte contre les espèces végétales et animales nuisibles à la santé humaine » dans le code de la santé publique (CSP). Ce nouveau dispositif législatif permet de prendre, à l'échelle nationale, des mesures réglementaires vis-à-vis d'espèces dont la prolifération est nuisible à la santé⁶. Ainsi sur ce fondement, l'article D. 1338-1 du CSP définit comme espèces dont la prolifération est nuisible à la santé humaine trois ambrosies : l'ambroisie à feuilles d'armoise, l'ambroisie trifide et l'ambroisie à épis lisses. Les articles suivants du CSP définissent les mesures de prévention et de lutte à mettre en œuvre contre ces espèces aux échelles nationale et locale. L'arrêté du 26 avril 2017 relatif à la lutte contre les espèces végétales nuisibles à la santé complète ce dispositif en interdisant l'introduction et le transport intentionnels ainsi que l'utilisation, la cession, la vente et l'achat de ces trois ambrosies. Ce nouveau dispositif réglementaire s'articule avec les réglementations ou politiques nationales concernant les espèces et en particulier la politique sanitaire animale et végétale pilotée par le ministère chargé de l'agriculture et la politique concernant le contrôle et la gestion de l'introduction et de la propagation de certaines espèces animales et végétales exotiques pilotée par le ministère chargé de l'environnement.

Encadré 1. Instruction interministérielle N°DGS/EA1/DGCL/DGALN/DGITM/DGAL/2018/201 du 20 août 2018 relative à l'élaboration d'un plan d'actions local de prévention et de lutte contre l'ambroisie à feuilles d'armoise, l'ambroisie trifide, et l'ambroisie à épis lisses, pris par l'arrêté préfectoral prévu à l'article R.1338-4 du code de santé publique

⁵ Pour plus de précisions, se reporter à l'Annexe 7 (compte-rendu de l'audition de l'Observatoire des ambrosies – FREDON France)

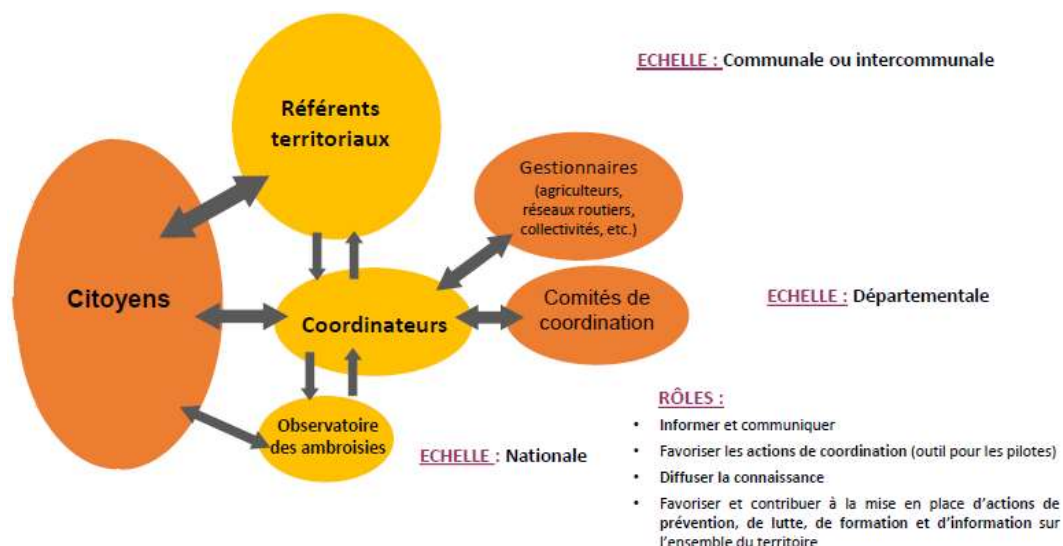


Figure 16. Organisation territoriale de la lutte contre l'ambroisie (source : Observatoire des ambrosies, Annexe 7)

L'action de l'Observatoire des ambrosies est complétée à l'échelle nationale par :

- Le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA), les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et l'Association des pollinarius sentinelles de France (APSF), en charge de la coordination de la surveillance des pollens d'ambroisie ;
- L'Anses en charge de l'expertise sur les dimensions sanitaires et concernant les méthodes de lutte ;
- Santé Publique France dans le cadre de la surveillance des pathologies allergiques.

À l'échelle départementale, la stratégie de lutte contre l'ambroisie à feuilles d'armoise peut se structurer autour d'un arrêté pris par la préfecture en accord avec le directeur général de l'ARS et le Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CODERST) lorsque la présence d'une des trois ambrosies au moins est constatée ou susceptible de l'être (article R. 1338-4 du CSP). En décembre 2019, il était recensé 43 arrêtés préfectoraux et 25 plans de lutte. Il est ainsi à souligner que de nombreuses zones concernées par la présence d'ambroisie à feuilles d'armoise sur le territoire hexagonal, sont dépourvues d'un arrêté préfectoral (Figure 17).

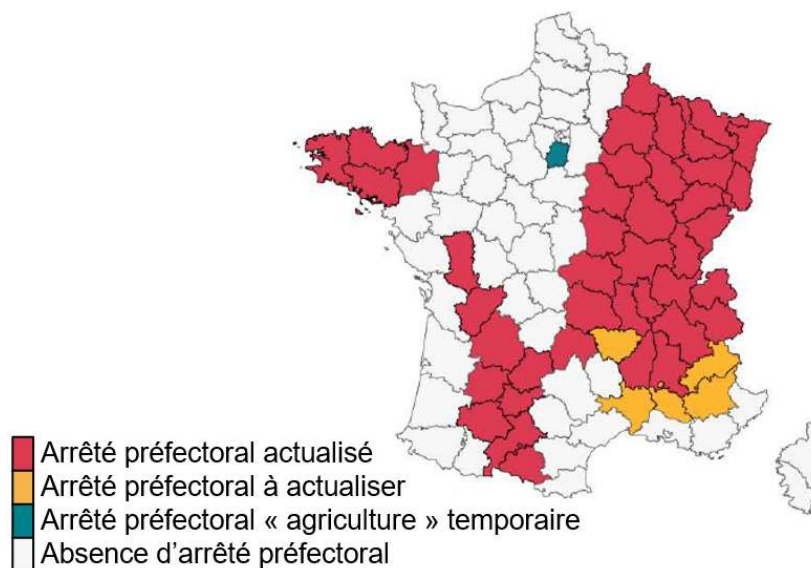


Figure 17. Carte des départements métropolitains dotés d'un arrêté préfectoral relatif à la lutte contre l'ambroisie (décembre 2019)

Sur le territoire de la région, le pilotage de l'action ambroisie est réalisé en direct par les ARS ou en collaboration avec des délégataires missionnées pour ce rôle de coordonnateurs « ambroisie ».

Plusieurs limites au dispositif réglementaire actuel restent perceptibles. Selon FREDON France-Observatoire des ambrosies, les réglementations (nuisibles santé humaine, organismes de quarantaine, et espèces exotiques envahissantes) des différentes politiques publiques sur les espèces nuisibles devraient tout à la fois être plus homogènes et mieux coordonnées pour permettre de meilleures traductions opérationnelles. En effet, il existe certaines contradictions réglementaires, perçues notamment dans le domaine agricole, qui gênent la prise en charge de l'ambroisie par les acteurs directement concernés par la lutte. À titre d'illustration, dans le cadre d'un recueil d'expériences de gestion de l'ambroisie dans un contexte agricole, la FREDON France-Observatoire des ambrosies avait exprimé « des points de vigilance » sur d'éventuelles incompatibilités entre la mise en place de méthodes de lutte et des dispositifs agricoles. Il s'agit des :

- Cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) où la réglementation impose une couverture hivernale des sols en Zone Vulnérable (et autres cas particuliers) afin de limiter le lessivage des nitrates et lutter contre l'érosion des sols et contiennent des obligations de non-fauche à certaines périodes. Il convient d'obtenir des dérogations en cas de nécessité de lutte contre l'ambroisie.
- Mesures agro-environnementales climatiques (MAEC) où, dans certains cas, le fauchage doit se faire à une date imposée, laquelle n'est pas forcément en phase avec la période *ad hoc* pour la destruction de l'ambroisie,
- Surfaces d'intérêt écologique (SIE) qui sont des surfaces écologiques représentant 5% de la surface de l'exploitation que l'agriculteur a l'obligation de préserver (certaines parcelles, haies, talus, etc.) et qui peuvent poser question en cas d'envahissement par l'ambroisie (Sevault, Le Levier, et Mottet 2019) ».

Par ailleurs, au-delà de l'échelle nationale, l'absence de cadre réglementaire harmonisé à l'échelle européenne limite la capacité d'enrayement des transferts de graines d'ambrosies entre les pays.

2.2.3 Prévention

Concernant l'ambroisie à feuilles d'armoise, comme pour les autres espèces envahissantes, il est primordial de prévenir l'introduction de nouvelles populations là où elles ne sont pas encore présentes. La mise en œuvre de la prévention passe par la limitation de la dispersion des semences tout comme la gestion curative des nouvelles populations dès qu'elles sont détectées. La prévention est d'autant plus importante dans le cas de l'ambroisie que lorsque ses populations sont installées il est impossible de les éradiquer définitivement, en particulier à cause de leurs stock semencier persistant dans le temps.

Ces mesures préventives s'appuient d'une part sur la mise en place d'une réglementation adaptée (cf. paragraphe 2.2.2) et d'autre part sur des techniques de lutte physique, chimique ou potentiellement biologique (cf. paragraphe 2.2.6).

Par exemple, des normes strictes pour limiter la contamination des aliments pour animaux par les graines d'ambroisie sont en place dans l'Union Européenne depuis 2012. Ce règlement limite la quantité maximale autorisée de graines d'ambroisie dans les semences pour oiseaux (depuis le 1er janvier 2012) et dans les matières premières pour l'alimentation du bétail (depuis le 1er janvier 2013) à 50 mg.kg⁻¹, ce qui équivaut à environ 10-12 semences. Ces objectifs sont atteignables (voir améliorables) en utilisant des techniques de tamisage performantes. Les machines de tonte utilisées en bord de route ou les moissonneuses utilisées dans les champs peuvent disperser plusieurs dizaines de milliers de semences. Ainsi, pour éviter le transport de semences des champs et des bords de route infestés, les machines doivent être intégralement nettoyées. Le transport de substrat contaminé est également une source

importante de propagation de l'espèce et devrait être strictement encadré. Dans le cas de construction il peut être enfoui et recouvert de substrat non contaminé. La contamination du substrat par l'ambroisie peut être détectée préventivement par un protocole simple et facilement réalisable⁶. Le substrat pourrait faire l'objet de mesures de traçabilité informant ainsi le récipiendaire sur sa nature, ses risques et les mesures de gestion nécessaires. Idéalement, dans les milieux agricoles infestés, le travail du sol devrait être réduit et si possible l'utilisation de véhicules sur le terrain en période de maturité des semences devrait être évitée afin d'éviter la propagation de l'espèce.

2.2.4 Surveillance : détection, communication

La surveillance de la plante et des pollens font l'objet d'un développement dans le chapitre 3. À l'échelle européenne, Bullock *et al.* (2013) fait un état des lieux des dispositifs de surveillance.

Concernant la surveillance de la plante, en France, le maire est considéré comme le premier acteur de terrain (Bilon, Chauvel, et Mottet 2017). Il peut engager une surveillance active lorsque la commune est située sur une zone à risque ou dans un département couvert par un arrêté préfectoral ou lorsque la présence d'ambroisie a été constatée sur le territoire communal. Le maire peut également nommer un référent ambroisie pour mener à bien cette mission de surveillance (Figure 18).

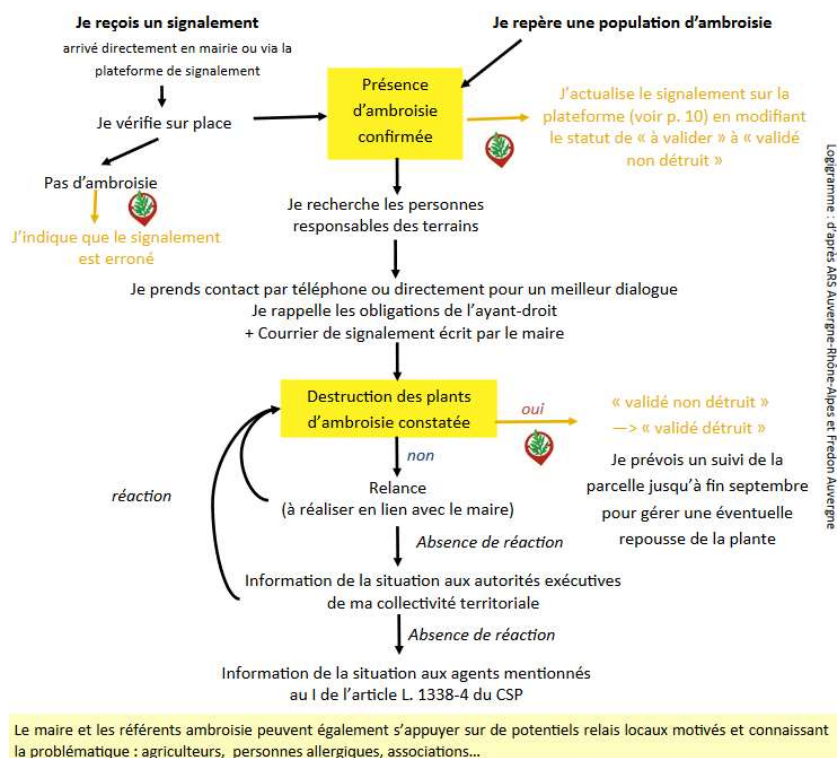


Figure 18. Le rôle du référent ambroisie (Bilon, Chauvel, et Mottet 2017)

L'information sera alors centralisée au travers de la plateforme de signalement⁷. Un référent ambroisie est un élu local, un agent territorial, ou un volontaire ayant plusieurs rôles de médiation dans la lutte contre l'ambroisie (article R.1338-8. du CSP) :

- Repérer la présence de ces espèces ;

⁶ https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/protocole_stock-semences.pdf

⁷ <http://www.signalement-ambroisie.fr/>

- Participer à leur surveillance ;
- Informer les personnes concernées des mesures à mettre en œuvre pour prévenir l'apparition de ces espèces ou pour lutter contre leur prolifération en application de l'arrêté préfectoral mentionné à l'article R.1338-4 ;
- Veiller et participer à la mise en œuvre de ces mesures.

2.2.5 Sensibilisation et information des acteurs et de la population générale

La circulation de l'information est essentielle à la réussite de la stratégie de lutte contre l'ambroisie. L'objectif est d'informer les acteurs de terrain (entreprises, gestionnaires, collectivités, etc.) et le grand public sur les menaces liées à l'ambroisie, comment l'identifier et comment la gérer de manière opérationnelle dans leur contexte spécifique.

Les mesures de sensibilisation peuvent être divisées en 3 catégories : la mise à disposition d'informations en ligne, des programmes gouvernementaux et des campagnes d'information à destination des différents publics concernés. Ces catégories comprennent des mesures relatives à la formation (comment reconnaître la plante, connaître et appliquer la réglementation, comment la gérer, etc.), des campagnes d'information (sur la problématique générale ou encore sur les pollens), des brochures et des sites internet dédiés. La majorité de ces mesures sont mises en œuvre par les gouvernements ou par des groupes d'intérêts ; toutefois, elles peuvent être adaptées par diverses autres parties prenantes.

En France, la sensibilisation est réalisée par différentes structures, chacune complémentaires. La première est constituée par l'Observatoire des ambrosies⁸, qui met en ligne, pour les particuliers et les professionnels tous ces supports d'information (et de communication) *via* son catalogue en ligne. Le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) réalise un suivi des pollens, dont ceux de l'ambroisie, et donne en temps réel des informations sur les quantités relevées dans toute la France.

2.2.6 Méthodes de lutte

Les méthodes de lutte présentées dans la section ci-dessous (physiques, chimiques et biologiques) sont utilisées en gestion curative et/ou préventive. Elles visent la réduction temporaire ou durable des émissions de pollens et/ou des semences. Les luttes physiques (ou mécaniques) et chimiques nécessitent d'être menées plusieurs années de suite afin de réduire durablement les populations d'ambroisie. Elles doivent être réalisées à des stades de développement particuliers de la plante et pour la plupart, doivent être répétées au moins deux fois par an. Les techniques faisant appel à des engins agricoles, bien qu'efficaces, sont susceptibles d'être une nouvelle source de propagation des semences d'ambroisie.

Les informations présentées dans cette section ont été compilées à partir de publications choisies (Bilon, Chauvel, et Mottet 2017, Buttenschøn, Waldspühl, et Bohren 2010, Essl *et al.* 2015, Bullock *et al.* 2013).

2.2.6.1 Luttes physiques

Coupe, broyage, brossage

La coupe par fauchage, tonte et *via* le broyage sont des techniques rapides et faciles à mettre en œuvre avec un coût faible à moyen qui dépendra de l'équipement nécessaire et de la surface à traiter. Elles sont très utiles dans la gestion des linéaires. Elles visent la réduction des pollens et des semences. Elles permettent de traiter de grandes surfaces et sont

8 <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/especes-nuisibles-et-parasites/ambroisie-info/article/l-observatoire-des-ambrosies>

écologiques ce qui en font des alternatives intéressantes par rapport aux luttes chimiques. La coupe doit être répétée plusieurs fois durant la saison pour être efficace, de 2 à 4 coupes en fonction du milieu concerné. Elle doit se faire sur la base de l'observation des plantes et non de la date calendaire. La hauteur de coupe doit être adaptée en fonction du moment de la coupe (ex. fauche haute et précoce au printemps, supérieure à 10 cm, permettant de favoriser la compétition des autres végétaux ; fauche basse et tardive en été, juste avant floraison ou avant grenaison inférieure à 6 cm pour éviter une repousse de la plante et l'émission de nouveaux rameaux producteurs de semences). Ces techniques peuvent avoir des effets indésirables si elles perturbent le milieu en éliminant la flore compétitrice, en décapant le sol ou en ramenant des semences d'ambroisie à la surface (broyage). Dans certains cas le matériel doit être modifié ou remplacé pour pouvoir respecter une hauteur de coupe inférieure à 6 cm. Par ailleurs, il existe certaines limitations d'emploi dans les zones difficilement accessibles aux engins.

La coupe est utilisée le long des voies de communication, les espaces verts et jardinés, les zones pavillonnaires, les chantiers de travaux publics, les terrains en friche et jachères, les bordures de champs, les inter rangs des cultures fruitières.

Une variante de la coupe, la fauche-aspiration, permet de valoriser la biomasse prélevée pour la méthanisation. Elle est réalisable avant pollinisation et avant grenaison, cependant, dans ce dernier cas il est encore nécessaire de vérifier si les semences sont bien détruites quel que soit la technique de méthanisation employée. Cette technique est peu couteuse à part l'investissement de départ sur l'achat de l'engin et économiquement valorisée.

Enfin, dans certain cas particulier, en bord de route et zone urbaine, la technique de la brosse métallique est utilisable. Elle est d'une grande efficacité mais nécessite des conditions d'utilisation particulières, une technicité du manipulateur et pose le risque de dépôt de limaille de fer et de dégradation des surfaces traitées. Elle doit également être associée à un système d'aspiration pour ramasser et évacuer les déchets.

Désherbage mécanique par travail du sol

Les techniques de retournement du sol sont utilisées pour détruire la plante entière, enfouir les semences ou à l'inverse les remonter à la surface (dans la même logique que le faux semis). Elles sont rapides à mettre en œuvre, utilisables sur de grandes surfaces pour un coût relativement faible. En milieu agricole, elles visent principalement la réduction des semences par rapport aux enjeux de production. Ces techniques sont classiquement utilisées en agriculture mais peuvent dans certains cas convenir dans d'autres milieux (éventuellement en zone urbaine - dans ce cas le coût sera supérieur s'il nécessite un investissement dans de nouveaux équipements). Le travail du sol peut être profond (labour) ou superficiel (déchaumage, binage, hersage, etc.). Le labour est efficace s'il permet d'enfouir les semences à plus de 10 cm de profondeur afin d'empêcher la germination des semences. Le déchaumage doit être de préférence croisé afin de bien déraciner l'ambroisie. Selon le matériel utilisé et le nombre de passage il sera plus ou moins efficace. Il est utilisé en période d'interculture. Le déchaumage est cependant contraint par les conditions climatiques défavorables, la réglementation relative à la gestion des nitrates et dans certains cas par les conditions nécessaires au semis de la culture suivante. Les autres techniques de travail superficiel (binage, hersage, etc.) permettent la destruction précoce de l'ambroisie en post-semis et limitent ainsi la production de pollens en plus des semences. Ils permettent également d'épuiser la banque de semences superficielle de l'ambroisie s'ils sont utilisés en pré-semis, de manière répétée (technique du faux semis, un passage pour la levée, et un ou plusieurs autres passages pour la destruction des plantules germées ou passage d'herbicides). Ces techniques sont cependant soumises aux conditions climatiques et ont une efficacité limitée sur le rang. Le moment d'intervention doit être bien choisi pour éviter le risque d'une nouvelle levée d'ambroisie non gérée par la suite.

Arrachage manuel

L'arrachage manuel de l'ambroisie permet une destruction complète de la plante mais est très couteux, pénible et applicable que sur de faibles surfaces. Il doit être réalisé avant floraison pour éviter l'exposition au pollen des manipulateurs. Il est applicable en milieu agricole pour gérer les entrées de parcelle ou les petite taches isolées, sur les bords de cours d'eau, les zones urbaines, les chantiers et carrières ou encore les bords de route (sous réserve du danger pour les manipulateurs). Cette technique peut être utilisée pour des campagnes de sensibilisation.

Rotation des cultures

L'introduction de rotations des cultures et de cultures moins favorables et/ou moins sensibles à l'ambroisie peut être une piste dans certains cas et selon les possibilités de l'agriculteur. Cependant, la persistance de la banque de semences du sol et la plasticité des dates de germination de l'ambroisie peuvent limitent l'efficacité de cette technique (Karrer *et al.* 2011).

Désherbage thermique

Le désherbage thermique est mis en œuvre par la technique du brûlage (avec flamme directe ou indirecte) ou de l'aspersion d'eau chaude ou de vapeur sous pression. Ces techniques sont utilisables sur des surfaces réduites si le matériel s'utilise à la main ou alors sur des surfaces plus grandes si utilisation d'engins. Dans tous les cas cela nécessite un investissement important en termes de matériel et ne permet pas d'intervenir sur les zones moyennement et difficilement accessibles. Le désherbage thermique a un coût moyen à élevé et peut être vu comme une alternative écologique à la lutte chimique. Paradoxalement, il représente également un coût écologique du fait de sa consommation en énergie fossile et/ou en eau douce. De plus, ces techniques ne sont pas sélectives et peuvent perturber le milieu (destruction de la végétation, sol mis à nu). Elles doivent être réalisées précocement car perdent en efficacité sur les plantes adultes. Le désherbage thermique est adapté à une utilisation urbaine et dans certains cas peut être utile sur les bords de route où les plantes sont petites au plus près du bitume difficile à faucher.

Couverture du sol

Les techniques de couverture du sol, qu'elles soient artificielles (géotextiles synthétiques) ou naturelles (paillis, végétalisation) visent à prévenir la germination des semences. L'utilisation de géotextiles synthétiques et de paillis est réservée aux faibles surfaces et a un coût élevé alors que la végétalisation peut être faite sur tout type de surface et à un coût relativement faible. La végétalisation consiste à planter un couvert végétal (herbacé, arbustif ou arborescent) sur des sols mis à nu ou perturbés afin de concurrencer l'ambroisie (lumière et eau). Cependant, cette dernière est plus technique. Elle nécessite un choix de mélange d'espèces adaptées au contexte (type de sol, climat), une implantation à une période précise et un suivi sur le long terme. Dans le cas de végétalisation herbacée, un mélange de Fabacées et de Poacées est préconisé pour une meilleure efficacité dans la compétition. Cette méthode peut être complétée sur le long terme par la fauche haute (sans perturbation au niveau du sol) ou l'arrachage manuel. La végétalisation est adaptée aux bords de cours d'eau (arbres et Poacées) et de routes, ainsi qu'aux zones urbaines ou délaissées comme les friches industrielles. Milanova, Vladimirov, et Maneva (2010) ont montré dans des expérimentations de compétition en serre, que le ray-grass anglais, le dactyle aggloméré et la luzerne réduisaient considérablement la croissance et la production de semences de l'ambroisie.

Eco-pâturage

Les ovins et les caprins peuvent être utilisés pour consommer des ambrosies (dans une moindre mesure les bovins), en particulier dans des zones difficiles d'accès (dont certains espaces verts), accidentées ou encore les bords de cours d'eau. Ils doivent intervenir avant la floraison et à un stade où l'ambroisie est appétente (stade jeune). Ils peuvent également être utilisés en agriculture dans les chaumes après récolte des céréales. Cette technique est aussi

un bon vecteur de communication et de sensibilisation à la problématique de l'ambroisie, tout comme les campagnes d'arrachage manuel. En revanche, le coût de cette technique de gestion est élevé et elle ne peut s'employer que sur des surfaces relativement réduites (car il est nécessaire de contenir le troupeau). L'éco-pâturage est risqué pour le bétail dans les zones accidentées ou en présence de galets comme sur les grèves des cours d'eau. Il peut également poser des soucis sur des sites sensibles via la prédation et le piétinement d'espèces rares, ou encore déranger l'avifaune en particulier les nicheurs au sol. Par ailleurs, il est nécessaire de prévoir une complémentation alimentaire diversifiée.

2.2.6.2 Lutte chimique

Dans la plupart des cultures, l'ambroisie peut être contrôlée efficacement par des herbicides pré- et post-émergence, systémiques ou de contact (Bullock *et al.* 2013). Cependant l'efficacité du traitement dépendra des conditions climatiques lors de l'application et du stade de développement de l'espèce. En effet, l'efficacité est plus importante sur les sujets jeunes. C'est le cas pour le glyphosate appliqué avant le stade 6-8 feuilles. Sur les plants plus âgés, l'herbicide détruit simplement les étages foliaires supérieurs mais induit la formation des repousses latérales plus complexes à gérer par la suite par d'autres substances chimiques ou un désherbage mécanique. Pour la plupart des herbicides, les doses doivent être augmentées lors de traitements sur plantes plus âgées afin de garantir une certaine efficacité. L'efficacité du désherbage chimique peut être augmentée s'il est réalisé en plusieurs applications, combiné avec le désherbage mécanique (par exemple, binage en culture de tournesol) et la rotation des cultures. Il existe de très nombreuses formulations commerciales d'herbicides pour lutter contre l'ambroisie selon les pays et les compagnies. Les principales substances actives utilisées sont : glyphosate, mesotrione, chloryalid, MCPP et Florasulam.

L'utilisation du désherbage chimique est cependant encore complexe dans les cultures de tournesol du fait de leur proximité taxonomique et dans les cultures de soja. Certains herbicides donnent cependant de bons résultats lorsqu'ils sont combinés avec des variétés tolérantes aux herbicides (par exemple, l'imazamox cité dans Bullock *et al.* (2013)).

En tout état de cause, la lutte chimique ne devrait être utilisée qu'en dernier recours car elle entraîne des effets négatifs sur les écosystèmes, le sol et l'eau. Le désherbage chimique non sélectif, même s'il est très efficace contre l'ambroisie, présente aussi l'inconvénient de laisser le sol à nu et favorise ainsi la germination de nouveaux plants. Les substances utilisées en milieu agricole sont pour la plupart interdites dans les milieux non agricoles. Dans ces milieux, seuls sont autorisés les produits qualifiés à faible risque et les produits dont l'usage est autorisé en agriculture biologique.

Enfin, l'utilisation intense des herbicides depuis de très nombreuses années pour lutter contre l'ambroisie a entraîné l'apparition d'écotypes résistants que ce soit dans son aire native ou dans son aire d'introduction. Des populations d'ambroisie nord-américaines résistantes aux herbicides inhibiteurs de la photosynthèse ont été observés dès 1970. Ces premiers cas de résistance, par rapport à l'atrazine, ont été observés dans des cultures de maïs et de carotte. Depuis les deux dernières décennies on observe des résistances aux inhibiteurs de l'acétolactate-synthase, au glyphosate et au linuron. En Europe, des écotypes résistants à l'atrazine ont été trouvés en Hongrie et bien que ce cas de résistance semble être isolé, le risque que les populations d'ambroisie deviennent résistantes à certaines familles d'herbicides semble de plus en plus élevé. En France, des populations d'ambroisie résistantes aux inhibiteurs de l'acétolactate-synthase (dont l'imazamox utilisé sur tournesol) ont été découvertes pour la première fois en 2015. En effet, l'utilisation intensive d'inhibiteurs de l'acétolactate-synthase (seuls ou en mélanges) dans l'ensemble du cycle de rotation des cultures peut rapidement entraîner une résistance d'autant plus qu'ils sont parmi les plus utilisés en France dans les grandes cultures. Par conséquent, un objectif majeur des agriculteurs et des gestionnaires en Europe est d'éviter la sélection de plantes résistantes dans les champs et sur les bords de route en alternant les matières actives voire en les réduisant le plus possible et en diversifiant les méthodes de lutte.

2.2.6.3 Lutte biologique

Actuellement en France il n'existe pas de moyen de lutte biologique commercialement disponible pour les organismes en charge de la gestion de la lutte contre l'ambrosie, et aucune action des instituts de recherche assujettis à la mise au point de la lutte biologique n'a pour l'heure permis de développer de moyen de lutte biologique ciblant l'ambrosie. La principale raison du succès de l'ambrosie à feuilles d'armoise en France, et plus généralement dans les zones envahies (Europe et Asie), est la quasi-absence d'ennemis naturels permettant son contrôle dans ces milieux (*enemy release hypothesis*) (Keane et Crawley 2002), alors que l'ambrosie est mieux contrôlée dans son aire native (Goeden et Andres 1999) (même si certains cas nécessitent des mesures de lutte spécifique en milieux agricoles). Parmi les agents potentiellement candidats pour développer la lutte biologique, Gerber *et al.* (2011) ont identifié 23 agents parmi lesquels figurent 18 insectes et 5 phytopathogènes. Ils ont également distingué les 7 organismes les plus prometteurs et complémentaires en termes de niche alimentaire : 4 attaquant les feuilles, 1 attaquant les fleurs, et 2 se nourrissant des semences de l'ambrosie (Figure 19).

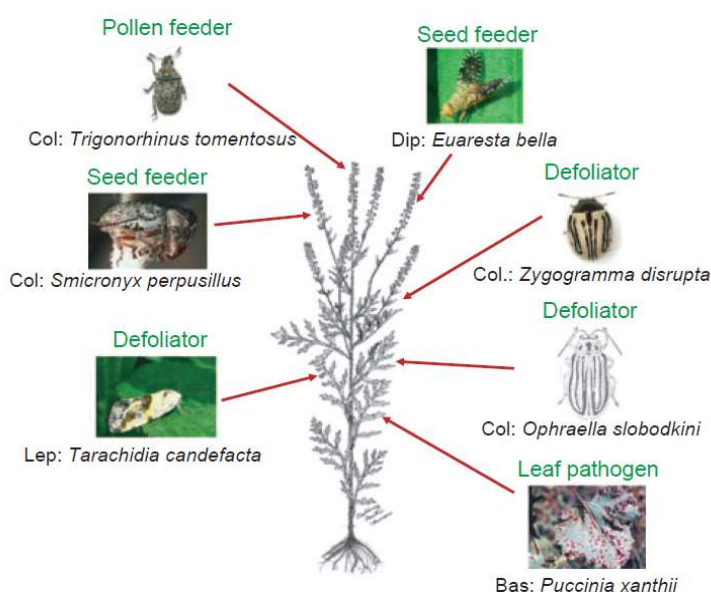


Figure 19. Sept organismes les plus prometteurs et complémentaires en terme de niche alimentaire (Gerber *et al.* 2011)

4 organismes attaquent les feuilles (defoliator et leaf pathogen), 1 organisme attaque les fleurs (pollen feeder), et 2 organismes se nourrissent des semences de l'ambrosie (seed feeder).

Lutte biologique par conservation et lutte biologique inondative : quelles sont les possibilités d'utilisation des ennemis naturels endémiques en France ?

Comme indiqué précédemment, aucun ennemi naturel observé jusqu'à présent en Europe sur l'ambrosie (et d'autres espèces exotiques d'*Ambrosia spp.* en Eurasie) ne semble être suffisamment spécifique et/ou efficace en terme de contrôle. Gerber *et al.* (2011) notent que des souches virulentes du pathogène *Puccinia xanthii* ainsi que deux autres agents phytopathogènes, *Phyllachora ambrosiae* et *Plasmopara halstedii*, pourraient être potentiellement considérés pour le développement de la lutte biologique en Europe (Kiss *et al.* 2003, Vajna 2002, Vajna, Bohár, et Kiss 2000). L'absence d'épisode épidémique naturel significatif dans les populations d'ambrosie suggère cependant que les pathogènes *P. ambrosiae* ou *P. halstedii* (Kiss 2007), s'ils devaient être utilisés en lutte biologique, devraient l'être *via* une lutte biologique inondative c'est à dire *via* des lâchers artificiels et répétés du ou des phytopathogènes. Cependant, aucun de ces phytopathogènes ne peut être cultivé *in vitro* pour le moment : leur biologie les rend donc impropres à la production de masse et à l'application en tant qu'agent de lutte biologique. Par ailleurs, le risque de dommages potentiels sur l'ambrosie maritime, la seule espèce indigène en Europe et congénérique de l'ambrosie à feuilles d'armoise resterait un problème à considérer pour l'utilisation de ces phytopathogènes (il faut cependant souligner que cette espèce n'est signalée qu'en Corse). Les données disponibles suggèrent donc qu'un contrôle de l'ambrosie en Europe *via* la lutte

biologique par conservation (c'est à dire favoriser les phytopathogènes déjà présents) ou *via* la lutte biologique inondative (production de masse puis application sur le terrain) est improbable à court ou moyen termes. Ainsi, les options de contrôle *via* la lutte biologique doivent nécessairement reposer sur l'utilisation d'organismes exotiques, que cela soit *via* une lutte biologique classique (acclimatation et établissement d'un ennemi naturel) ou *via* une lutte biologique inondative au moyen d'organismes exotiques.

La lutte biologique classique

La lutte biologique classique a traditionnellement été utilisée contre les plantes envahissantes (avec un succès certain) se propageant sur de vastes étendues agricoles, ainsi que dans des habitats naturels et semi-naturels (Müller-Schärer et Schaffner 2008). L'ambroisie ayant un impact négatif important dans une grande partie de l'Asie et en Australie, elle a fait l'objet de programmes de lutte biologique classique dans ces régions avec un succès variable (Julien et Griffiths 1998, Zhou, Wan, et Guo 2017).

Il existe plusieurs cas de lutte biologique classique contre l'ambroisie dans différentes parties du monde, y compris en Russie, Ukraine, Kazakhstan, Australie et Asie (Chine). Le coléoptère *Zygogramma suturalis* fut introduit dans les années 70-90 pour lutter contre l'ambroisie en Russie, Ukraine et Kazakhstan (Julien et Griffiths 1998, Reznik 1991). Malgré une propagation importante dans les zones infestées par l'ambroisie ainsi que des résultats prometteurs (densités de 5000 *Z. suturalis* par m² dans des champs cultivés en Russie, destruction des ambrosies, doublement du rendement des cultures), de récentes données ont révélé que *Z. suturalis* n'est pas en mesure de contrôler durablement l'ambroisie (Goeden et Andres 1999, Reznik *et al.* 2007).

En Australie, le contrôle de l'ambroisie a été atteint *via* un programme de lutte biologique classique basé sur l'introduction du lépidoptère *Epiblema strenuana* (introduit entre 1980 et 1984) (McFadyen et Weggler-Beaton 2000). L'insecte réduit la taille et l'abondance de l'ambroisie ainsi que sa production de pollen. En 1990, *Z. suturalis* a lui aussi été introduit depuis les États-Unis pour accroître la lutte contre l'ambroisie, mais l'espèce n'a pas réussi à s'établir durablement (Julien et Griffiths 1998). D'un point de vue économique, le programme de lutte biologique classique qui a été mené contre l'ambroisie en utilisant *E. strenuana* est considéré comme un succès remarquable dans le pays (Palmer, Heard, et Sheppard 2010).

En Chine, après plusieurs essais infructueux basés sur des lâchers de *Z. suturalis* (1985) et *Euaresta bella* (1989), *E. strenuana* a été introduit à partir de l'Australie en 1991 (Wan, Wang, et Ding 1995, Zhou, Guo, et Wan 2009). De surcroît, la chrysomèle *Ophraella communa* a été accidentellement introduite en Chine et retrouvée en 2001 dans la province du Jiangsu, apportant dans cette région un contrôle très notable des populations d'ambroisie (Zhou, Guo, et Wan 2009) (Zhang *et al.* 2005). Un programme d'élevage de masse de *O. communa* a ainsi été mis en place dans le but d'utiliser cet agent pour une application inondative dans les habitats subissant une colonisation sévère (Zhou, Guo, et Wan 2009). Dans ce pays, la stratégie actuelle de lutte biologique classique contre l'ambroisie repose sur l'utilisation conjointe des deux espèces d'insectes : *O. communa* et *E. strenuana*. Ce moyen de lutte est par ailleurs celui qui est priorisé pour les zones agricoles (grandes cultures et vergers) et les zones urbaines. Il s'appuie sur le développement de méthodes d'élevage de masse des deux agents de lutte biologique, qui permettent ainsi des lâchers annuels et de s'affranchir d'éventuels goulots d'étranglement génétique⁹ des populations d'*O. communa* et d'*E. strenuana* dans les zones ciblées. Étant donné que l'ambroisie peut se développer dans différents habitats, les stratégies de lutte ont dû être adaptées en fonction des habitats ciblés. Les lâchers ont lieu au début du printemps. Ils consistent à relâcher en mélange 1200 *O. communa* et 1200 *E. strenuana* par km² dans les régions subtropicales du sud, 3000 *O.*

⁹ Phénomène de réduction de la diversité génétique d'une population lorsqu'un faible nombre d'individu reproducteur a été introduit.

communa et 3000 *E. strenuana* par km² dans les régions du centre, 500 *O. communa* et 4500 *E. strenuana* par km² dans le nord de la Chine. Les effectifs lâchés sont fonction de la capacité des insectes à se développer dans l'écozone donnée. Les populations des deux agents de lutte biologique augmentent ensuite au cours de la saison et la plupart des ambrosies sont détruites à partie de l'été (Zhou *et al.* 2011). Le contrôle de l'ambrosie est actuellement un succès avec cette méthode dans ce pays.

Potentiel pour la lutte biologique classique en France

En 2013, *O. communa* a été détectée sur des populations d'ambrosie dans le nord de l'Italie. Cette espèce de coléoptère n'ayant fait l'objet d'aucun programme de lutte biologique classique en Europe, elle a donc été introduite accidentellement sans que des informations sur sa date réelle d'entrée sur le territoire ne soit connue. Comme observée en Chine, la présence d'*O. communa* a induit une réduction considérable des concentrations de pollen d'ambrosie dans le nord de l'Italie (réduction de l'ordre de 80% dans la région de Milan) (Bonini *et al.* 2015, Bonini *et al.* 2016, Müller-Schärer *et al.* 2014). Sur plusieurs sites étudiés, il a été observé jusqu'à 100% des plantes d'ambrosie attaquées par *O. communa*, avec des niveaux de dégâts suffisamment élevés pour conduire à une défoliation complète, une absence de floraison et l'absence de formation de graines (Müller-Schärer *et al.* 2014). Cependant, il a été observé qu'une humidité relative inférieure à 40% au printemps pouvaient faire chuter l'éclosion des œufs d'*O. communa* de 80%, induisant un retard de croissance des populations de l'insecte et, par cascade, un contrôle biologique réduit de l'ambrosie (communication personnels de U. Schaffner). Ainsi, il semble que l'utilisation d'*O. communa* en lutte biologique soit à considérer surtout *via* l'utilisation de lâchers inondatifs comme actuellement réalisé en Chine.

Une récente étude par Mouttet *et al.* (2018) a par ailleurs permis d'estimer les avantages économiques potentiels de l'établissement d'*O. communa* dans la région Rhône-Alpes. En utilisant les données Milanaise pour pouvoir extrapoler l'impact potentiel de *O. communa* dans la région Rhône-Alpes, les auteurs indiquent que le coléoptère pourrait permettre de réduire le nombre de jours présentant des concentrations de pollen d'ambrosie pendant lesquelles 50% des personnes sensibles expriment des symptômes dus à l'ambrosie (avec une réduction des frais médicaux associés de l'ordre de 5,2 à 6,8 M€ par an). Un rapport de l'Anses a par ailleurs souligné les faibles risques environnementaux et agricoles liés à l'entrée potentielle d'*O. communa* sur le territoire Français (Anses 2019).

2.3 Conclusions

L'ambrosie à feuilles d'armoise est présente et se propage depuis le début du XX^{ème} siècle en France. Aujourd'hui, trois zones peuvent être distinguées : les zones avec une forte implantation (par exemple : Rhône, Isère, Drôme ou encore Nièvre, Cher), les zones de front (Charentes, Côte-d'Or, Gard), et les zones encore très peu concernées et/ou isolées des deux précédentes. Sa vitesse de propagation s'accélère depuis les années 1960.

Plusieurs vecteurs peuvent favoriser cette propagation, notamment anthropiques, avec les machines agricoles ou encore le transport de sol ou semences contaminés. Il est à noter que l'étendue de la propagation n'est pas la même en fonction du vecteur et de la biologie de l'espèce (reproduction par graines ou végétativement, tailles et nombre des semences, etc.).

Au regard des outils actuels, la capacité d'endiguement de la propagation de la plante semble réaliste dans les zones de front et les zones très peu concernées et/ou isolées. Toutefois, une faible prise de conscience est constatée dans des départements pouvant être considérés en zone de front (avec une absence de réglementation spécifique *via* des arrêtés préfectoraux).

De nombreuses méthodes de lutte existent (chimiques, physiques, biologiques) en fonction du niveau d'infestation, de la surface et du milieu concerné. Ces méthodes ne sont pas toutes

disponibles ou utilisées en France. En particulier, la lutte biologique n'y est pas déployée bien que celle-ci ait montré son intérêt et son efficacité en Chine, en Australie et en Italie¹⁰.

La gestion de l'ambroisie se heurte toujours à certains freins réglementaires, notamment le pouvoir de police limité du maire, le manque de coordination de la lutte à l'échelle de l'Europe, la discordance actuelle du code rural et de la pêche maritime et du code de la santé publique.

D'un point de vue sanitaire comme agro-environnemental, l'ensemble des ambrosies est à considérer, notamment dans une optique de lutte.

¹⁰ La présence d'*Ophraella communa* en Italie n'est pas le résultat d'une introduction volontaire dans le cadre d'un plan de lutte planifié.

3. Distribution géographique de l'ambroisie à feuille d'armoise et de ses pollens

Le présent chapitre a pour objectif de présenter les types de données utilisées pour connaître la répartition de l'ambroisie à feuille d'armoise et la distribution de ses pollens sur le territoire.

La problématique globale des pollens présents dans l'air ambiant a été traitée dans deux précédents rapports publiés par l'Anses (Anses 2014, 2017b). La mesure et la surveillance des pollens y font l'objet de chapitres dédiés que le groupe de travail a repris, en partie, dans ce chapitre.

3.1 Dispositifs de surveillance de présence et de propagation de la plante

En France, plusieurs acteurs contribuent à structurer la surveillance de l'ambroisie, principalement le réseau des FREDON, le réseau des Conservatoires botaniques nationaux et le réseau des Centre permanent d'initiatives pour l'environnement. Dans le cadre de l'ambroisie, les signalements peuvent être centralisés par le biais de la plateforme signalement-ambroisie (Figure 20). Les données issues de cette plateforme font l'objet d'une exploitation régulière par l'Observatoire des ambrosies.



Figure 20. Procédure de signalement de l'ambroisie (source : www.signalement-ambroisie.fr)

Il n'existe pas à l'échelle européenne de base centralisant de manière systématique les signalements d'ambroisie. Au-delà des données compilées au sein du rapport Bullock *et al.* (2013) des initiatives sont toutefois à indiquer, telles que :

- *Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe* (DAISIE)
- *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF)

Il est à rappeler qu'une surveillance continue est nécessaire pour que toute stratégie de lutte soit efficace (Mack *et al.* 2000). La surveillance est un élément important de toute stratégie de lutte, car elle permet de tirer des conclusions sur le développement de l'infestation et fournit également des preuves du succès (ou d'échec) des mesures de réduction utilisées. Le suivi peut être organisé de manière formelle et exécuté par des bénévoles ou des professionnels (Bullock *et al.* 2013). Selon ces auteurs, une exigence légale de surveillance s'avère l'approche la plus efficace. En France la surveillance de trois espèces d'ambroisie¹¹ est rendue obligatoire selon les articles D. 1338-1 et D. 1338-2 du code de la santé publique.

¹¹ Il s'agit de l'ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L.), l'ambroisie à épis lisses (*Ambrosia psilostachya* DC.) et l'ambroisie trifide (*Ambrosia trifida* L.).

3.2 Dispositif de surveillance météorologique des pollens et outils de communication associés

3.2.1 Réseau National de Surveillance Aérobiologique en France (RNSA)

En France, en application du II de l'article L. 221-1 du code de l'environnement et de l'arrêté du 5 août 2016, sont chargés de coordonner ensemble la surveillance des pollens et, le cas échéant, des moisissures de l'air ambiant, et l'information associée :

- l'association Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) ;
- les organismes agréés mentionnés à l'article L. 221-3 du code de l'environnement lorsqu'ils participent à la surveillance des pollens et des moisissures de l'air ambiant ;
- l'Association des pollinariums sentinelles de France (APSF).

En 2019, le RNSA il comptait 84 sites de mesures équipés de capteurs Hirst sur l'ensemble du territoire (Cayenne inclus) : 73 sites tous pollens, 10 sites spécifiquement dédiés à la surveillance des pollens d'ambroisie, et 1 site utilisé à des fins de validation scientifique (Figure 21).



Figure 21. Localisation des capteurs du Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA)

3.2.1.1 Méthode d'analyse pollinique

Une description détaillée de la méthodologie d'analyse pollinique utilisée par le RNSA peut être trouvée dans la publication de Thibaudon, Oliver, et Besancenot (2019). Un descriptif détaillé des instruments de mesure existants peut être trouvée dans un rapport précédent de l'Anses (2014).

La méthode traditionnelle de dénombrement et d'identification des grains de pollen recueillis par les capteurs de type Hirst utilise la microscopie optique opérée par des analystes spécifiquement formés. À partir des bandes de recueil, les analystes préparent des lames de microscope permettant la discrimination et le comptage des grains de pollen parmi les autres particules présentes dans l'air ambiant. Pour faciliter le travail des analystes, le RNSA a développé une clé de détermination des pollens – utilisée désormais lors de toutes les formations françaises et internationales – couplée à un logiciel d'acquisition vocale des objets discriminés au microscope. Afin de garantir une plus grande homogénéité des données

mesurées dans toute l'Europe, l'Association française de normalisation (AFNOR) et le RNSA ont développé et publié une norme européenne : NF EN 16868 Air ambiant, échantillonnage et analyse des grains de pollen en suspension dans l'air et des spores fongiques pour les réseaux relatifs à l'allergie, méthode volumétrique de Hirst. Cette norme inclut une définition des spécifications techniques minimales des capteurs volumétriques utilisant la méthode Hirst et les procédures d'analyse à respecter.

Le capteur pollinique volumétrique de type Hirst fournit des données de concentration de pollens sur une résolution temporelle de 2 heures. Le temps d'exposition étant connu, le nombre de grains par mètre cube d'air et par unité de temps peut être calculé. Ce pas de temps permet de connaître les variations intra-journalières des concentrations polliniques et de vérifier si le pollen recueilli est d'origine locale ou distante. Ainsi, l'ambroisie libérant l'essentiel de son pollen en fin de nuit ou en début de matinée (Martin, Chamecki, et Brush 2010, Ogden *et al.* 1969), il existe une forte probabilité pour que les grains captés avant midi soient majoritairement autochtones (cas habituel à Lyon), alors qu'un recueil en milieu ou fin d'après-midi laisse à penser que la source des émissions est éloignée (cas à Aix-en-Provence ou Dijon) (Thibaudon, Oliver, et Sindt 2009). La capacité des pollens d'ambroisie à parcourir de longue distance est bien documentée dans la littérature (Zauli *et al.* 2006, Smith *et al.* 2008, Sommer *et al.* 2015, de Weger *et al.* 2016, Grewling *et al.* 2016).

En dépit de sa robustesse et de son ancienneté, la méthode traditionnelle de dénombrement et d'identification des grains de pollens présente des limites. La procédure est longue (comptage et reconnaissance manuels) et lourde à mettre en place (formation spécifique de l'analyste), et ne permet pas la diffusion instantanée des données mesurées. De plus, elle renseigne uniquement sur le contenu de l'air en grains de pollen, sans donner d'indications sur leur contenu en allergènes¹². Ainsi, divers développements et programmes de recherche se sont orientés depuis une vingtaine d'années tant sur les méthodes d'analyse automatique, discriminantes au niveau des espèces botaniques ou des allergènes, que sur la mise au point de capteurs automatiques pouvant accepter une analyse en temps réel ou quasi réel. Quatre orientations font l'objet d'investigations intensives (Thibaudon, Oliver, et Besancenot 2019). Certaines font appel à l'analyse d'image pour faciliter l'identification des grains de pollen tandis que d'autres utilisent la biologie moléculaire et diverses techniques associées. D'autres encore s'appuient sur les méthodes immunologiques développées dans le cadre du diagnostic *in vitro* et de la standardisation des allergènes. Enfin, les dernières ont recours à la mesure automatique des paramètres physiques et capacités de fluorescence des particules biologiques – ce qui rend possible une triple automatisation du recueil, de l'analyse et de l'information en temps réel. À ce jour, les seuls équipements capables de fournir une information en temps réel sont le HUND BAA 500® et le PLAIR Rapid-E® mais leurs coûts sont très élevés, rendant leur utilisation en routine difficile à l'heure actuelle.

3.2.1.2 Localisation des capteurs

De façon générale, la localisation des capteurs vise à maximiser la représentativité des mesures réalisées ; ces mesures ont en effet pour objectif de refléter l'exposition de la population vivant dans une zone assez large. Ainsi, les capteurs sont généralement placés en ville – du fait de la forte densité de population et donc de malades potentiels – en hauteur, à distance suffisante des sources, et éloignés de la rugosité urbaine ou du terrain. Une mesure obtenue par un capteur placé trop près d'une source ne représente que la typologie pollinique locale et ne s'applique qu'à la population locale. Un compromis doit être trouvé entre la qualité du site pour la mesure, son accessibilité, l'installation du capteur, la disponibilité des personnes effectuant les relevés et les mesures de sécurité à appliquer pour ces dernières.

¹² La mesure spécifique des allergènes présents dans l'air se heurte à des problèmes et limites techniques, comme le montrent les résultats du projet européen MONALISA (Duval 2008).

Les appareils de type Hirst utilisés par le RNSA respectent les recommandations de la norme NF EN 16868. Ils sont installés en ville, sur des terrasses d'immeubles à une hauteur comprise entre 15 et 20 mètres et bien dégagées, afin de représenter la végétation d'une zone assez vaste et non celle des abords immédiats du capteur. Les endroits où l'air circule verticalement (bords de toits, balcons...) sont déconseillés car la proximité d'immeubles plus élevés peut créer des ascendances et des turbulences importantes. Les abords d'un parc public (potentielle surreprésentation d'un type particulier de pollens) ou la proximité directe d'une source de forte pollution chimique (poussières, fumées noires...) sont également à éviter. Lorsque toutes ces précautions sont prises, les mesures obtenues sont représentatives d'une zone de 20 à 50 km de rayon (Katelaris, Burke, et Byth 2004, Pashley *et al.* 2009).

3.2.1.3 Représentativité du réseau

Le choix de la localisation des capteurs du RNSA ainsi que la représentativité de ce réseau a fait l'objet de nombreuses réflexions et d'adaptations depuis les années 2000. Le réseau a notamment été optimisé afin de réduire les disparités interrégionales et le maillage a été corrigé en fonction des effectifs de population concernés par les informations polliniques. La densité de surveillance a été développée dans certaines régions afin de témoigner au mieux de spécificités locales d'intérêt : l'ambroisie en région Rhône-Alpes ou le cyprès dans le Midi méditerranéen.

Rieux, Personnaz, et Thibaudon (2008) puis Raffard (2017) se sont appliqués à estimer la représentativité du réseau de capteurs RNSA en définissant des « bassins d'air » homogènes à l'intérieur desquels les propriétés polliniques sont comparables – tant pour les concentrations en pollen que pour les principales caractéristiques des saisons polliniques (dates de début et de fin, date du pic, etc.). Une corrélation positive a ainsi été établie entre le degré de similarité des propriétés polliniques de deux sites de mesures et la distance entre ces sites i.e. les sites présentant des profils polliniques similaires sont toujours peu éloignés sur le terrain. La latitude et l'altitude ont été identifiés comme deux facteurs majeurs discriminant les propriétés polliniques, ce qui était attendu par les auteurs en raison du rôle que jouent ces deux facteurs dans le climat et le développement de la végétation locale. Enfin, il est ressorti de ces travaux que, dans sa configuration actuelle, le réseau RNSA souffre plus d'un manque de stations que de redondances : environ 22,6 millions de Français, soit 36,6% de la population vivant à moins de 1 200 m d'altitude, sont à plus de 30 km d'un capteur de pollen (Raffard 2017).

3.2.2 Informations collectées et diffusées par le RNSA

Le dispositif de mesure et de surveillance mis en place par le RNSA a pour vocation d'être un outil au service de la santé publique. Ainsi, le RNSA renseigne régulièrement la population générale sur la présence de particules biologiques dans l'air ambiant par le biais de bulletins polliniques.

3.2.2.1 Comptes polliniques

Le réseau de surveillance du RNSA fournit un comptage bi-horaire du nombre de grains de pollens par m³ d'air. Ces comptes polliniques « bruts » sont difficiles à interpréter en raison des différents niveaux d'allergénicité des pollens. Ils ne sont donc pas diffusés directement au grand public, mais sont très largement utilisés à des fins descriptives ou de recherche.

Les mesures obtenues en stations sont supposées représentatives d'une zone de 20 à 50 km de rayon (Katelaris, Burke, et Byth 2004, Pashley *et al.* 2009). Ainsi, les comptes polliniques représentent une approximation de l'exposition des populations et de la pertinence clinique de cette exposition pour les malades. La modélisation des niveaux de pollens dans l'air ambiant (cf. paragraphe 3.3) permet d'obtenir une approximation de l'exposition à plus fine échelle.

3.2.2.2 Potentiel allergisant

Depuis sa création, le RNSA développe et met à disposition du grand public un tableau du potentiel allergisant des différentes espèces végétales retrouvées sur le territoire. Le potentiel allergisant reflète la capacité du pollen à provoquer une allergie ou une réaction allergique pour une partie non négligeable de la population générale. Il est défini sur la base de la littérature scientifique (Sindt *et al.* 2019, Sindt *et al.* 2017) en trois catégories :

- Faible ou négligeable : une très grande quantité de grains de pollen est nécessaire pour déclencher une allergie et cela ne concerne que les personnes les plus sensibles ;
- Modéré : une quantité importante de grains de pollen est nécessaire pour provoquer des phénomènes allergiques chez un faible nombre de personnes sensibles (espèces généralement présentes de manière ponctuelle) ;
- Fort : quelques grains de pollen suffisent à provoquer une réaction allergique pour la majorité des personnes sensibles.




Le potentiel allergisant de l'ambroisie est considéré fort au même titre que celui du bouleau, du cyprès, et des graminées.

3.2.2.3 Risque allergique théorique

Les comptes polliniques reflètent un comptage de grains de pollen dans l'air et le potentiel allergisant est une caractéristique propre du pollen ; aucun de ces deux indicateurs ne présente de pertinence clinique pour les malades allergiques.

Le risque allergique théorique développé par le RNSA est un indicateur multifactoriel représentant la pertinence clinique d'un pollen pour une personne allergique dans une zone spécifique. Il s'étend de 0 (risque nul) à 5 (très élevé) et dépend : du potentiel allergisant, de la durée de la saison pollinique, des conditions météorologiques, des comptes polliniques, et de la situation géographique, c'est-à-dire l'infestation de la zone par l'espèce.

Dans les zones infestées, le risque allergique théorique sera élevé même avec un compte pollinique très bas en raison de l'existence d'une population sensibilisée ou à risque d'être allergique. Au contraire, dans les zones pas ou peu envahies, le risque allergique théorique restera nul ou faible malgré la présence de grains importés par le vent car la population n'est pas ou peu à risque. Pour chaque pollen et chaque zone d'infestation, une grille de correspondance a été créée entre le risque allergique théorique et les comptes polliniques, journaliers ou hebdomadaires (grille de correspondance pour les pollens d'ambroisie visible en Figure 22). Cette grille peut être ajustée au cours du temps, en fonction de l'évolution du changement climatique par exemple. Un risque allergique supérieur ou égal à 3 est considéré

Infestation par l'ambroisie	Compte pollinique (grains/m ³ par jour)	Risque allergique théorique
Zone infestée 	0	0
	1-2	1
	3-5	2
	6-12	3
	13-30	4
Zone de front 	≥30	5
	0-2	0
	3-10	1
	11-15	2
Zone non infestée 	16-25	3
	≥25	4
	0-5	0
	6-15	1
	16-30	2
	≥30	3

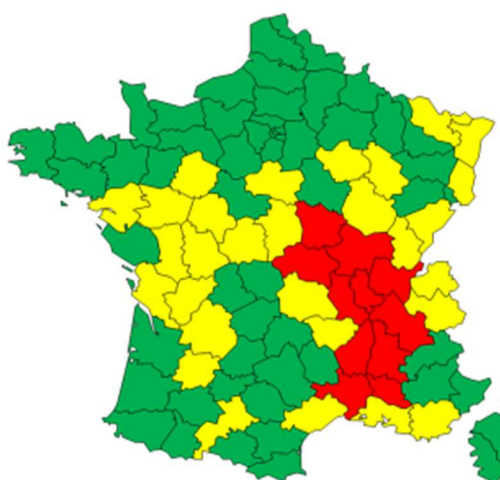


Figure 22. Grille de correspondance entre risque allergique théorique du pollen d'ambroisie et comptes polliniques selon zone d'infestation

cliniquement pertinent : 6 grains de pollen d'ambroisie mesurés dans un m³ d'air sur une journée peuvent provoquer des symptômes chez les personnes allergiques. À des fins de comparaison, la valeur correspondante pour les pollens de bouleau est de 50 grains/m³ par jour ; celle des graminées est de 10 grains/m³ par jour.

3.2.2.4 Risque allergique lié à l'exposition au pollen (RAEP)

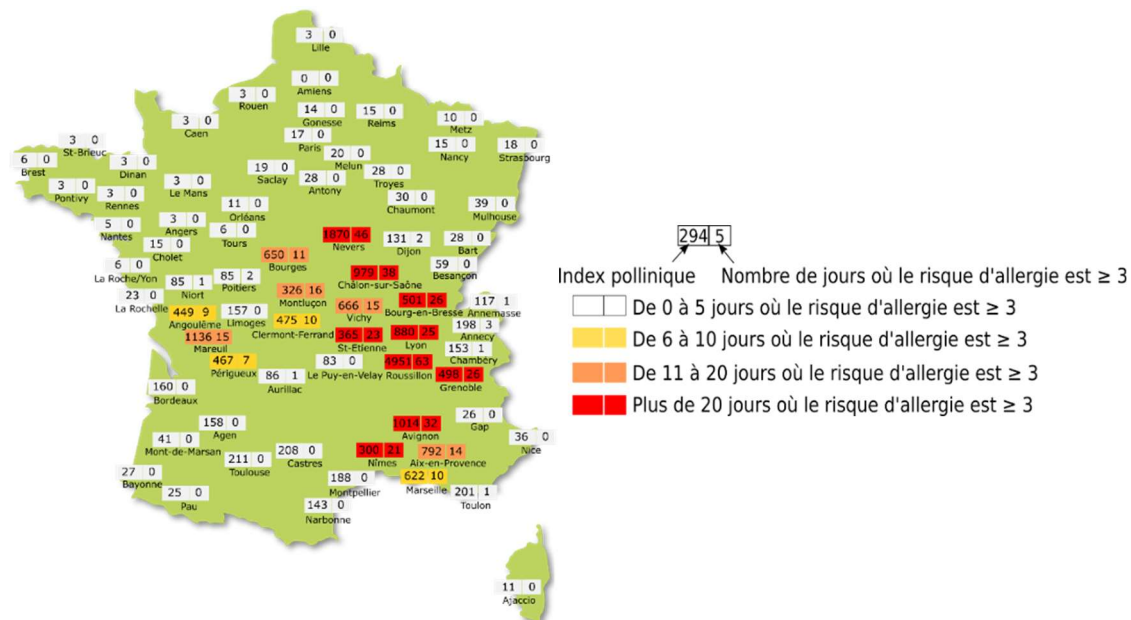
Par la suite, le RNSA a développé le concept de risque allergique lié à l'exposition au pollen (RAEP) permettant de fournir une information prévisionnelle, à quelques jours, du risque allergique. Le RAEP varie de 0 (risque nul) à 5 (risque très élevé) ; un RAEP ≥3 est considéré cliniquement pertinent, c'est-à-dire que les personnes allergiques ont de forte chance de présenter des symptômes. Le RAEP représente bien un niveau de risque sanitaire et non pas un niveau d'exposition, il intègre des données de plusieurs natures selon la formule :

$$RAEP = R_{Ath} + \frac{C + M + P}{3}$$

Avec :

- *R_{Ath}*, le risque allergique théorique hebdomadaire sur la zone, intégrant les comptes polliniques de la semaine ;
- *C*, index quantitatif basé sur les observations cliniques de la zone – informations issues de bulletins cliniques complétés chaque semaine par les médecins du réseau sentinelle du RNSA partout en France ;
- *P*, index quantitatif basé sur les observations phénologiques de la zone – informations issues de bulletins d'observations complétés chaque semaine par des bénévoles, souvent membres des services d'espaces verts, partout en France ;
- *M*, index quantitatif basé sur les prévisions météorologiques (températures, durée des précipitations, direction et vitesse des vents) à quelques jours.

Le RAEP est utilisé tant pour les informations hebdomadaires, nationales, régionales ou locales, que pour l'établissement de la carte annuelle d'exposition et de risque induit sur le territoire métropolitain (exemple de l'ambroisie en Figure 23).



3.3 Modélisation de la présence de la plante et de la dispersion de ses pollens

Les pollens anémophiles, comme le pollen d'ambroisie, se déposent majoritairement dans un rayon de quelques centaines de mètres autour de la plante émettrice. Portés le vent, le pollen peut cependant être retrouvé dans des zones relativement éloignées des régions infestées. Cela peut impacter les personnes allergiques, notamment pour les allergies dont les symptômes peuvent se déclencher à de faibles concentrations, comme c'est le cas pour le pollen d'ambroisie (Prank *et al.* 2013, Zink *et al.* 2012). Dans Zink *et al.* (2012), sur un épisode de septembre 2006, jusqu'à 20% des grains de pollen d'ambroisie modélisés en Allemagne provenait de Hongrie. Prank *et al.* (2013) montrent également que des concentrations importantes de pollen d'ambroisie pouvaient être constatées occasionnellement partout en Europe. La modélisation se révèle un outil particulièrement intéressant pour simuler ou prévoir les concentrations de pollens dans l'air, dans les zones infestées mais aussi en dehors.

3.3.1 Généralités concernant la modélisation des pollens

Un modèle est une technique de représentation mathématique et numérique de phénomènes qui peuvent être de nature physique, chimique ou biologique. Les modèles sont développés à des fins de simulation de ces phénomènes. On distingue deux grands types de modèle : les modèles statistiques et les modèles déterministes.

Les modèles statistiques sont exploités principalement pour les besoins de la prévision. Ils sont basés sur une analyse approfondie des données passées afin d'établir des relations entre la météo ou d'autres variables explicatives et les concentrations d'intérêt.

Les modèles déterministes quant à eux sont une représentation mathématique des processus de dispersion et de diffusion dans l'atmosphère. Dans le cas de la pollution atmosphérique, les transformations chimiques des polluants sont également représentées.

3.3.1.1 Schéma général d'un système de modélisation

La modélisation de la dispersion atmosphérique repose sur le système de succession (ou de chaîne) de multiples modèles numériques permettant de caractériser la météorologie du domaine d'étude, les émissions, le transport et les transformations chimiques des polluants (s'ils sont réactifs) dans l'air (Figure 24). Cette chaîne s'applique tant pour un polluant chimique (d'origine anthropique) que pour un grain de pollen. La principale différence se situe au niveau de la donnée d'entrée « émissions » permettant de décrire la source du polluant d'intérêt. Dans le cas des pollens, cette donnée d'entrée correspond au cadastre de distribution de la plante.

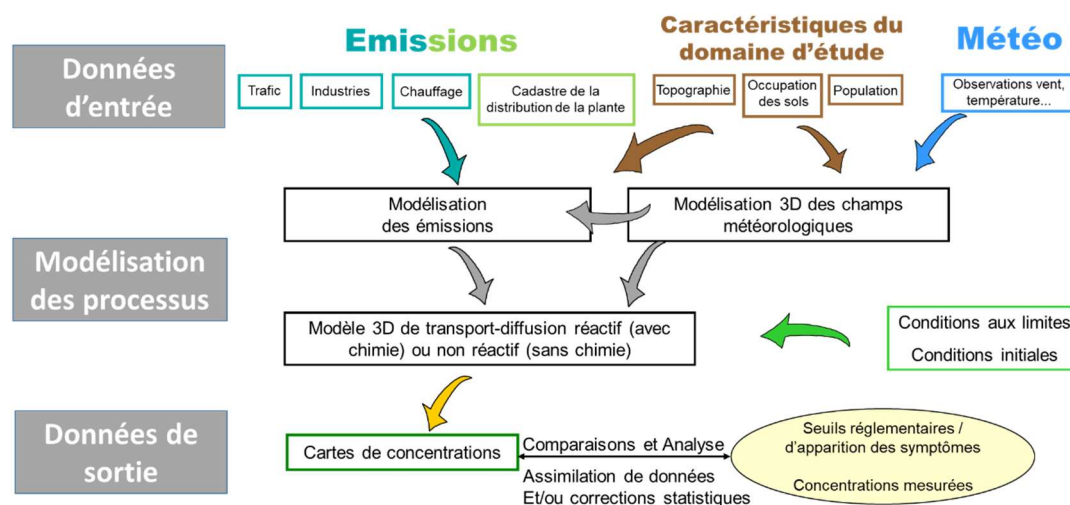


Figure 24. Principe général d'une chaîne de modélisation de dispersion atmosphérique

Les produits finaux issus de la chaîne de modélisation sont des cartographies de concentrations sur une grille plus ou moins large (représentant des points de latitude x longitude).

Les différents modèles intervenant dans la chaîne de modélisation pour le calcul de la météorologie, des émissions et de la dispersion des polluants reposent sur la connaissance des caractéristiques de la zone d'étude, en termes de situation géographique (topographie, occupation des sols, démographie, position par rapport aux métropoles, etc.) et de sources de pollution (inventaires des émissions pour les polluants usuels gazeux ou particuliers et cadastre de distribution de la plante pour les pollens). Les champs météorologiques et les émissions sur la zone d'étude alimentent le modèle de dispersion des polluants permettant d'obtenir les champs de concentration. Les champs de concentrations finaux sont obtenus en prenant également en considération les concentrations en provenance de l'extérieur de la zone d'étude (rectangle vert).

3.3.1.2 Météorologie

Deux approches existent pour la modélisation météorologique. Une approche *off-line* dans laquelle la modélisation météorologique est découplée de la modélisation de la dispersion atmosphérique (Sofiev *et al.* 2015). Et une approche *on-line* dans laquelle le calcul de la météorologie et le calcul de la dispersion atmosphérique sont couplés, permettant ainsi de modéliser les interactions entre la météorologie et les aérosols (Zink *et al.* 2012).

La modélisation de la météorologie du domaine d'étude peut être issue de modèles à l'échelle globale comme ECMWF-IFS (Sofiev *et al.* 2015). Ce modèle est notamment exploité par 6 systèmes de modélisation sur 7 dans le cadre de la prévision d'ensemble mise en place par le service de surveillance de la qualité de l'air en Europe de Copernicus¹³. Il existe également des modèles météorologiques régionaux, comme MM5 (*5th generation mesoscale model*) (Pietrowicz et Pasken) ou WRF (*Weather Research and Forecasting*) (Atmo Rhône-Alpes 2010, Sofiev *et al.* 2015).

Les exemples de modèle cités ci-dessus sont exploités de manière opérationnelle depuis de nombreuses années pour les besoins de prévision météorologique ou de qualité de l'air. Leurs incertitudes sont connues et maîtrisées ; elles peuvent concerner, par exemple, les vitesses de vent, la température, l'humidité, ou les précipitations.

3.3.1.3 Émissions

Dans le cas de la dispersion des polluants atmosphériques (chimiques ou biologiques), les inventaires des émissions sont reconnus comme une des sources d'incertitudes les plus importantes. Dans le cas des pollens, la qualité des résultats finaux est fortement dépendante de la qualité des données d'émissions (Skjøth *et al.* 2010) qui reposent sur une cartographie détaillée et à jour de la distribution géographique de la plante et sur la modélisation des processus aboutissant à l'émission des grains de pollen.

3.3.1.4 Dispersion

La modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants usuels gazeux et particuliers est désormais bien connue. Les modèles sont éprouvés et validés ; les incertitudes qui leur sont associées sont connues et maîtrisées. En Ile-de-France, une première version du modèle CHIMERE était mise en place en opérationnel dès 1997, afin de prévoir les épisodes de pollution à l'ozone et au dioxyde d'azote.

La modélisation de la dispersion des pollens dans l'atmosphère est plus récente en Europe et repose sur l'adaptation des modèles développés et utilisés pour les polluants usuels. Ces

¹³ <https://www.regional.atmosphere.copernicus.eu/>

modèles traitent généralement le grain de pollen comme un aérosol chimiquement inerte, dont la dispersion ne dépend que de son diamètre aérodynamique et de sa densité (Prank *et al.* 2013). La modélisation de la dispersion des pollens se concentre sur l'échelle régionale en raison de la multiplicité des sources et du caractère diffus des émissions – l'échelle locale traitant de l'impact direct de sources spécifiques n'a que peu d'intérêt.

C'est à partir de 2006 que le modèle de chimie-transport SILAM (*System for Integrated modeling of Atmospheric composition*) développé par le *Finnish Meteorological Institute*, et initialement utilisé pour les polluants usuels, a été adapté pour prévoir la dispersion des pollens sur l'Europe (Sofiev *et al.* 2006). Météo Suisse met en œuvre le modèle COSMO-ART (*Aerosols and Reactive Trace Gases*) depuis 2008, également à l'échelle de l'Europe. Il s'agit d'une extension du modèle météorologique COSMO (*Consortium for Small-scale Modeling*) développé par le service météorologique allemand pour modéliser les interactions entre aérosols et atmosphère (Vogel, Pauling, et Vogel 2008, Zink *et al.* 2012). D'autres modèles de dispersion, utilisés en opérationnel pour les polluants chimiques usuels, sont exploités dans le cadre de la dispersion des pollens : le modèle CHIMERE (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015), le modèle RegCM (*The Regional Climate Model system* développé par le *National Center for Atmospheric Research*) (Liu *et al.* 2016), et le modèle lagrangien HYSPLIT (développé par la *National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Pasken et Pietrowicz 2005).

Le service COPERNICUS fournit, à titre expérimental, des prévisions pour quatre pollens : le bouleau, les graminées, l'olivier et l'ambroisie. Ces prévisions sont réalisées en coopération avec l'EAN (*European Aeroallergen Network*, le réseau européen des aéroallergènes) collectant les comptages polliniques de plusieurs états membres de l'UE. Les modèles opérés sont : CHIMERE (INERIS/IPSL), SILAM (FMI), MOCAGE (Météo-France), EMEP (MET Norway), LOTOS-EUROS (KNMI-TNO), MATCH (SMHI), et EURAD-IM (Université de Cologne).

3.3.1.5 Couplage modèle-mesures

Les méthodes de modélisation s'améliorent d'années en années pour permettre de fournir les prévisions opérationnelles les plus fiables possibles. L'analyse, la calibration, l'assimilation et/ou la correction des données de sorties sont des étapes clés de la chaîne de modélisation, et permettent d'améliorer la qualité et la fiabilité de ces données. Dans cette optique, le couplage des approches déterministes et des approches statistiques (par exemple, *machine learning*) a largement été utilisé (Malherbe *et al.* 2017). De la même manière, les méthodes d'assimilation, couplant des mesures sur le terrain aux sorties modélisées, permettent de caractériser avec une plus grande précision la pollution atmosphérique chimique ou biologique (Blond 2002), améliorant ainsi les prévisions. Dans le cas des pollens en France, il s'agirait de comparer les données de sorties modélisées aux comptes polliniques obtenus aux stations de mesures du RNA.

Par ailleurs, l'utilisation des bases de données de mesures de pollen est un moyen performant de calibration des termes sources (distribution de la plante et processus d'émission) compte-tenu des incertitudes importantes qui leur sont associées.

3.3.2 Modélisation de la distribution spatiale de l'ambroisie

L'une des sources d'incertitudes majeure pour la modélisation de la dispersion des pollens est la distribution spatiale de la plante (Prank *et al.* 2013, Zink *et al.* 2017). Dans la littérature traitant de l'ambroisie, trois approches principales sont suivies pour construire les cartographies de distribution spatiale de l'ambroisie ; elles ont été comparées et confrontées par Zink *et al.* (2017).

La première approche est basée sur un inventaire de la plante. On parle d'approche *bottom-up* (ascendante) en ce sens que la distribution est construite sur la base d'observations ou de signalements sur le terrain.

La seconde approche exploite les comptes polliniques obtenues en stations couplés à des données d'occupation des sols. Elle est dite *top-down* (descendante) car la mesure des pollens est utilisée comme donnée d'entrée pour obtenir une cartographie de la source émettrice. Trois publications permettent de suivre l'évolution méthodologique de cette approche, pour aboutir finalement à la création d'un inventaire européen de l'ambroisie (Skjøth *et al.* 2019).

La troisième approche est basée sur la modélisation de la prolifération de la plante, avec l'utilisation de modèles écologiques de l'ambroisie. Ces modélisations sont particulièrement exploitées pour l'élaboration de scénarios (futurs) de prolifération de la plante en lien avec le changement climatique (Chapman *et al.* 2016, Hamaoui-Laguel *et al.* 2015) ou avec la mise en place de politiques de contrôle ou de gestion (Richter *et al.* 2013).

3.3.2.1 Distribution spatiale de l'ambroisie sur la base de l'inventaire de la plante

En Europe

Dans le cadre du projet *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe* financé par la Commission Européenne, la distribution de l'ambroisie dans 27 pays membre de l'union Européenne a été cartographiée (Bullock *et al.* 2013).

Les données de distribution de l'ambroisie ont pu être récupérées sur un grand nombre de territoires européens grâce à la participation d'experts nationaux de chaque pays. Ces données ont été soumises à un contrôle qualité puis ont été normalisées dans le système géodésique mondial de 1984 (WGS84). La qualité des données collectées variait fortement selon leur type et les pays (Figure 25). Les plus précises incluaient des informations ponctuelles géo-référencées tandis que d'autres incluaient des informations de signalement agrégées sur une grille plus ou moins large (méthode utilisée pour les flores dans un certain nombre de pays) ou tout simplement des descriptions anecdotiques de signalements. La carte décrivant la qualité des données par pays permet en particulier d'évaluer la fiabilité de ces dernières lors d'une éventuelle exploitation en tant que donnée d'entrée d'un modèle d'émission des pollens (Figure 26).

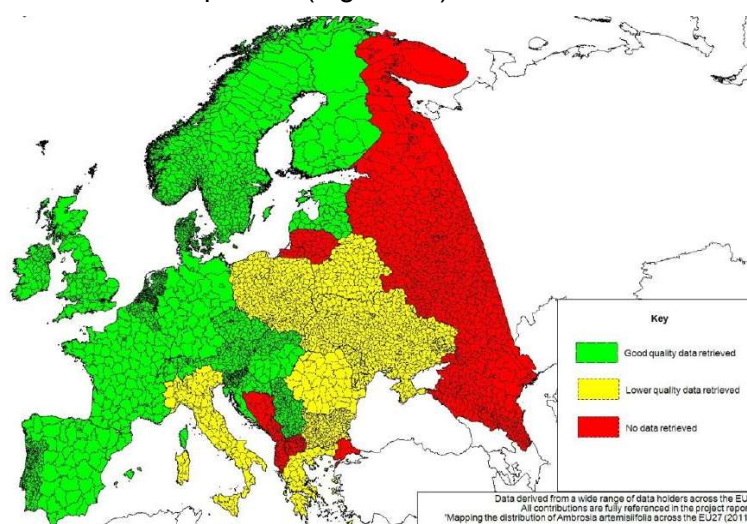
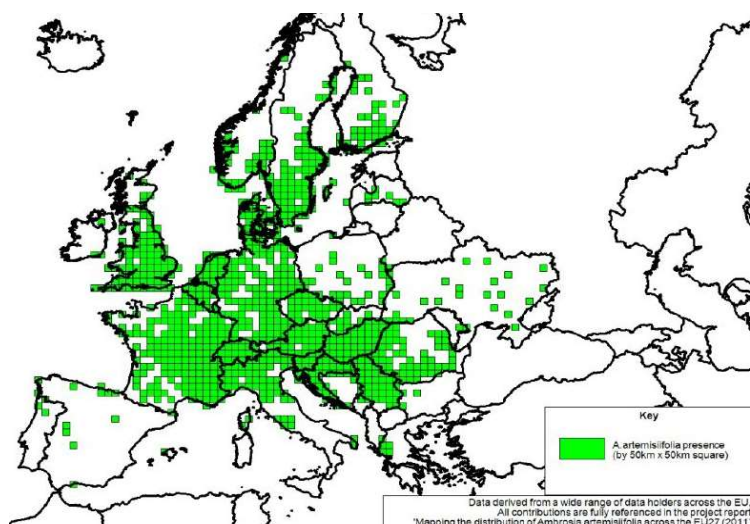


Figure 25. Qualité des données collectées sur la distribution de l'ambroisie à feuille d'armoire en Europe (Bullock *et al.* 2013)

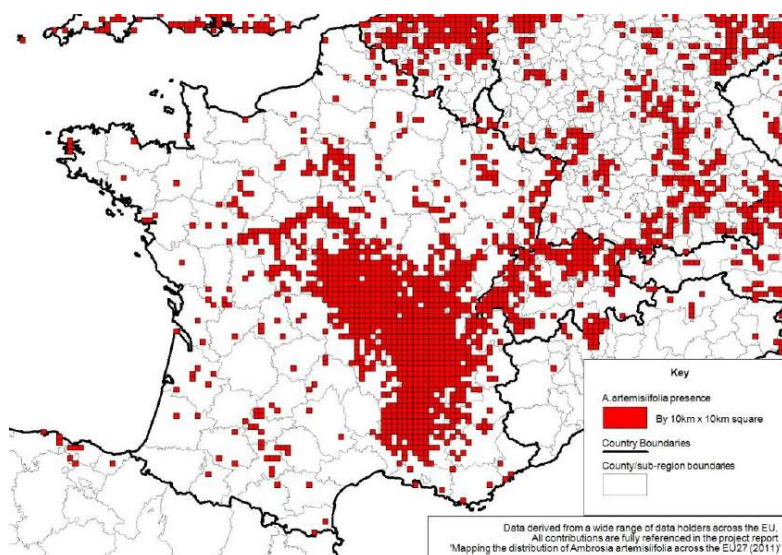
Vert : données de bonne qualité. Jaune : données de basse qualité. Rouge : absence de données.



Les cartes de distribution géographique de l'ambroisie obtenues à l'issue de la collecte considéraient une résolution de 50x50 km sur l'Europe entière et une résolution de 10x10 km pour chacun des pays, chaque maille reflétant la présence ou l'absence d'ambroisie sur la zone (Figure 26 et Figure 27). Une estimation grossière de la présence de la plante a été déduite en comptant le nombre de mailles de 10x10 km contenues dans les mailles de 50x50 km (Figure 28). En fonction des années de signalements, des cartes retraçant la prolifération de l'ambroisie en Europe ont également été produites (Figure 29).

Ces cartes représentent une bonne synthèse de la distribution spatiale de l'ambroisie à l'échelle européenne mais incluent de nombreuses limites :

- La qualité des données exploitées pour produire ces cartes reste très variable selon les régions et les pays (Figure 25). Par exemple, en Italie et en Grèce, les distributions à la résolution de 10x10 km n'ont pu être produites en raison de la résolution trop grossière des données collectées.
- Les données ne permettent pas de distinguer la présence établie de la présence fortuite, mais décrivent uniquement la présence ou l'absence.
- Certaines données ont été difficiles à analyser parce que renseignées de manière incomplète.
- L'approche utilisée pour produire la carte de l'abondance de l'ambroisie ne donne qu'un résultat grossier et peu précis.



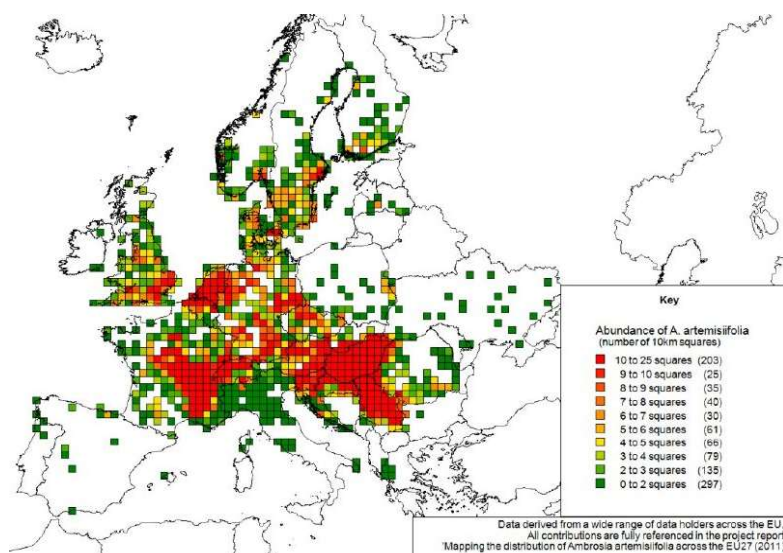


Figure 28. Carte de distribution de l'abondance de l'ambroisie à feuille d'armoise en Europe (Bullock et al. 2013)

Les carrés colorés représentent le nombre de mailles de 10x10 km pour lesquelles l'ambroisie est présente sur la zone (50x50 km).

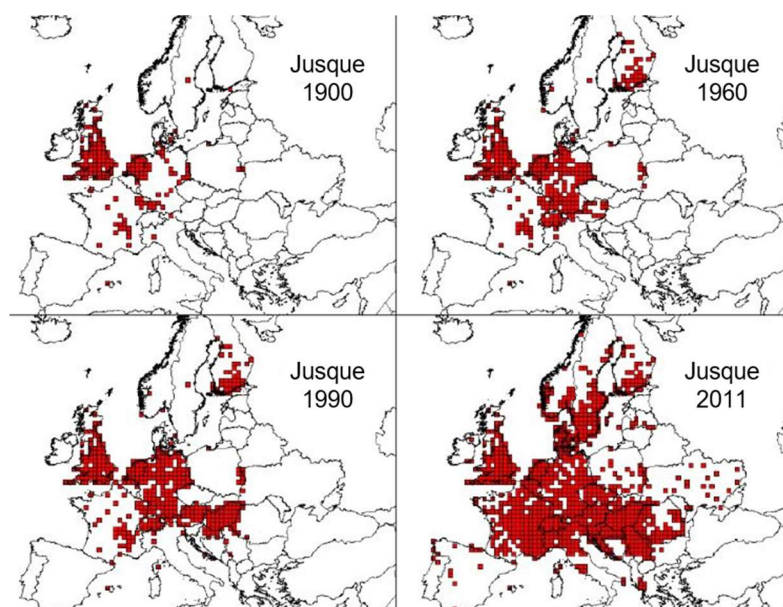


Figure 29. Cartes retraçant la prolifération de l'ambroisie en Europe depuis 1900 (Bullock et al. 2013)

Les carrés rouges représentent la présence de l'ambroisie à feuille d'armoise sur la zone (50x50 km).

En France

Depuis 2007, l'Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA¹⁴) Atmo Rhône-Alpes (puis Auvergne-Rhône-Alpes) développe et utilise une chaîne de modélisation des concentrations de pollen d'ambroisie basée sur des données d'entrée jugées précises et fiables (Atmo Rhône-Alpes 2010, Guillaud 2017). Ces données d'entrées sont issues de la combinaison des signalements et de l'occupation des sols.

Tout d'abord, une carte de la densité des signalements de la plante sur une grille de 5x5 km a été construite après collecte et harmonisation des inventaires botaniques de plusieurs organismes (Figure 30). Les signalements accumulés sur plusieurs années ont dû être intégrés afin d'obtenir une représentativité suffisante – l'évolution de la propagation ou la disparition de la plante sur la période d'intégration ne peut être prise en compte. Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dresse ensuite une carte de présence potentielle de la plante (avec des probabilités de présence) en croisant les signalements avec l'altitude et l'occupation des

¹⁴ Organisme français agréé par le ministère de l'Environnement pour la surveillance de la qualité de l'air.

sols issue de la base de données *Corine Land Cover* (Figure 31). Le croisement de la densité de signalement avec la probabilité de présence permet d'augmenter la résolution spatiale de la carte de probabilité de présence de la plante (Figure 32).

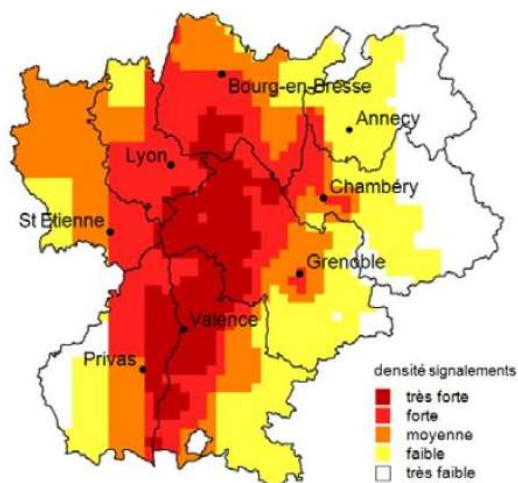


Figure 30. Densité des signalements d'ambroisie en région Rhône-Alpes (Atmo Rhône-Alpes 2010)

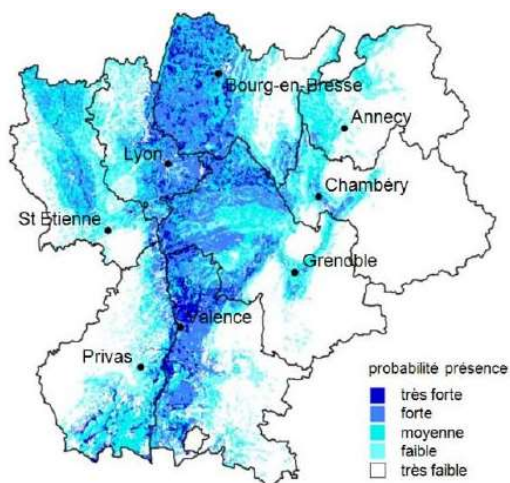


Figure 31. Probabilité de présence de l'ambroisie en région Rhône-Alpes en fonction des critères d'altitude et d'occupation des sols (Atmo Rhône-Alpes 2010)

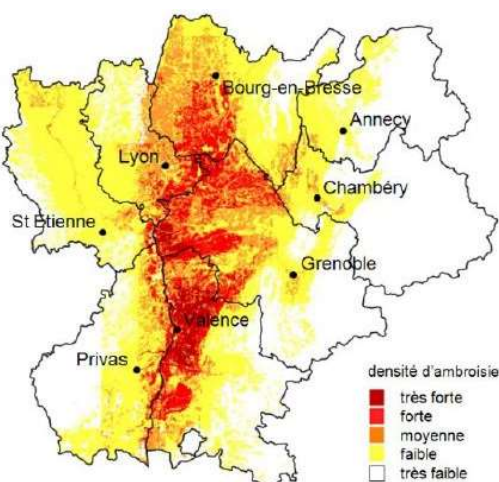


Figure 32. Densité probable d'ambroisie en région Rhône-Alpes (Atmo Rhône-Alpes 2010)

Le croisement avec l'occupation des sols opéré par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes confirme la forte présence de la plante (probabilité de présence >40%) au niveau des zones agricoles (Skjøth *et al.* 2019). De même, la plante est bien présente en bord de cours d'eau avec une probabilité de présence de 15% à 20%. En revanche, la probabilité de présence en zone urbaine est très faible (<5%), malgré l'existence de sols favorables à sa prolifération (classés urbain discontinu, zones industrielles, routes, rails) (Skjøth *et al.* 2019). L'utilisation de l'altitude montre que la probabilité de présence d'ambroisie est également très faible (<10%) au-delà de 750 mètres d'altitude.

Ces cartographies ont été améliorées au cours du temps en intégrant les données issues de l'inventaire national des sources d'ambrosies de la Fédération de Conservatoires Botaniques Nationaux (FCBN) et en exploitant les données de culture au niveau des communes fournies par l'AGRESTE (service de la statistique et de la prospective du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation).

Limites de l'utilisation des inventaires de la plante

Les principales limites de l'utilisation de tels inventaires, en tant que donnée d'entrée dans la chaîne de modélisation, sont leur disponibilité limitée, leur complétion parfois douteuse, la comparabilité des données et la temporalité des informations (Zink *et al.* 2017). Par exemple, les inventaires forestiers ne couvrent que les forêts et les signalements ponctuels par la population générale ne sont pas toujours authentifiés. Par ailleurs, les méthodes de recueil de l'information contenue dans les inventaires peuvent être différentes entre organismes et régions (ou pays) provoquant ainsi des disparités dans la quantité ou le type de détails disponibles (information binaire de présence ou d'absence, nombre exact de plantes, présence fortuite ou plante installée, etc.).

3.3.2.2 Distribution spatiale de l'ambroisie sur la base d'une approche descendante (top-down)

En 2010, Skjøth *et al.* (2010) décrivent pour la première fois une approche descendante (ou *top-down*) mise en œuvre pour cartographier la distribution de l'ambroisie sur la plaine de Pannonie en Hongrie, une des trois régions d'Europe les plus infestées – avec la vallée du Rhône en France et la plaine du Po en Italie. La plaine de Pannonie est entourée par les massifs des Carpates, l'arc alpin et les massifs montagneux des Balkans. Plusieurs publications témoignent des améliorations apportées à la méthode *top-down* au fil du temps. Bien que cette méthode ait été exploitée pour cartographier la distribution de l'ambroisie, elle peut être appliquée, de manière générale, à toute espèce végétale.

L'approche descendante se base sur l'exploitation des comptes polliniques couplés à des données d'occupation des sols. La méthodologie repose sur 4 hypothèses :

- La quantité de pollen enregistrée peut être considérée comme représentative des émissions de la plante sur une aire géographique de 30 km autour de la station de mesure. Cette distance de 30 km reflète grossièrement la zone de captation des pollens et est basée sur la distance que peut parcourir un pollen en une journée (Skjøth *et al.* 2010).
- La quantité de pollen mesurée est représentative du nombre de plantes sur une aire géographique de 30 km autour de la station.
- L'ambroisie se développe fortement dans certains types d'habitats et faiblement dans d'autres.
- Il est possible d'interpoler un niveau d'infestation sur une aire géographique homogène.

Première application sur la plaine de Pannonie

Le schéma général de l'approche descendante proposée par Skjøth *et al.* (2010) est visible en Figure 33. Les auteurs énumèrent tout d'abord les conditions favorables ou nécessaires au développement de l'ambroisie en lien avec l'habitat : la disponibilité des graines dans le sol, son développement rapide sur des sols fortement et fréquemment perturbés (berges des rivières, routes, ou chantiers de construction), et sa difficulté à se développer sur des sols occupés (centres urbains, forêt, ou lacs). Sur cette base, les données d'occupation des sols *Corine Land Cover* sont utilisées pour définir les zones d'habitat potentiel de l'ambroisie dans un rayon de 30 km autour de 19 stations de mesures instrumentées de manière identique dans la plaine de Pannonie. Les distributions des espèces autour des stations sont interpolées sur l'ensemble des habitats potentiels de la Pannonie par des splines cubiques contraintes entre 0 et 100. La grille de rendu coïncide avec la grille de résolution 50x50 km d'EMEP (programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe, *European Monitoring and Evaluation Programme*).

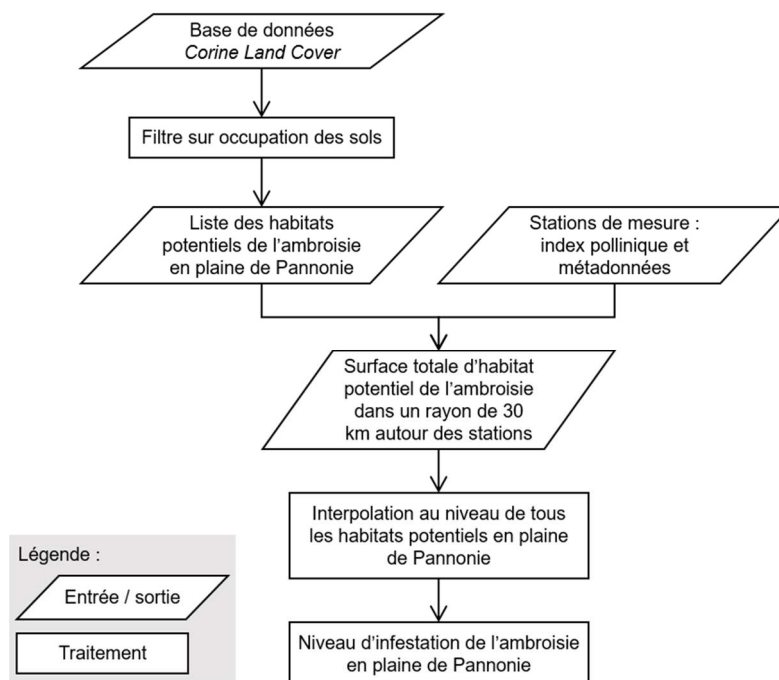


Figure 33. Algorithme général de production de la cartographie de la distribution de l'ambrosie en plaine de Pannonie par une approche descendante (Skjøth et al. 2010)

Les auteurs obtiennent ainsi une indication de la densité (en %) d'habitats potentiels pour la prolifération de l'ambrosie dans chacune des mailles recouvrant la plaine de Pannonie (Figure 34). La combinaison des comptes polliniques mesurés en station avec cette indication d'habitats potentiels permet de modéliser le taux d'infestation par l'ambrosie (en %) sur la zone, reflétant ainsi l'inventaire de la plante (Figure 35). Le niveau d'infestation maximal modélisé (100%) est identifié en Hongrie centrale (autour de Kecskemét) et à Novi Sad dans le nord de la Serbie, alors que les niveaux les plus bas (14,7%) sont identifiés à Budapest.

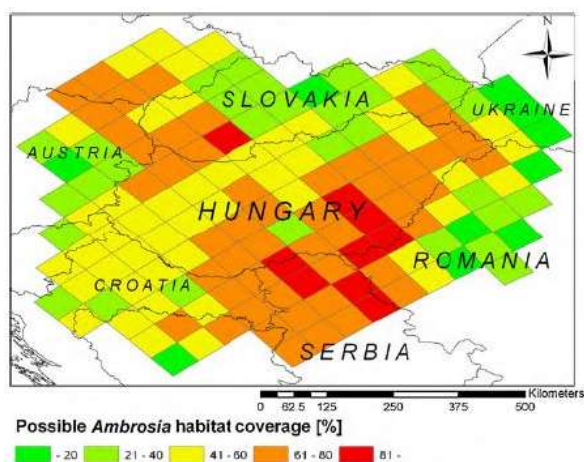


Figure 34. Densité des habitats potentiels de l'ambrosie dans la plaine pannonienne sur une grille de 50x50 km (Skjøth et al. 2010)

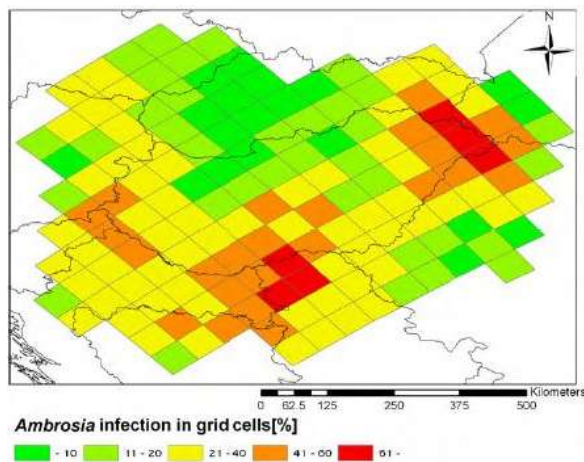


Figure 35. Taux d'infestation par l'ambrosie dans la plaine pannonienne sur une grille de 50x50 km (Skjøth et al. 2010)

Une validation croisée est ensuite utilisée pour tester la robustesse des cartes produites vis-à-vis de l'échantillonnage des stations de mesures utilisées dans le processus – permettant ainsi de valider la méthodologie proposée. Il s'agit d'une technique standard utilisée lorsqu'un ensemble de validation indépendant n'est pas disponible. Elle consiste en un processus itératif d'exclusion des données mesurées des stations, une à une, et de calcul du résultat du processus d'interpolation au niveau de la station retirée. Le résultat de ce calcul et la donnée

retirée sont comparés pour évaluer la robustesse de la méthodologie. Avec cette technique, les auteurs mettent en évidence la faible sensibilité (<20%) des résultats à l'inclusion des stations, sauf pour 3 stations de mesure (sur les 19 exploitées). Pour ces 3 stations, deux explications sont avancées : l'influence de sources très locales limitant la représentativité des mesures à l'échelle régionale de la grille et la couverture géographique limitée dans certaines zones – notamment en Croatie où il n'existe qu'un site. En retirant ces 3 stations de l'analyse, l'erreur quadratique moyenne est réduite à 15% (vs. 25% si les 19 stations sont utilisées) et la corrélation spatiale augmentée à 0,69 (vs. 0,37 si les 19 stations sont utilisées).

Une des limites de la méthode proposée par Skjøth *et al.* (2010) tient à ce que l'index pollinique annuel utilisé reflète à la fois l'impact de pollens émis localement ainsi que le transport de pollens émis depuis des zones distantes. Néanmoins, les épisodes de transport longue distance restent généralement marginaux ; leur influence est donc supposée réduite. Une seconde limite de la méthode est liée à la couverture du domaine d'étude par les stations de mesure. Dans cette première utilisation de l'approche descendante, les comptes polliniques n'avaient pas pu être récupérés pour l'Ukraine et un seul site de mesure était disponible pour la Croatie. Une troisième limite est liée à l'évolution de l'occupation des sols au cours du temps, notamment en lien avec la gestion des sols agricoles et l'urbanisation, qui doit être prise en compte annuellement dans le processus. De manière similaire, la prolifération de l'ambroisie au cours du temps pourrait accroître la probabilité de présence de la plante dans des zones jusque-là jugées non favorables, comme les zones de végétation non agricoles ou les prairies naturelles.

Amélioration et application à la France et à l'Italie

L'approche descendante décrite par Skjøth *et al.* (2010) a ensuite été appliquée en France par Thibaudon *et al.* (2014). Le schéma général (Figure 33) a été suivi avec l'ajout d'une donnée supplémentaire : l'altitude. L'intégration de l'altitude dans l'analyse (en complément de l'occupation des sols) a permis d'améliorer la définition des habitats potentiels de l'ambroisie. Ce critère exploite les données de présence obtenues auprès du Conservatoire botanique national du Bassin Parisien et les données relatives à l'altitude mises à disposition par CGIAR *Consortium for Spatial Information*. Le seuil de présence correspond à la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 99% de la distribution de l'altitude des signalements de la plante sur le territoire, soit 439 mètres d'altitude (Figure 36).

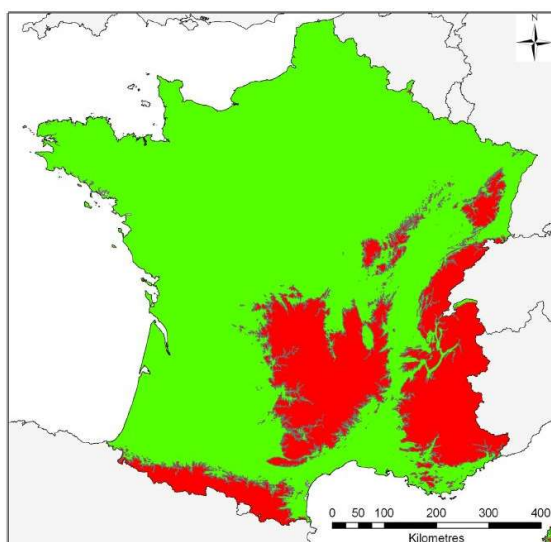


Figure 36. Habitats potentiels pour l'ambroisie définis selon l'altitude (Thibaudon *et al.* 2014)

Les zones en rouge représentent les habitats précaires pour l'ambroisie.
Les zones en vert représentent les habitats potentiels pour l'ambroisie.

Thibaudon *et al.* (2014) ont ainsi cartographié le taux d'infestation de l'ambroisie en France à partir de 249 index polliniques annuels (correspondant à une moyenne de 8,5 années de mesures des niveaux de pollens pour 29 stations représentées en Figure 37 et Tableau 3). La carte de la densité (en %) d'habitats potentiels pour la prolifération de l'ambroisie en France est visible en Figure 38.

Tableau 3. Liste des 29 stations de mesures de pollens utilisées pour cartographier le taux d'infestation de l'ambrosie en France et taux d'infestation calculés (Thibaudon et al. 2014)

Site	Lat	Lon	Mean pollen index	Local infection level %	European infection level %	Analysed years (n)
Agen	44°12N	0°36E	41	0.42	0.29	8
Aix-en-Provence	43°22N	05°27E	250	7.02	4.75	13
Amiens	49°54N	02°16E	6	0.06	0.04	23
Angers	47°30N	00°35W	11	0.15	0.10	8
Angoulême	45°38N	0°09E	158	1.95	1.32	4
Avignon	43°57N	04°50E	365	4.34	2.94	7
Bayonne	43°21N	01°28W	4	0.28	0.16	8
Bordeaux	44°50N	0°34W	25	0.44	0.30	23
Bourg-en-Bresse	46°13N	05°12E	651	11.93	8.08	4
Bourges	47°09N	02°25E	452	6.06	4.10	1
Castres	43°36N	2°14E	41	0.82	0.56	6
Chalon-sur-Saône	46°48N	04°50E	217	3.71	2.51	16
Cholet	47°03N	0°52W	9	0.10	0.07	22
Clermont-Ferrand	45°46N	03°04E	185	5.59	3.78	19
Coux	44°45N	04°37E	524	16.49	11.16	4
Grenoble	45°12N	05°42E	257	12.77	8.64	19
Lyon	45°45N	04°50E	1304	17.97	12.17	23
Montluçon	46°22N	02°36E	149	4.73	3.20	21
Nancy	48°41N	06°11E	23	0.52	0.30	25
Nevers	47°0N	03°09E	766	19.68	13.32	6
Paris	48°51N	2°21E	11	0.13	0.09	24
Perpignan	42°41N	2°53E	25	0.55	0.38	17
Pontivy	48°03N	2°58W	14	0.08	0.05	6
Roussillon	45°23N	4°50E	5374	100.00	67.70	8
Saint-Etienne	45°27N	4°22E	177	12.38	8.38	19
Strasbourg	48°34N	7°44E	19	0.23	0.16	23
Toulouse	43°36N	1°26E	47	0.45	0.30	23
Troyes	48°17N	4°04E	18	0.22	0.15	5
Vichy	46°9N	3°26E	340	6.74	4.56	3

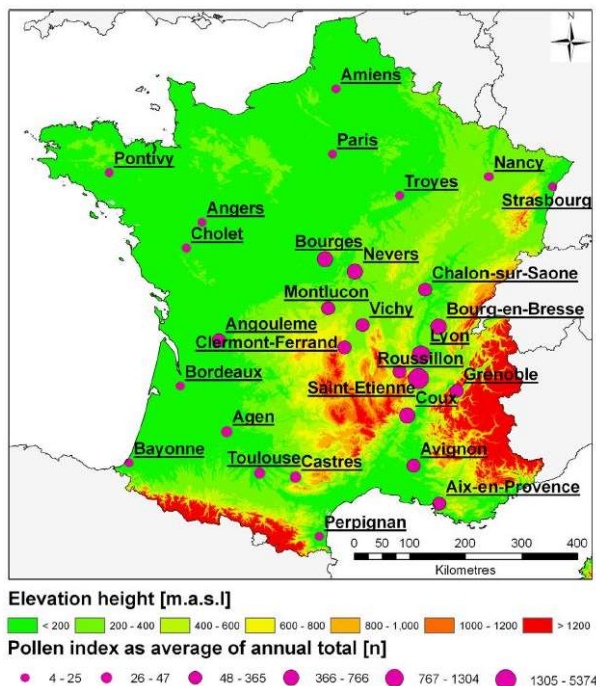


Figure 37. Cartographie des 29 stations de mesures françaises prises en compte pour cartographier le taux d'infestation de l'ambrosie en France par une approche descendante (Thibaudon et al. 2014)

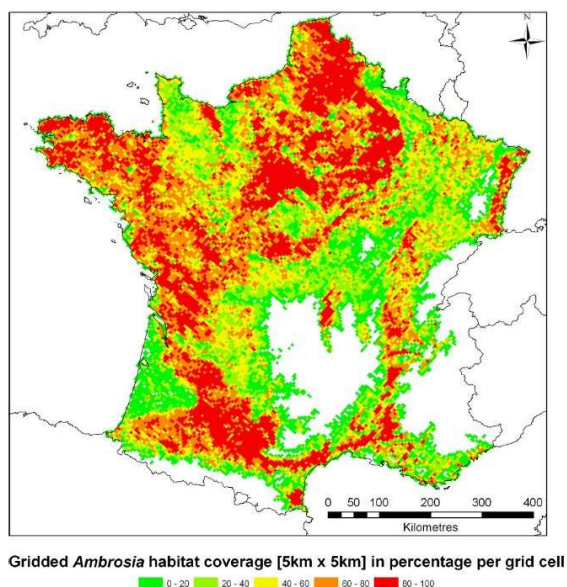


Figure 38. Densité (%) des habitats potentiels de l'ambrosie en France sur une grille de 5x5 km (Thibaudon et al. 2014)

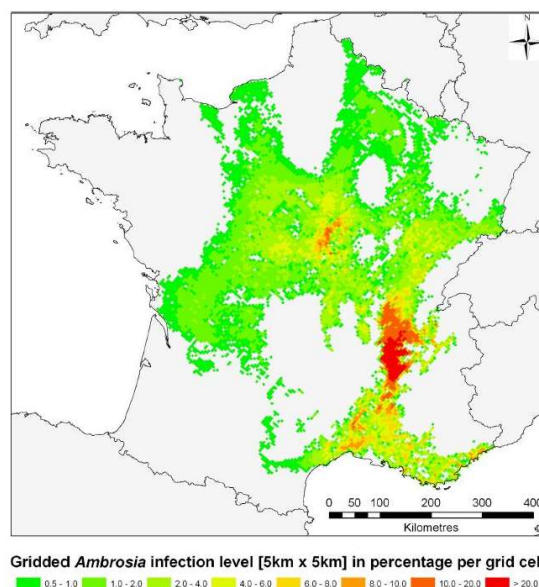


Figure 39. Taux d'infestation « européen » (%) par l'ambrosie en France sur une grille de 5x5 km (Thibaudon et al. 2014)

Comme précédemment, la combinaison des comptes polliniques avec les cartes d'altitude et d'habitats potentiels a permis de modéliser le taux d'infestation « local » par l'ambrosie (en %) en France. Un taux d'infestation dit « européen » a également été calculé en considérant l'infestation maximale observée à Kecskemét en Hongrie centrale comme valeur de référence (Figure 39). Ce changement d'échelle permet de rendre les cartes directement comparables

entre les régions d'études. Ainsi, en France, le taux d'infestation « local » varie de 0% à 100% (à Roussillon par rapport au reste du territoire français) alors que le taux d'infestation « européen » varie de 0% à 67% (à Roussillon par rapport à Kecskemét en Hongrie). La plaine de Pannonie est caractérisée par des plaines alluviales favorables à la prolifération de l'ambrosie à la fois de manière naturelle et par l'action de l'homme. Le niveau d'infestation y est homogène. En comparaison, la géographie française est plus hétérogène en termes de régions écologiques (topographie, influences maritimes et montagneuses). Ces considérations permettent d'expliquer l'infestation par l'ambrosie moins importante en France. La procédure de validation suivie dans Thibaudon *et al.* (2014) montre que les résultats sont robustes à l'échantillonnage des stations de mesure (variabilité des résultats <10%) et que la station Roussillon a un impact plus important que les autres – en raison des niveaux de pollens élevés qui y sont mesurés. L'erreur quadratique moyenne pour l'ensemble des stations est de 16%, associée à une corrélation spatiale de 0,25 entre la mesure et le résultat. Si la station Roussillon est exclue de l'analyse, l'erreur quadratique moyenne passe à 11% et la corrélation spatiale est accrue à 0,68.

Les limites dans l'élaboration de cet inventaire de l'ambrosie en France sont multiples. Tout d'abord, les données disponibles dans la base *Corine Land Cover* sont grossières ; la méthodologie serait consolidée en adoptant une échelle plus fine incluant les voies de communication (notamment routes, chemin de fer, et berges des rivières), le degré de fragmentation des champs et le type de culture (notamment cultures de printemps). Ensuite, l'approche descendante a été développée initialement sur la plaine de la Pannonie, région qui peut être considérée comme saturée avec peu ou pas d'extension possible de l'ambrosie. En France, en revanche, l'ambrosie est encore en phase d'expansion et l'inventaire développé par Thibaudon *et al.* (2014) ne donne qu'un aperçu ponctuel de l'infestation (en 2009). Enfin, les comptes polliniques utilisés dans le processus représentent à la fois les pollens émis localement et les pollens en provenance de régions éloignées, transportés par le vent.

La méthodologie utilisée par Thibaudon *et al.* (2014) a par ailleurs été appliquée en Italie, pour illustrer l'évolution au cours du temps du taux d'infestation par l'ambrosie dans la plaine de Po (Figure 40) (Bonini *et al.* 2018). La disparition de la plante observée pour la période 2013-2014 coïncide temporellement avec l'introduction accidentelle dans la zone du coléoptère *O. Communis*.

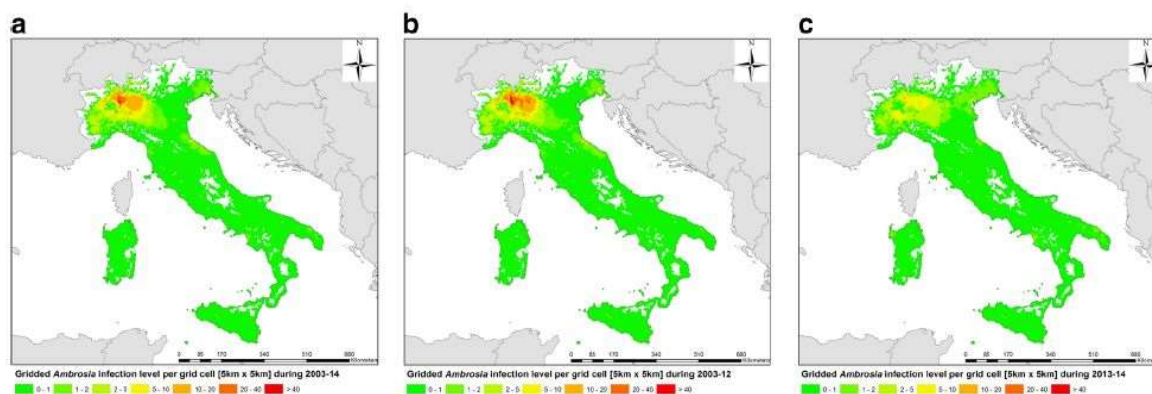


Figure 40. Taux d'infestation (%) par l'ambrosie en Italie sur une grille de 5x5 km pour trois périodes de temps : 2003-2014 (a), 2003-2012 (b), et 2013-2014 (c) (Bonini *et al.* 2018)

Extension à l'ensemble de l'Europe

La dernière amélioration apportée à l'approche descendante a permis de produire des cartographies d'inventaire de l'ambrosie sur l'ensemble de l'Europe aux résolutions de 10 km et 1 km (Skjøth *et al.* 2019). Cette analyse repose sur les mesures de 349 stations en Europe couvrant la période 2004-2012, combinées à la définition d'habitats favorables pour l'ambrosie à partir des données d'occupation des sols, d'altitude, et de dires d'experts (schéma général

de l'approche en Figure 41). La distribution spatiale des stations de mesure exploitées et les niveaux annuels de pollen mesurés dans chacune d'entre elles sont visibles en Figure 42.

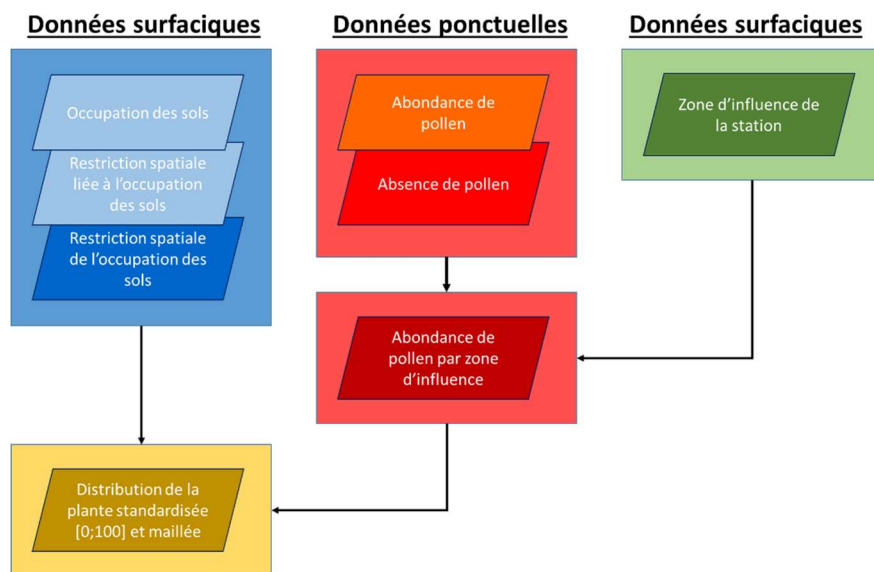


Figure 41. Schéma général illustrant la méthodologie de construction des cartes de distribution de l'ambroisie en Europe (Skjøth et al. 2019)

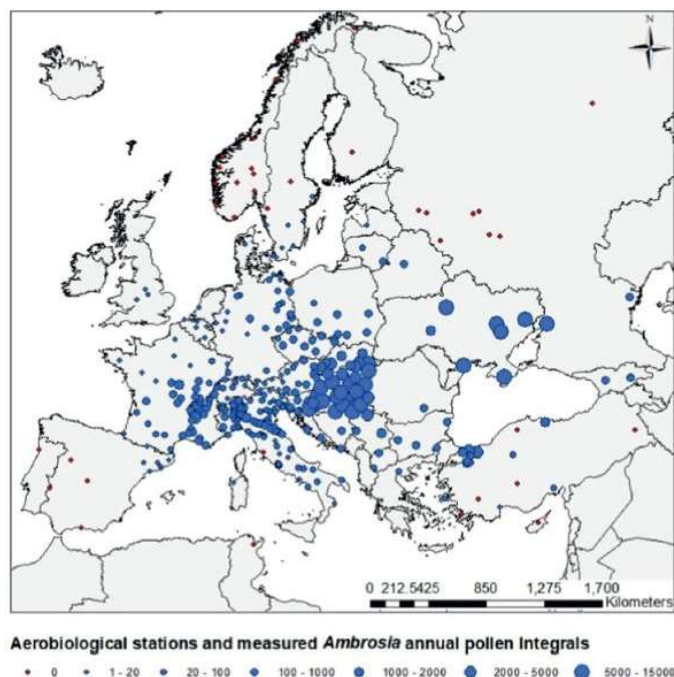


Figure 42. Stations de mesure exploitées pour la construction des cartes de distribution de l'ambroisie en Europe (Skjøth et al. 2019)

L'habitat favorable à l'ambroisie est construit sur la base de deux sources d'occupation des sols : la base de données *Corine Land Cover* sur l'Europe et la base de données *Globcover* – qui propose une résolution plus grossière et des données moins précises mais couvre des zones fortement infestées comme l'Ukraine et la Russie. La définition des habitats favorables à l'ambroisie a été réalisée sur la base de dires d'experts et inclut des indicateurs tels que le tissu urbain discontinu, les réseaux routiers et ferroviaires, chantiers de construction, les espaces verts urbains, les terres agricoles, et les prairies. Les indicateurs utilisés pour définir les habitats varient en fonction de la zone géographique : Autriche, France, Italie, plaine Pannonienne, République Tchèque, et autres zones. Les régions non couvertes par la base de données *Corine Land Cover* ont été catégorisées en : Nord (régions pour lesquelles la

classe urbaine est définie comme la classe favorable à l'ambrosie) et Sud (régions pour lesquelles la classe agricole et la classe urbaine sont considérées comme classes favorables). Cette catégorisation semble différencier l'infestation ponctuelle et non invasive (au Nord) de l'infestation dense et invasive (au Sud).

Un filtre supplémentaire sur l'altitude a été appliqué pour les habitats favorables. Une limite à 745 m a été définie pour l'ensemble de l'Europe, à l'exception de la France pour laquelle un seuil à 439 m a été utilisé – selon la publication de Thibaudon *et al.* (2014).

La méthode détaillée dans Skjøth *et al.* (2010) et Thibaudon *et al.* (2014) est appliquée pour obtenir la cartographie finale, à 1 km de résolution, du taux d'infestation par l'ambrosie à feuille d'armoise en Europe. Cet inventaire a ensuite été agrégé à 10 km de résolution à des fins de comparaison avec les données de densité de la plante (Figure 43).

La validation de la carte ainsi obtenue a été opérée par comparaison avec des inventaires existants sur l'Autriche et la Serbie basés sur des campagnes d'observation de présence ou d'absence de l'ambrosie. Une relation entre les 2 sources d'information est mise en évidence, avec un coefficient de détermination à 0,64. Une validation croisée a également été menée par les auteurs pour tester la robustesse de la cartographie finale à l'échantillonnage des stations de mesures. L'erreur quadratique moyenne était de 10,2%, associée à une corrélation spatiale de 0,74.

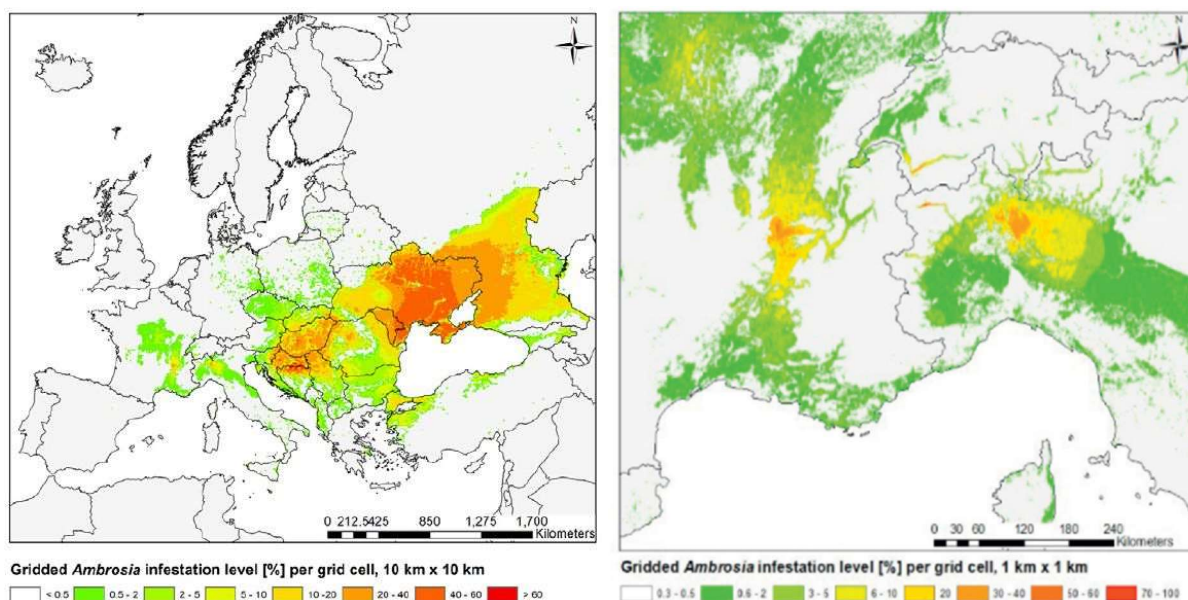


Figure 43. Taux d'infestation (%) par l'ambrosie en Europe sur une grille de 10x10 km (à gauche) et en France et en Italie sur une grille de 1x1 km (à droite) (Skjøth *et al.* 2019)

Limites de l'approche *top-down* pour élaborer les cartographies de distribution de l'ambrosie

La première limite est liée à l'utilisation de l'occupation des sols comme variable auxiliaire pour élaborer les cartographies car ces données peuvent se révéler insuffisamment précises (Thibaudon *et al.* 2014). Dans la base *Corine Land Cover* par exemple, les voies de communication telles que les routes, les chemins de fer ou les berges de rivières – vecteurs importants de prolifération de l'ambrosie – ne sont pas caractérisées finement. De la même manière, les perturbations des sols ou les modifications dans la gestion des sols agricoles qui peuvent apparaître annuellement ne sont pas prises en compte dans l'utilisation d'une base de données datant de plusieurs années (Skjøth *et al.* 2010).

Une autre limite tient à l'utilisation de données mesurées (index ou compte pollinique), reflétant à la fois les sources locales de pollens et le transport longue distance. L'approche descendante est donc difficilement applicable sur des zones où le transport grande distance représente la majorité des pollens mesurés.

La dernière limite évoquée par les auteurs est liée à la couverture spatiale du réseau de mesures (Skjøth *et al.* 2010). En effet, il doit être homogène et permettre une caractérisation globale de la « présence » de l'ambroisie sur l'ensemble du domaine étudié.

Perspectives

Une évolution de la méthode descendante de cartographie de la distribution de l'ambroisie pourrait utiliser une technique d'interpolation géostatistique du type krigeage avec dérive externe, permettant d'intégrer un ou plusieurs cofacteurs d'intérêt tels que la part d'habitat favorable sur la maille, les voies de communication, ou la part de culture envahie par l'ambroisie – les cultures impactées pourraient être considérées explicitement. Ces techniques, utilisées usuellement pour cartographier la pollution atmosphérique, permettent également de caractériser les incertitudes liées à la modélisation.

3.3.2.3 Distribution spatiale de l'ambroisie sur la base de modèles écologiques

Une autre approche permettant de représenter la cartographie de la distribution géographique de l'ambroisie est l'utilisation de modèles écologiques ou modèles de distribution des espèces (Leriche 2010).

Principe général

Ces approches de modélisation permettent de modéliser l'espace ou les variables environnementales qui sont favorables à la persistance de l'espèce ; elles ne modélisent pas directement la distribution de l'espèce ni sa niche écologique. Dans la famille des modèles écologiques, on en distingue deux types principaux : les modèles corrélatifs (ou empiriques ou statistiques) et les modèles mécanistes.

Les modèles corrélatifs ou empiriques sont basés sur des enregistrements (observations) de présence. Ils relient la distribution observée de l'espèce à des variables environnementales (variables explicatives). Ces modèles s'appuient sur un maillage des données biologiques et environnementales. Le schéma général d'élaboration d'un modèle corrélatif est fourni en Figure 44.

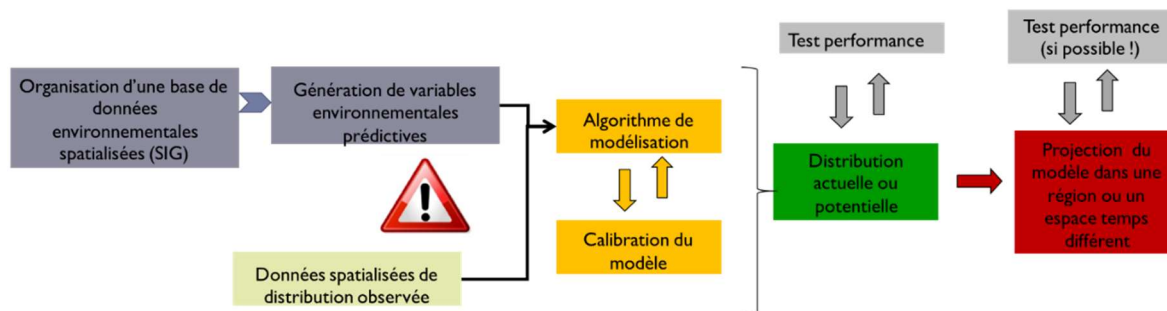


Figure 44. Etapes principales de génération d'un modèle corrélatif ou empirique (Leriche 2010)

Les enregistrements ou observations (données d'entrée) y sont classées en données biologiques, correspondant à des informations de présence ou de présence/absence – l'inclusion de données d'absence améliorant les performances de la modélisation. Les incertitudes sont généralement nombreuses sur ces données de présence : une identification incorrecte, un mauvais référencement spatial... De la même manière, la donnée d'absence peut être « fausse » si l'espèce était présente mais non détectée ou si l'espèce est réellement absente malgré un environnement favorable. La donnée d'absence n'est « vraie » que si l'environnement est non favorable.

Les données environnementales (variables explicatives) doivent être sélectionnées comme ayant un impact direct sur le comportement de l'espèce – sa physiologie. L'utilisation de variables indirectes peut en effet conduire à des erreurs. Les données environnementales les plus communément utilisées sont climatiques (températures, précipitations), topographiques,

et d'occupation des sols. Des données d'interaction biotiques peuvent également être introduites.

De nombreux algorithmes peuvent être exploités dans le cadre des modèles écologiques. On peut citer, par exemple, les modèles ENFA (*Ecological Niche Factor Analysis*) basés sur l'analyse en composante principale, les algorithmes génétiques, les réseaux de neurones, les modèles statistiques du type GLM (*Generalized Linear Model*), GAM (*Generalized Additive Model*) ou BRT (*Boosted Regression Tree*). La nature des données d'intérêt (d'entrée ou explicatives) a une influence sur le choix du modèle à utiliser. En effet, les variables catégorielles ne sont pas exploitables par tous les algorithmes.

Dans le cadre de la mise en place d'un modèle empirique, il est essentiel de différencier les données exploitées pour l'apprentissage de celles exploitées pour l'évaluation, approche permettant en particulier d'identifier un éventuel sur-apprentissage. Un ensemble de tests statistiques permettent de qualifier et évaluer la qualité du modèle, parmi lesquels on peut citer (notations issues de Tableau 4) :

- La sensibilité (ou TPR, *true positive rate*) définie par $\frac{a}{a+c}$: traduit la probabilité que le modèle donne un résultat positif (*i.e.* présence) lorsque l'hypothèse de présence est vérifiée ;
- La spécificité (ou TNR, *true negative rate*) définie par $\frac{d}{b+d}$: traduit la probabilité que le modèle donne un résultat négatif (*i.e.* absence) lorsque l'hypothèse d'absence est vérifiée ;
- Le critère AUC (*Area Under the Curve*) est défini comme l'aire sous la courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic*) représentant la sensibilité en fonction de la spécificité.

Tableau 4. Matrice de confusion permettant d'évaluer la qualité du modèle empirique

		Observations	
		Présence avérée	Absence avérée
Résultats du modèle	Présence prédite	a (vrai positif)	b (faux positif)
	Absence prédite	c (faux négatif)	d (vrai négatif)

Les modèles mécanistes intègrent des facteurs mécaniques physiologiques limitant la tolérance de l'espèce à l'environnement, tels que la résistance au gel, la phénologie ou les conditions de reproduction. Ces modèles reposent sur des processus formalisés sous forme mathématique ; ils ne dépendent pas directement d'observations ou données d'entrée, bien que ces dernières puissent être utilisées dans le cadre de la validation du modèle. L'application du modèle mécaniste nécessite donc une connaissance détaillée des réponses physiologiques de l'espèce d'intérêt aux facteurs environnementaux, et ce, aux différents stades de développement de la plante. Le principe général est décrit en Figure 45.

Deux projets européens ont utilisé les modèles écologiques pour évaluer l'impact du changement climatique sur la propagation de l'ambroisie en Europe : le projet *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe* et le projet ATOPICA.

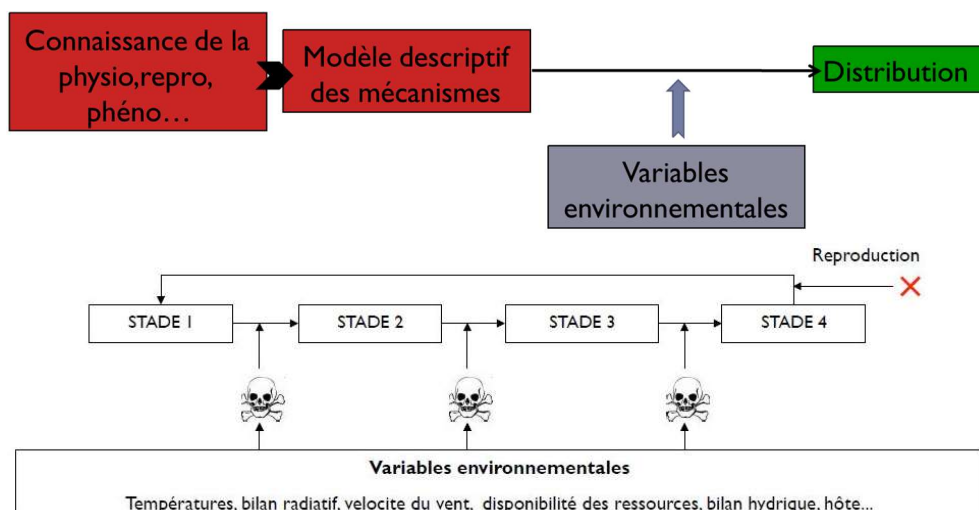


Figure 45. Fonctionnement d'un modèle mécaniste (haut) et influence des variables environnementales (bas)

Modèle écologique développé dans le cadre du projet *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe*

Un des objectifs du projet était d'estimer la prolifération de l'ambroisie selon différents scénarios (futurs) climatiques et politiques (Bullock *et al.* 2013). Pour modéliser cette prolifération, deux modèles ont été développés.

Le premier modèle est un modèle phénologique mécaniste qui prédit où l'ambroisie peut achever son cycle annuel avant sa mort par le gel en automne, c'est-à-dire identifier les zones dans lesquelles l'ambroisie peut pousser, monter en graine, fleurir, et libérer son pollen avant de mourir. Ce modèle a été développé pour l'Europe sur la base de travaux menés en Amérique du Nord permettant de prévoir le développement de l'ambroisie en fonction de la température et de la photopériode (Deen, Swanton, et Hunt 2001).

Le modèle considère que, à chaque heure, la température et la photopériode contribue à $r(T)\lambda(L)$ heures de développement de la plante où $r(T)$ correspond à la fonction de réponse à la température et $\lambda(L)$ correspond à la fonction de réponse à la photo-période (Figure 46) telles que :

$$\bullet \quad r(T) = \begin{cases} 0 & \text{si } T < T_{min} \\ \left(\frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} \left(\frac{T_{max} - T}{T_{max} - T_{opt}} \right)^{\frac{T_{max} - T_{opt}}{T_{opt} - T_{min}}} \right)^{C_T} & \text{si } T_{min} \leq T \leq T_{max} \\ 0 & \text{si } T > T_{max} \end{cases}$$

$$\bullet \quad \lambda(L) = f(x) = \begin{cases} \exp((L - 14.5) * \ln(1 - L_s)) & \text{si } L \geq 14.5 \\ 1 & \text{si } L < 14.5 \end{cases}$$

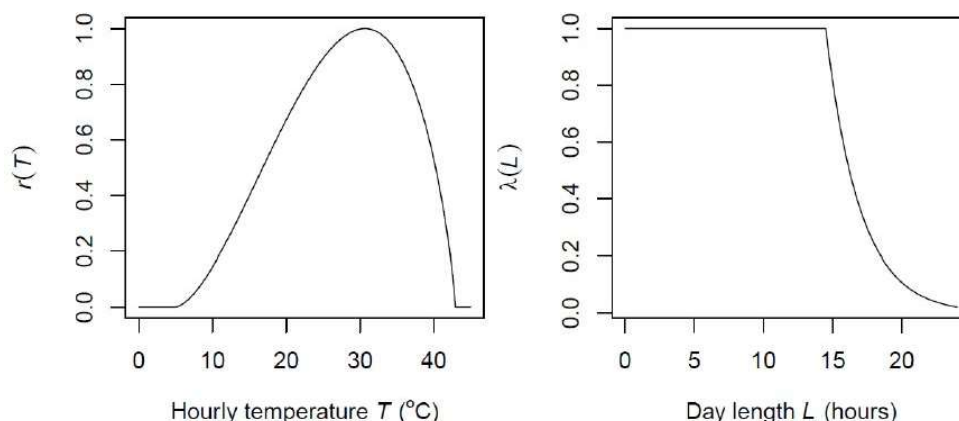


Figure 46. Taux de développement phénologique de l'ambroisie en fonction de la température horaire (gauche) et photopériode (droite) pendant la phase photosensible (Bullock *et al.* 2013)

Les grandeurs T_{min} , T_{max} , et T_{opt} correspondent respectivement aux températures minimales, maximales et optimales pour la croissance de l'ambroisie, optimisées selon les connaissances de la littérature : $T_{min} = 4.883^{\circ}C$, $T_{max} = 42.917^{\circ}C$ et $T_{opt} = 30.650^{\circ}C$. Le paramètre C_T est une constante de remise à l'échelle : $C_T = 1.696$. La plante meurt lorsque la température minimale journalière atteint $0^{\circ}C$.

La fonction de réponse à la photopériode $\lambda(L)$ provoque un décalage de la floraison de l'ambroisie lorsque la durée du jour L est supérieure à 14,5 heures – ce qui se produit en été à des latitudes supérieures à $36,5^{\circ}N$. Le paramètre de sensibilité L_s varie selon le stade de développement de la plante (Tableau 5 et Figure 47 gauche). Pour comparaison, les observations de présence de l'ambroisie en Europe sont également présentées en Figure 47 (droite). Le modèle montre que l'ambroisie peut terminer son cycle dans de nombreuses régions bien qu'elle n'y soit rencontrée que rarement ou qu'elle n'y prolifère pas de manière invasive.

Le second modèle est un modèle écologique de prolifération de l'ambroisie basé sur la théorie des métapopulations (IFM : *Incidence Function Metapopulation model*) ; la métapopulation représente ici l'ensemble des parcelles ou zones occupées par la plante. Ce modèle permet de représenter l'invasion de la plante de maille en maille, sur une grille haute-résolution de 5 km et s'appuie sur 3 mécanismes de propagation :

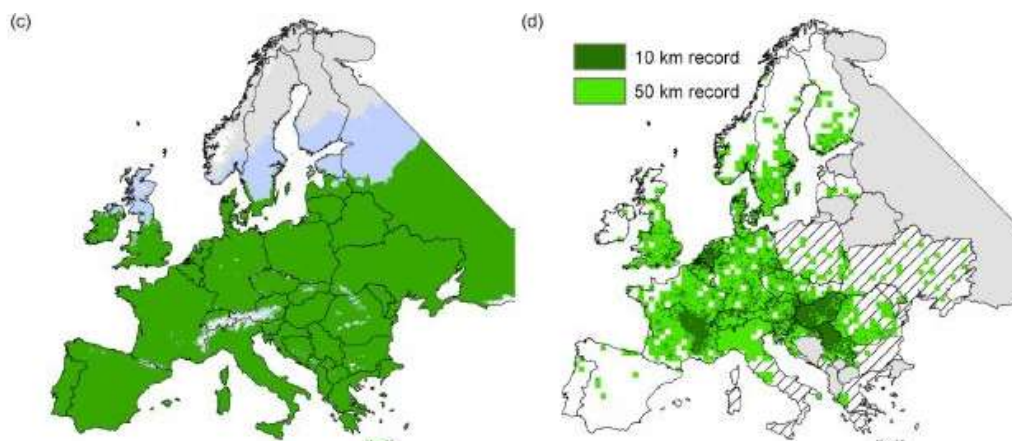
- La dispersion locale autour des populations établies ;
- La dispersion par le commerce international de graines (import de zones infestées) ;
- La dispersion des semences contenues dans le sol.

Tableau 5. Durée des phases de développement de l'ambroisie et sensibilité à la photopériode tels qu'utilisés dans le modèle mécaniste (Bullock *et al.* 2013)

Phase (s)	Photoperiod sensitivity (L_s)	Duration (BDs)
Germination	0	3.5
Germination to seedling emergence	0	1*
Emergence to end of juvenile phase	0	7
End of juvenile to main-stem terminal bud	0.333	4.5
Main-stem terminal bud to pistillate flower	0.333	4.5
Pistillate flower to anthesis	0	4.5†
Anthesis to seed set	0	14.5

* Assuming a burial depth of 1 cm (Fumanal *et al.* 2008).

† The onset of anthesis is delayed until day 208 at the earliest (Ziska *et al.* 2011).



Stades de développement prédits : aucun (blanc), germination (gris), anthèse (bleu), libération des pollens (vert).

Figure 47. Stades de développement prédits pour être atteints par l'ambroisie (gauche) et présence observée de l'ambroisie (droite) en Europe (Bullock *et al.* 2013)

Il s'agit d'un modèle de simulation stochastique qui prédit, sur un pas de temps annuel, quelles mailles risquent d'être « occupées » par l'ambroisie ; ce changement d'état est défini en considérant la probabilité locale de colonisation ou d'extinction de la plante. En plus des 3 dynamiques principales listées ci-dessus, les effets du climat et de l'occupation des sols sont également pris en compte pour modéliser le processus de propagation ; l'ensemble des variables explicatives est visible dans le Tableau 6.

La même grille de calcul que le premier modèle phénologique mécaniste est considérée. Le modèle a été développé et calibré pour prédire la distribution observée la plus récente (2010 au moment des travaux), puis il a été appliqué pour prévoir la prolifération jusqu'à l'horizon 2080 – selon différents scénarios climatiques et de développement.

Tableau 6. Variables explicatives utilisées dans le modèle de prolifération de Bullock *et al.* (2013)

Variable	Meaning
h	Growing season heat sum
M	Growing season moisture index
ψ	Temperature seasonality
Q	Climatic quality
C	Overall colonisation probability
C_N	Colonisation probability from neighbouring populations
C_S	Colonisation probability from the seed bank
C_I	Colonisation probability from contaminated seed imports
Θ	Occupancy state of the cell (0 = ragweed absent, 1 = ragweed present)
H	Proportion cover of invadable habitat, which may be split into crops (H_c) and urban (H_u) land
d_{ij}	Geodesic distance between grid cells i and j
S	Neighbourhood connectivity (dispersal-weighted density of invaded grid-cells surrounding the focal cell)
G	Germinability factor, derived from the phenology model (0 = germination not possible in an average year, 1 = germination possible)
R	Reproduction factor, derived from the phenology model (0 = seed set not possible in an average year, 1 = seed set possible)
Y_R	Number of years since ragweed last reproduced in the grid cell
$I_{X \rightarrow Y}$	Planting seed import volume from country X to country Y (tonnes)
$C_{n \rightarrow e}$	Probability of cropland colonisation via imports from the native range (USA).
$C_{n \rightarrow u}$	Probability of urban land colonisation via imports from the native range (USA).
$C_{i \rightarrow e}$	Probability of cropland colonisation via imports from the invaded range (Europe).
$C_{i \rightarrow u}$	Probability of urban land colonisation via imports from the invaded range (Europe).
Ω_X	Relative ragweed contamination of planting seed exported from European country X
E	Local extinction probability

En vert, les variables liées à la dynamique de la colonisation. En bleu, les variables de contrainte issue du modèle mécaniste. En rouge, les variables associées à l'import de graines. En jaune, les variables climatiques.

Bullock *et al.* (2013) introduisent le concept de « qualité climatique » dans le modèle de prolifération, facteur favorisant le développement et la survie de la plante – et donc la persistance des populations. Cet indicateur a pour objectif d'expliquer le caractère occasionnel et non invasif de l'ambroisie dans certaines zones considérées propices à son cycle complet (Figure 47). Le facteur de qualité climatique est défini sur la base de : l'accumulation de chaleur pendant la période de croissance, l'humidité disponible pendant la période de croissance, et un indice de saisonnalité caractérisant le gradient de température hiver-printemps favorisant la rupture de sommeil de la graine. Il est construit comme le produit de trois fonctions (fonction f sigmoïdes pour l'humidité et la saisonnalité ; fonction g gaussienne pour l'accumulation de chaleur) et s'exprime tel que $Q = g(h)f(M)f(\Psi)$ avec :

- $f(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{si } x \leq \mu, \\ 0 & \text{si } x > \mu \end{cases}$;
- $g(h) = \exp\left(-\frac{(h-\mu_h)^2}{2\sigma_h^2}\right)$;
- h : l'accumulation de chaleur pendant la croissance ;
- M : l'humidité pendant la croissance ;
- Ψ : l'indice de saisonnalité.

Comme évoqué précédemment, Bullock *et al.* (2013) considèrent 3 mécanismes ou dynamiques de colonisation des mailles non infestées : propagation depuis des zones voisines (avec une probabilité C_N), propagation liée à la germination du stock de graines contenu dans le sol (avec la probabilité C_S), et la propagation liée à l'import en provenance des États-Unis ou des pays européens contaminés (avec la probabilité C_I) (Tableau 6). La colonisation d'une maille par ces mécanismes n'est possible que si le modèle phénologique mécaniste l'a prédit. La probabilité totale de colonisation est exprimée par : $C = 1 - (1 - C_N) \times (1 - C_S) \times (1 - C_I)$.

La probabilité de colonisation en provenance de zones voisines (C_N) dépend du statut (occupé ou non) des mailles dans un rayon de 100 km, des mailles occupées par l'ambroisie arrivée à maturité l'année précédente, de la qualité de l'habitat (seules les classes d'occupation des sols « agriculture » et « urbain » sont considérées comme pouvant être infestées), de la qualité climatique (contrôlant le nombre de graines produites), et d'une fonction noyau décroissante en distance entre la maille considérée et les mailles « voisines ».

La probabilité de colonisation en provenance de la banque de graines contenue dans le sol (C_S) augmente lorsque le laps de temps depuis la dernière reproduction achevée dans la maille est faible, lorsque la surface d'habitat perturbé (nécessaire pour la germination) est grande, lorsque la qualité de l'habitat est bonne, et lorsque le modèle phénologique mécaniste prédit la germination.

La probabilité de colonisation liée à l'import de graines en provenance des États-Unis et de pays européens infestés par l'ambroisie (C_I) est traitée à l'aide des données en provenance de l'*United States Department of Agriculture's Foreign Agriculture Service Global Agricultural Trade System*¹⁵ et des données d'échange entre pays européens issues de la base de données *Trade Map*¹⁶.

L'extinction de l'ambroisie dans une maille se produit si le modèle phénologique mécaniste prédit que l'ambroisie ne peut pas arriver à maturité ou, de manière stochastique, avec une plus grande probabilité dans les mailles de faible qualité climatique, en raison de la faible production de semences.

¹⁵ <https://www.fas.usda.gov/databases/global-agricultural-trade-system-gats>

¹⁶ <https://www.trademap.org/Index.aspx>

Le modèle de prolifération comporte 14 paramètres qui ont été calibrés sur la base des observations de présence d'ambroisie (maille de 10 km). Ce processus de calibration incluait 1500 simulations, réalisées sur une période de 50 ans (à partir de 1960) sur la base de ces paramètres tirés aléatoirement dans une gamme de valeurs. Les cartographies simulées sont comparées avec celles observées sur la période 1990-2010. Parmi les meilleures correspondances, 30 jeux de paramètres ont été sélectionnés aléatoirement ; la simulation résultante étant la moyenne des sorties du modèle alimenté par ces paramètres optimisés. L'ajustement du modèle était le plus sensible à l'influence de l'accumulation de chaleur, de l'indice de saisonnalité caractérisant le gradient de température entre l'hiver et le printemps et de l'import de graines en provenance de zones infestées par l'ambroisie.

Des critères de validation ont été évalués par Bullock *et al.* (2013) : l'aire sous la courbe (AUC : mesure de la probabilité pour que le modèle prédise correctement une valeur) et le Kappa κ de Cohen (mesure de l'accord entre prédictions et observations). Des valeurs globales (à l'échelle de Europe) et locales (à l'échelle des pays) ont été calculées pour ces deux critères : AUC=0,834/ κ =0,478 et AUC=0,736/ κ =0,267, respectivement. Les résultats obtenus montrent une performance bonne à modérée du modèle de prolifération à l'échelle globale, mais une performance moyenne à l'échelle locale.

Après calibration, la représentation graphique de la qualité climatique montre que les régions de la Pannonie et de la vallée du Rhône sont particulièrement favorables à l'invasion de l'ambroisie (Figure 48). Les régions d'Italie du nord, de Bulgarie, de Roumanie, de Moldavie, d'Ukraine et du sud de la Russie, où les données sont de moindre qualité (Figure 25), sont également favorables à la présence d'ambroisie. Il est à noter que les fortes chaleurs ne sont pas le facteur limitant principal de la qualité climatique dans la plupart de l'Europe (Figure 49).

La probabilité d'extinction cartographiée dans la Figure 50 montre que les populations d'ambroisie présentes dans les régions à haute qualité climatique (Figure 48) auront de grandes chances de persister. En dehors de ces régions, la probabilité d'extinction augmente rapidement – la probabilité de persistance de la plante est plus faible.

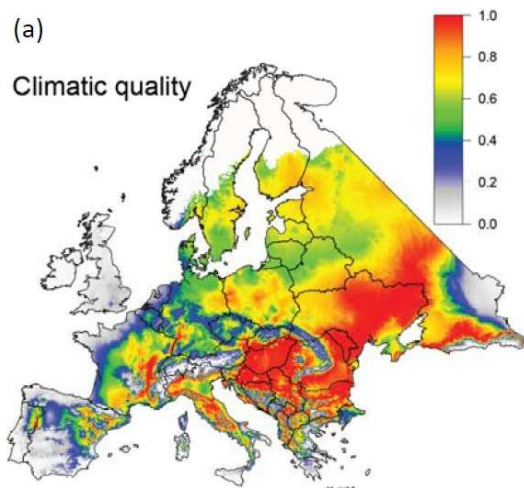


Figure 48. Cartographie de la qualité climatique calibrée pour l'ambroisie (Bullock *et al.* 2013)

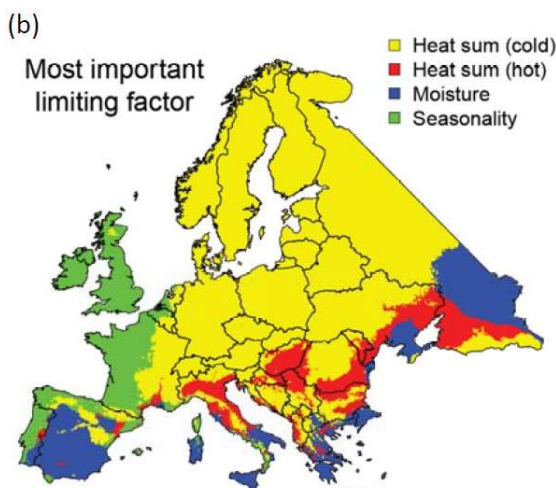


Figure 49. Cartographie des facteurs limitant de la qualité climatique calibrée pour l'ambroisie (Bullock *et al.* 2013)

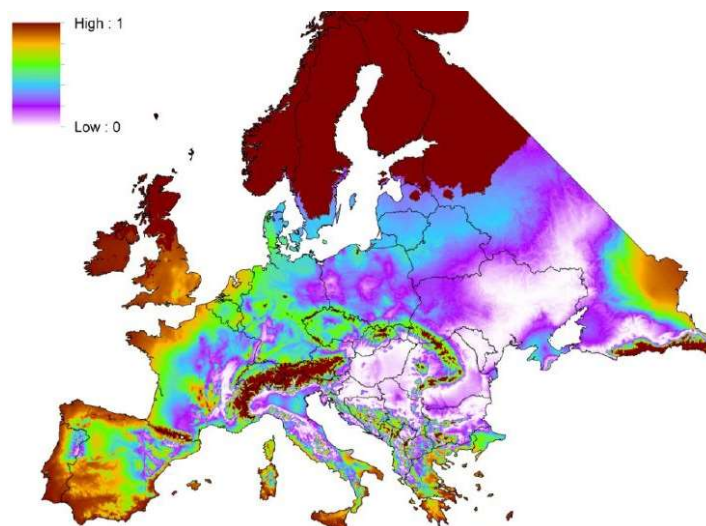


Figure 50. Probabilité d'extinction de l'ambroisie (Bullock *et al.* 2013)

La carte de distribution modélisée de l'ambroisie en Europe est visible en Figure 51. Pour comparaison, la distribution observée de l'ambroisie en Europe est présentée en Figure 52. Les zones infestées prédites coïncident avec les zones dont la qualité climatique est la plus élevée. Néanmoins, l'étendue des zones infestées modélisées dans le sud de la France (en vallée du Rhône) est moins étendue que celle observée, l'occupation des sols hors de la vallée du Rhône étant moins favorable à l'infestation. La présence modélisée de l'ambroisie dans les régions du sud de la Russie est limitée en raison de zones agricoles fragmentées et du faible import de graines dans ces régions.

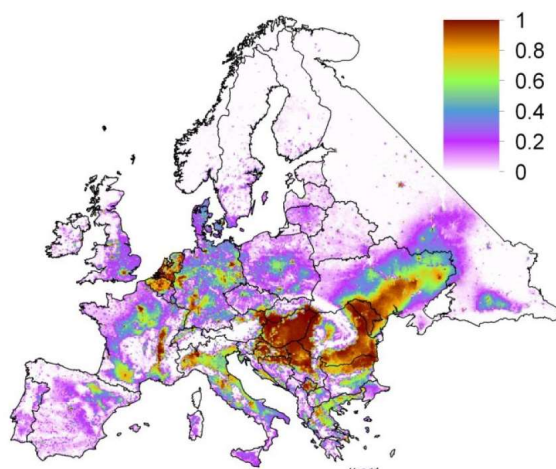


Figure 51. Probabilité de présence modélisée de l'ambroisie (Bullock *et al.* 2013)

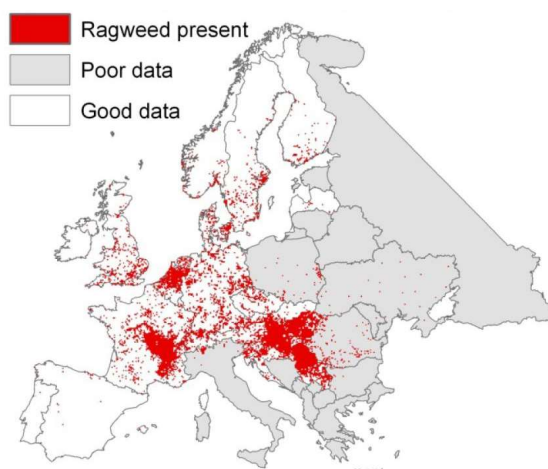


Figure 52. Cartographie de la distribution observée de l'ambroisie (Bullock *et al.* 2013)

Une présence importante de l'ambroisie est prédite dans certaines régions dont la qualité climatique est faible ; cela s'explique par un import de graines suffisamment important pour générer une occupation. Ces régions regroupent les Pays-Bas, La Belgique, et d'autres zones urbanisées du nord de l'Europe.

Sur la base de la distribution prédite (Figure 51), les concentrations en pollens sont ensuite modélisées par un modèle de dispersion. Les concentrations modélisées sont comparées aux observations (issues de stations de mesures) et la différence entre les deux données est utilisée comme facteur de calibration modifiant la carte de distribution prédite de l'ambroisie. Le processus est répété jusqu'à obtenir une différence inférieure à un certain seuil.

Modèle écologique développé dans le cadre du projet ATOPICA

Dans ATOPICA, la distribution de l'ambroisie est construite sur l'Europe comme le produit, pour chaque maille, de la fraction d'habitat favorable à la prolifération de la plante (sols agricoles et zones urbaines) et d'un facteur traduisant le caractère favorable des conditions climatiques (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015). Elle est exprimée par l'équation :

$$D_p = I \times LU(x, y) \times CI(x, y) \left(\frac{K(x, y)}{25} \right)^2$$

Où :

- D_p : le nombre de plant d'ambroisie au m² ;
- $LU(x, y)$: la part de la maille occupée par des sols favorables à la présence d'ambroisie (sols agricoles et zones urbaines) ;
- $CI(x, y)$: l'indice climatique traduisant les conditions climatiques favorables à la présence de la plante ;
- I : la densité de plantes au m², en première approximation égale à 0,03.

L'estimation de la distribution de l'ambroisie exploite également l'abondance d'ambroisie issue du projet *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe* (Figure 28) et définie par le nombre de mailles $K(x, y)$ de 10 x 10 km indiquant la présence d'ambroisie.

Le modèle de prolifération représente le flux de graines de maille à maille par un modèle simple avec limitation du flux par la compatibilité de l'habitat et du climat. Le flux de maille à maille est défini comme inversement proportionnel au carré de la distance qui les sépare. Le flux annuel de graines entre deux mailles, de coordonnées géographiques (x', y') et (x, y) , est défini sur la base de Richter *et al.* (2012) par l'équation suivante :

$$F_n(x', y', x, y) = N \times \frac{D_n(x', y')}{r} \frac{d_0^2}{d(x, y, x', y')^2 + d_i^2}$$

Où :

- N : le facteur de passage d'une maille de 35 x 35 km à 50 x 50 km (équivalence à Richter *et al.* (2012)) ;
- d_0 : une distance caractéristique prise égale à 0,63 km ;
- $d(x, y, x', y')$: la distance entre 2 mailles ;
- d_i : la moitié de la taille de maille permettant aux flux de garder une valeur finie, puisqu'ils peuvent être internes aux mailles ;
- $D_n(x', y')$: l'évolution annuelle de la distribution d'ambroisie où n est le nombre d'année depuis l'année initiale.

Aucun élément de validation du modèle de prolifération de la plante n'est présenté dans la publication de Hamaoui-Laguel *et al.* (2015).

Limites de l'approche par modèles écologiques pour élaborer les cartographies de distribution de l'ambroisie

La limite essentielle des modèles écologiques tient à ce que la donnée mesurée (signalement de la plante ou mesure de pollen) n'est pas utilisée *a priori* dans le modèle. Elle est seulement exploitée pour la définition des conditions initiales ou pour la calibration du modèle. Les autres limites évoquées par les auteurs sont liées au nombre important d'hypothèses conditionnant le modèle (parfois basées sur peu de littérature) et la qualité et complétude souvent médiocres des données utilisées pour construire le modèle (Zink *et al.* 2017). Enfin, la procédure de calibration utilisée par Bullock *et al.* (2013) et Hamaoui-Laguel *et al.* (2015) repose sur l'hypothèse que l'erreur commise par les modèles de dispersion ne dépend que de la distribution de l'espèce : les écarts entre les mesures et le modèle sont utilisés pour « re-

spatialiser » la distribution de la plante. Il est supposé que ces écarts ne dépendent pas des émissions de pollens ou du modèle de transport. Les concentrations simulées sont donc principalement influencées par les émissions locales de pollens puisque les erreurs issues des modélisations sont répercutées directement au niveau de la distribution spatiale de la plante (Zink *et al.* 2017).

3.3.2.4 Comparaison des méthodes de cartographies de la distribution de l'ambroisie

La comparaison des trois méthodes de cartographie de la distribution de l'ambroisie a été réalisée par Zink *et al.* (2017) sur la France pour l'année 2012. Six distributions de l'ambroisie, issues de 3 méthodes, ont été exploitées.

La première méthode de cartographie examinée correspond à l'exploitation d'un inventaire de la plante. Cet inventaire de l'ambroisie a été construit à partir des données de la Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux (FCBN) (Petermann 2011). La grande majorité de cet inventaire (87%) n'inclut pas d'information sur l'abondance ou la densité de la plante. Deux cartographies des distributions ont été produites et utilisées :

- D'abord, toutes les plantes dans les mailles du domaine de calcul sont comptées – utilisation de toute l'information disponible pour produire une carte « quantitative ». Les cartes ainsi obtenues représentent donc le nombre de plantes sur la grille du domaine de calcul. Cette distribution est référencée par INV-#.
- Dans la seconde version, l'information « quantitative » n'est pas utilisée, car elle ne favorise généralement pas les bonnes performances des prévisions de pollen (Zink 2014). N'est conservé que le nombre de localisations de la plante à l'intérieur de chaque maille, référencé par INV-yn.

La seconde méthode examinée est l'approche descendante (cf. paragraphe 3.3.2.2) basée sur l'exploitation conjointe des mesures de pollens et des données d'occupation des sols. La carte de distribution issue des travaux de Thibaudon *et al.* (2014) a été utilisée ; elle correspond à la densité de la plante (en %) établie en comparaison à la densité maximum de la plante rencontrée en Hongrie. Cette distribution est référencée LUPC.

La troisième méthode examinée est la modélisation écologique (cf. paragraphe 3.3.2.3), prenant en compte des facteurs explicatifs variés (biologiques, climatologiques, géographiques, et anthropogéniques) pour prédire une probabilité de présence de l'ambroisie. Trois cartographies de distribution potentielle issues de tels modèles ont été produites par Zink *et al.* (2017). Ces cartographies ont été calibrées en utilisant l'occurrence de l'ambroisie selon divers *herbarium* et agences environnementales en France et pays limitrophes. Les occurrences (et non-occurrences) définies aléatoirement ont été reliées à 6 variables climatiques considérées importantes pour définir la délimitation de la présence de l'ambroisie : la température maximum du mois le plus chaud, la gamme des températures annuelles, la température moyenne de la saison la plus froide, les précipitations de la saison la plus sèche, les précipitations de la saison la plus chaude, et l'aridité. Différents types de modèles écologiques ont été testés et les prédictions obtenues ont été moyennées en utilisant une approche d'ensemble. La phase d'apprentissage a été réalisée sur la base de 70% du jeu de données et l'évaluation a été réalisée sur les 30% restants. La procédure de modélisation a été répétée 10 fois ; le modèle final est une moyenne des 10 jeux de modèle. Une analyse multivariée a par ailleurs permis d'identifier les climats « non-analogues » i.e. les climats favorables à l'ambroisie mais non présents dans le jeu de calibration.

Trois cartographies de distribution potentielle ont ainsi été produites, exprimant toutes une densité (%) :

- **POT1** correspond aux prédictions du modèle ensembliste sur le domaine d'étude. Les mailles avec un climat « non-analogue » et les mailles sans prédictions (sur plans d'eau par exemple) sont forcées à 0. La cartographie obtenue illustre la convenance

de la maille à la croissance de l'ambroisie (de 0% à 100%), en considérant une relation linéaire entre la densité de la plante et la convenance de l'habitat.

- **POT2** correspond à la prédiction binaire dérivée de POT1 en considérant un seuil assurant la présence de la plante à 95%. En dessous de ce seuil, la plante n'est pas censée se développer et la densité de présence de l'ambroisie est forcée à 0. La densité est forcée à 100% pour les mailles favorables.
- **POT3** correspond à la distribution POT1 circonscrite à la présence de l'ambroisie identifiée dans POT2 i.e. similaire à POT1 mais avec les mailles à 0 dans POT2 forcées à 0%.

Les six cartographies (INV-#, INV-yn, LUPC, POT1, POT2, et POT3) montrent des distributions sensiblement différentes (Figure 53). La carte POT2 (distribution binaire par construction) ne donne une information que sur la présence ou l'absence de la plante. Dans les distributions issues des inventaires, l'ambroisie est absente d'une grande partie du territoire français. Les niveaux d'occupations associés à ces régions sont très faibles (entre 1% et 3%) dans le cas de la distribution LUPC. Selon la carte POT1, l'ambroisie apparaît comme présente partout alors que, selon la carte POT3, l'ambroisie est absente sur de larges zones et les gradients entre ces régions dépourvues d'ambroisie et les régions peuplées limitrophes sont importants (passage de 0 à 10% d'occupation sur quelques mailles).

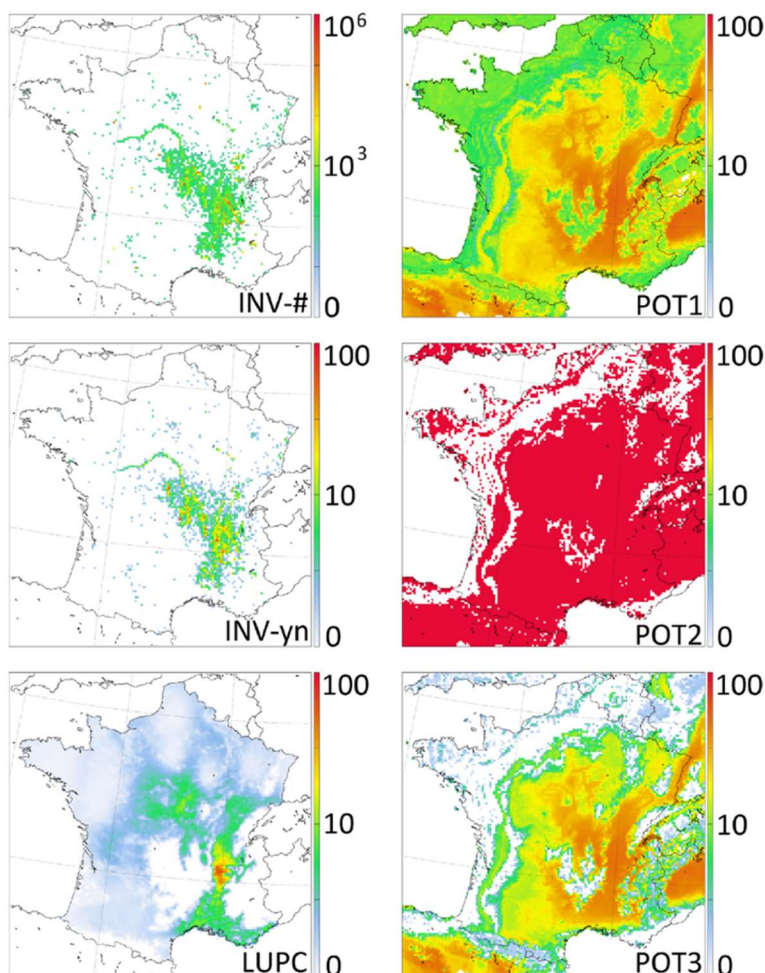


Figure 53. Cartes de la distribution d'ambroisie en France selon différentes approches (Zink et al. 2017)

INV : cartes issues de l'approche par inventaire. *POT* : cartes issues de l'approche par modèle écologique. *LUPC* : carte issue de l'approche descendante.

Toutes les cartographies font ressortir la vallée du Rhône et l'ouest de la région Rhône-Alpes comme la source majeure d'ambroisie en France. Néanmoins, dans la cartographie LUPC, la région avec la densité maximale de la plante est restreinte en comparaison des autres cartes. En effet, cette zone de densité maximale s'étend plus au sud et plus à l'ouest avec les cartes INV-# et INV-yn. Et dans les distributions POT1 et POT3, la zone de densité maximale de

l'ambroisie est bien plus étendue, depuis la méditerranée jusqu'à la frontière allemande et également de manière importante dans l'ouest de la France.

Sur le pourtour méditerranéen, l'ambroisie est quasiment absente des cartes INV-# et INV-yn mais elle atteint une densité de 10% selon la méthode LUPC et apparaît bien plus importante dans les distributions issues des modèles écologiques (POT1 et POT3). Le centre de la France (autour de Nevers et la région du Berry) est modérément peuplé selon les cartes INV et la carte LUPC, bien que les distributions à plus fine échelle ne soient pas totalement similaires. Ces régions sont fortement infestées, avec des densités atteignant 30%, selon les distributions POT1 et POT3 issues de la modélisation écologique. Des départements situés à proximité de la vallée de la Loire sont bien identifiés comme infestés d'ambroisie selon les distributions issues des inventaires de la plante (INV) ; ces zones ressortent de façon moins marquée dans les autres cartes.

L'applicabilité et l'utilité de ces six cartographies (INV-#, INV-yn, LUPC, POT1, POT2, et POT3) pour la prévision numérique des pollens a été évaluée sur la saison pollinique 2012 en France. Les comparaisons des données prédites aux données journalières mesurées (stations de mesures du RNSA) ont permis de classer les 6 distributions selon leurs performances en tant que données d'entrées pour le système de modélisation COSMO-ART (émission et dispersion des pollens).

Ces travaux permettent donc d'avoir une comparaison directe entre les différentes cartographies de distribution de la plante, toute chose égale par ailleurs. Les cartographies ne traduisant pas les mêmes grandeurs, un processus de calibration a dû être opéré par Zink *et al.* (2017). Tout d'abord, la saison pollinique de l'année 2012 a été simulée à partir des cartographies non calibrées. Ensuite, le ratio entre concentrations ainsi modélisées et concentrations mesurées a été calculé. Seuls les jours avec ≥ 40 grains/m³ ont été retenus car le niveau de la distribution doit reproduire les niveaux de pollens dans des conditions « optimales » correspondant aux concentrations en pollen les plus importantes. Enfin, ce ratio a été appliqué aux cartographies de distribution de l'ambroisie pour la calibration.

L'évaluation des performances des 6 cartographies de distribution est réalisée en établissant les tables de contingence comparant les concentrations simulées par COSMO-ART et les concentrations mesurées, en utilisant 2 seuils : 5 grains/m³ et 20 grains/m³. Plusieurs critères (statistiques) de performances sont calculés (Tableau 7).

L'analyse statistique des performances a été réalisée sur chacun des sites séparément. Puis, afin d'améliorer la représentativité des résultats, les sites de mesures ont été regroupés en 5 régions illustrées sur la Figure 54 : région A en rouge (où les sources sont les plus importantes, ouest de la région Rhône-Alpes), région B en bleu (sud de la région A jusqu'à la mer méditerranée), région C en vert (ouest et sud-ouest de la région A, zone relativement épargnée par l'ambroisie), région D en orange (nord-ouest de la région A, niveau d'infestation intermédiaire), et région E en rose (nord et nord-est de la région A, présentant des niveaux d'infestation variables selon la cartographie sélectionnée). Les paramètres statistiques sont moyennés pour obtenir des performances moyennes par région.

Tableau 7. Critères statistiques utilisés pour comparer les performances des cartographies de distribution de l'ambroisie dans Zink *et al.* (2017)

Score	Formule	Gamme de valeur	Interprétation
TS : Threat Score	$TS = \frac{a}{a + b + c}$ <p style="text-align: center;"><i>bonnes détections</i></p> <p style="text-align: center;"><i>= nombre total d'événements observés ou prévus</i></p>	Entre 0 et 1	Au mieux : 1 Au pire : 0
FAR : False Alarm Ratio	$FAR = \frac{b}{a + b} = \frac{\text{fausses alarmes}}{\text{nombre d'événements prévus}}$	Entre 0 et 1	Au mieux : 0 Au pire : 1
PSS : Pierce Skill Score	$PSS = \frac{ad - bc}{(a + c)(b + d)} = POD - POFD$ <p>POD, probabilité de bonne détection = $\frac{a}{a+c}$</p> <p>POFD, probabilité de fausse détection = $\frac{b}{b+d} = \frac{\text{fausses alarmes}}{\text{nombre de non-événements}}$</p>	Entre -1 et 1	Au mieux : 1 Aléatoire : 0 Au pire : -1
R	<p>Coefficient de corrélation :</p> $r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$	Entre -1 et 1	Corrélation parfaite : 1 Aucune corrélation : 0 Anti-corrélation : -1
p-value		Entre 0 et 1	Résultat significatif : <0.05
D ₁	<p>Indice de concordance :</p> $d_1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$ <p>P_i correspond à la ième donnée modélisée, O_i correspond à la ième donnée observée, \bar{O} correspond à la moyenne des observations.</p>	Entre 0 et 1	Au mieux : 1 Au pire : 0
FB	<p>Biais fractionnel :</p> $FB = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_i - O_i}{P_i + O_i}$		Au mieux : 0
RMSE	<p>Erreur quadratique moyenne :</p> $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$		Au mieux : 0

Définition des termes a, b, c et d disponible dans le Tableau 4.

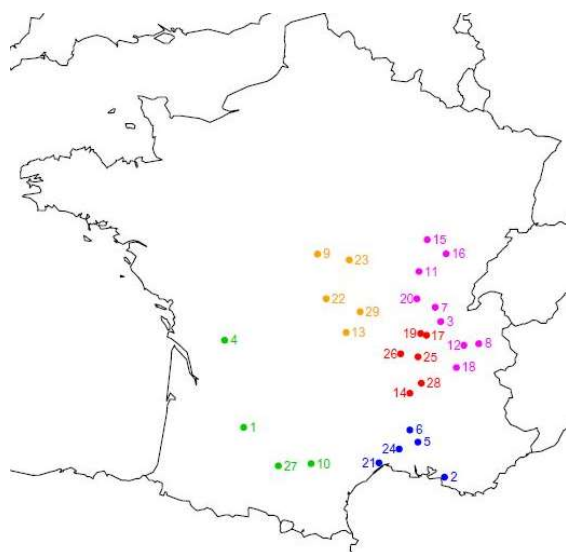


Figure 54. Regroupement des sites de mesures par région pour l'analyse des performances des cartographies de distribution (Zink *et al.* 2017)

Afin de hiérarchiser les six cartographies selon leur performance, un système de notation a été mis en place. Ce système note les scores statistiques obtenus pour chaque cartographie en bon (+1), moyen (0), ou mauvais (-1) selon leur échelle de valeurs (en tercile) et l'interprétation correspondante (Tableau 7). L'approche permet donc de classer les cartographies des distributions pour chacun des sites et chacune des régions (Tableau 8). Les scores totaux sont produits en sommant les scores des sites de chacune des régions et à partir des scores régionaux (d'après les moyennes des critères statistiques) (Tableau 8).

Tableau 8. Scores de performance des cartographies de distribution de l'ambrosie par région et scores globaux sur la base des moyennes régionales et sommes des résultats individuels (Zink *et al.* 2017)

Region	LUPC	INV-#	INV-yn	POT1	POT2	POT3
A	-1	1	-3	-3	-3	-3
B	-4	1	-1	-2	-3	-2
C	3	-2	-1	-1	-1	0
D	4	0	-1	-6	-6	-5
E	0	1	1	-3	-4	-3
Total regions	2	1	-5	-15	-17	-13
Total sites	23	3	9	-39	-42	-40

INV : cartes issues de l'approche par inventaire. *POT* : cartes issues de l'approche par modèle écologique.
LUPC : carte issue de l'approche descendante.

Les meilleurs scores par région sont presque tous produits pour les deux distributions LUPC et INV-# ; les scores globaux confirment leur bonne performance globale (Tableau 8). Les scores des autres cartographies sont moins bons. La cartographie de distribution LUPC, basée sur l'approche descendante combinant comptes polliniques et occupations des sols, présente les meilleures performances. Les deux distributions basées sur l'inventaire donnent des résultats similaires pour les régions C, D, et E ; mais la distribution INV# donne les meilleurs résultats pour les régions A et B. Les trois cartes issues de la modélisation écologique donnent, de manière très nette, les moins bons résultats.

Les performances médiocres des distributions potentielles (POT1, POT2, POT3) étaient attendues car elles ne correspondent qu'à des distributions prédites par modélisation écologique, au contraire des trois autres cartographies incluant des « observations ». Les distributions potentielles, qui utilisent l'information climatique en entrée, tendent à surestimer la densité de la plante dans la mesure où la plante ne se développe pas partout où les conditions le permettraient.

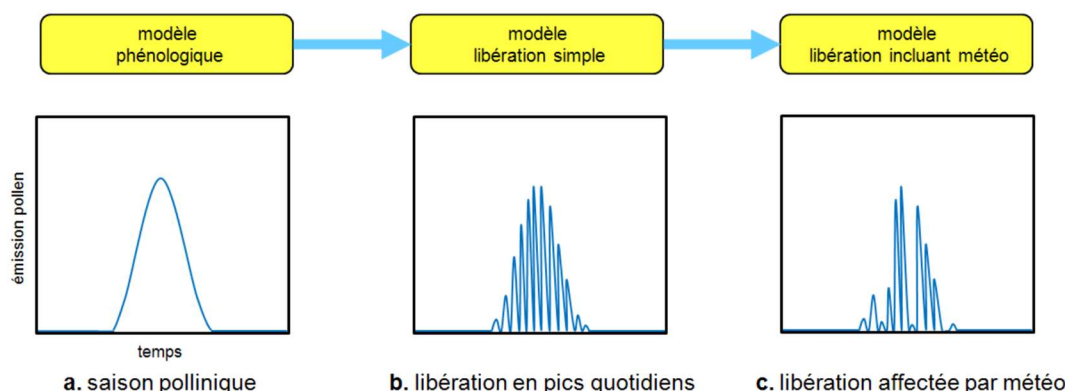
L'utilisation de la distribution LUPC montre globalement les meilleures performances mais pas au niveau de la région la plus infestée (région A, Tableau 8). Dans le cadre de la prévision des pollens, l'approche descendante basée sur la combinaison des comptes polliniques et de l'occupation des sols semble donc être à privilégier. Cette approche est simple et dispose de perspectives très intéressantes pour être améliorée. La calibration pourrait par exemple s'appuyer sur les jours pendant lesquels le transport longue-distance est négligeable.

La principale limite de l'analyse comparative de Zink *et al.* (2017) tient à ce qu'une seule saison pollinique a été exploitée pour la calibration des distributions. Plus globalement, plutôt qu'opérer la calibration sur la totalité de la saison pollinique, elle pourrait être réalisée en sélectionnant les hauts percentiles. L'assimilation de données constitue également une voie intéressante d'amélioration.

3.3.3 Paramétrisation des émissions

La paramétrisation des émissions de pollens est essentielle pour modéliser de manière performante les concentrations. Elle a pour objectif de représenter la quantité de pollen émise par la plante ainsi que la temporalisation de ces émissions (Zink *et al.* 2012). Le traitement des émissions peut être schématisé en 3 étapes ou composantes (Figure 55). Le modèle phénologique concerne la production du pollen et détermine la cinétique générale d'une saison pollinique. Les émissions de pollens à court-terme sont pilotées par les conditions

météorologiques telles que la température, l'humidité relative et la vitesse du vent – qui influence la vitesse de friction. D'autres caractéristiques peuvent être considérées telles que la hauteur de la plante, l'altitude, ou la surface foliaire. Les généralités associées au traitement des émissions sont présentées en Annexe 4.



Le profil général peut être gaussien (a). La libération des grains est réalisée selon un pic quotidien (b). La libération est modulée par certaines variables météorologiques (c). Issu de *Atmo Rhône-Alpes (2010)*.

Figure 55. Illustration schématique des étapes du traitement des émissions de pollen

Différentes paramétrisations des émissions des pollens ont été proposées. Zink *et al.* (2013) présentent le module EMPOL qui exploite une approche généralisée pour la paramétrisation des émissions de pollens. Trois autres paramétrisations, implémentées dans les systèmes de modélisation de la dispersion des pollens, sont présentées dans la publication prenant exemple sur le pollen de bouleau :

- Paramétrisation de Helbig *et al.* (2004) implémentée dans le système COSMO-Art et dans le système RegCM : H_{orig} .
- Paramétrisation de Helbig optimisée : H_{opt} .
- Paramétrisation de Sofiev *et al.* (Prank *et al.* 2013) implémentée par le *Finnish Meteorological Institute (FMI)* dans le système SILAM : S13.

Des modèles de végétation existent par ailleurs, comme le modèle ORCHIDEE utilisé au sein du projet ATOPICA. Enfin, la paramétrisation des émissions peut également se baser sur des données empiriques tel qu'appliqué par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Ces paramétrisations existantes sont décrites en détails dans l'Annexe 4.

3.3.4 Modélisation de la dispersion des pollens

Le modèle de dispersion permet de calculer et cartographier les concentrations de pollens dans l'atmosphère après leur émission par la plante. Il constitue le dernier maillon de la chaîne de modélisation. Les modèles initialement développés pour la dispersion de polluants atmosphériques usuels ont été adaptés à la dispersion des pollens – considérés comme des aérosols chimiquement inertes, avec un diamètre aérodynamique et une densité donnés.

Dans la suite du document, deux modèles pour la dispersion des pollens d'ambroisie sont analysés en détails : COSMO-Art et SILAM. Au vu des éléments existants dans la littérature, ces systèmes de modélisation ont été identifiés par le groupe de travail comme fournissant les cartographies des niveaux de pollens d'ambroisie les plus pertinentes et robustes à l'heure actuelle dans une optique d'évaluation de l'impact sanitaire. Les autres modèles existants, notamment CHIMERE et RegCM, seront également évoqués, mais plus brièvement.

Il est à noter que certaines caractéristiques spécifiques du pollen d'ambroisie sont difficilement prises en compte, voire absentes, de ces systèmes de modélisation. Le nombre de grain de pollen produit par une plante à maturité a été estimé à 10^9 par an (Fumanal, Chauvel, et Bretagnolle 2007) et peut atteindre 10^{15} grains par m^3 par an (Thibaudon *et al.* 2014). Ce nombre de grain produit dépend des conditions climatiques de l'année précédente, de la météo

de l'année en cours (température et humidité du printemps précédent la floraison, de l'été de la floraison, et l'automne de la floraison), et de la vernalisation (Helbig *et al.* 2004). Ces dépendances ne sont pas prises en considération dans les chaînes de modélisation opérées par Météo Suisse (COSMO-Art) et *Finnish Meteorological Institute* (SILAM). De plus, la densité des grains dépend grandement de l'humidité de l'air ; les grains saturés ont une densité de 1200 kg/m³ alors que les grains secs ont une densité de 830 kg/m³ (Zink *et al.* 2012). Leur diamètre aérodynamique peut varier de 18 à 22 µm (Thibaudon *et al.* 2014). Cette hétérogénéité de diamètre et de densité a un impact sur le dépôt des pollens d'ambroisie, mais n'est pas toujours prise en compte dans les différents modèles de dispersion évoqués. Enfin, le pollen d'ambroisie est connu pour être très allergisant ; il a été estimé que, chez les sujets allergiques, les symptômes peuvent apparaître dès 5 grains/m³ détectés dans l'air (Skjøth *et al.* 2010, Zink *et al.* 2012). Pour être pertinente, la modélisation des pollens d'ambroisie doit donc être considérée comme fiable même aux faibles concentrations – et les valeurs extrêmes, tant faibles que hautes, sont généralement les plus difficiles à modéliser.

3.3.4.1 Modèle de dispersion COSMO-Art

COSMO-Art est un modèle *on-line*, c'est-à-dire que la météorologie et la dispersion sont calculées dans une même simulation (20 min par jour de simulation). Cette approche permet de modéliser les interactions entre météo et qualité de l'air, par exemple des interactions entre aérosols et nuages. Zink *et al.* (2012) ont modélisé un épisode de fortes concentrations en pollens d'ambroisie dans le nord-est de l'Allemagne (du 12 au 16 septembre 2006) avec le modèle COSMO-Art. Cette publication avait deux objectifs spécifiques :

- Caractériser l'influence du transport longue distance sur les concentrations mesurées localement ;
- Évaluer si les performances des prévisions de pollen pouvaient être améliorées en considérant les sources lointaines plutôt que les seules sources locales.

La cartographie de distribution de la plante exploitée dans cette analyse se basait sur des données de qualité très disparate (cf. paragraphe 3.3.2.1). En Hongrie, une carte du pourcentage de sol recouvert par l'ambroisie est disponible, permettant de connaître la densité des plantes émettant du pollen. En revanche, en République tchèque, seule une carte de présence de la plante est disponible ; l'abondance n'y est pas décrite. En Allemagne et en Autriche, les données disponibles sont très similaires à celles de la République tchèque. Afin d'homogénéiser les cartographies de distribution, la catégorie d'abondance la plus basse de la carte hongroise a été utilisée pour toutes les mailles infestées dans ces trois pays (République tchèque, Allemagne, Autriche) – en partant du principe que la Hongrie est la zone la plus fortement infestée en comparaison des trois autres. La cartographie harmonisée correspondante est visible en Figure 56.

Le premier objectif (caractériser l'influence du transport longue distance sur les concentrations mesurées localement) a été examiné en simulant les émissions de chacun des pays indépendamment. La concentration résultant de la somme des contributions de ces 4 simulations fournit la concentration totale en pollen à laquelle sont associées les contributions de chacun des quatre pays.

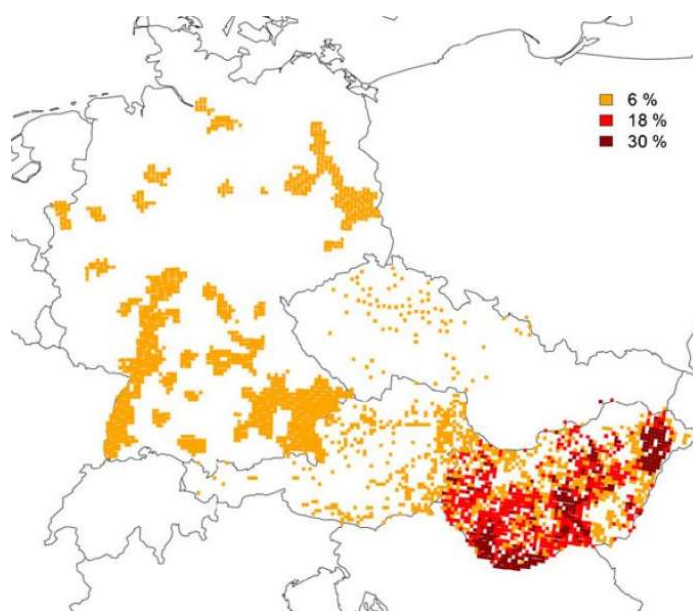


Figure 56. Distribution de l'ambroisie en Allemagne, Autriche, République tchèque et Hongrie (Zink et al. 2012)

Exprimée en % de la maille occupée par l'ambroisie.

Le second objectif (évaluer l'impact sur les performances de la prise en compte des sources lointaines dans les simulations) a été examiné en opérant 15 simulations correspondant à plusieurs combinaisons des pays émetteurs de pollens – Allemagne seule, Allemagne + Hongrie, République tchèque + Autriche, etc. La hiérarchisation des simulations (en termes de performances) a été réalisée en déterminant les tables de contingences pour le seuil de 1 grain/m³ entre la distribution mesurée et la simulation obtenue (Tableau 7). Les scores construits pour évaluer les simulations sur la base des tables de contingences sont présentés dans le Tableau 9 ; ces scores doivent être considérés dans leur ensemble uniquement. On retrouve certains scores (Tableau 7) utilisés par les mêmes auteurs pour évaluer les différentes cartographies de l'ambroisie utilisées dans le modèle COSMO-Art.

Tableau 9. Critères statistiques d'évaluation des performances des simulations exploitant Cosmo-Art (Zink et al. 2012)

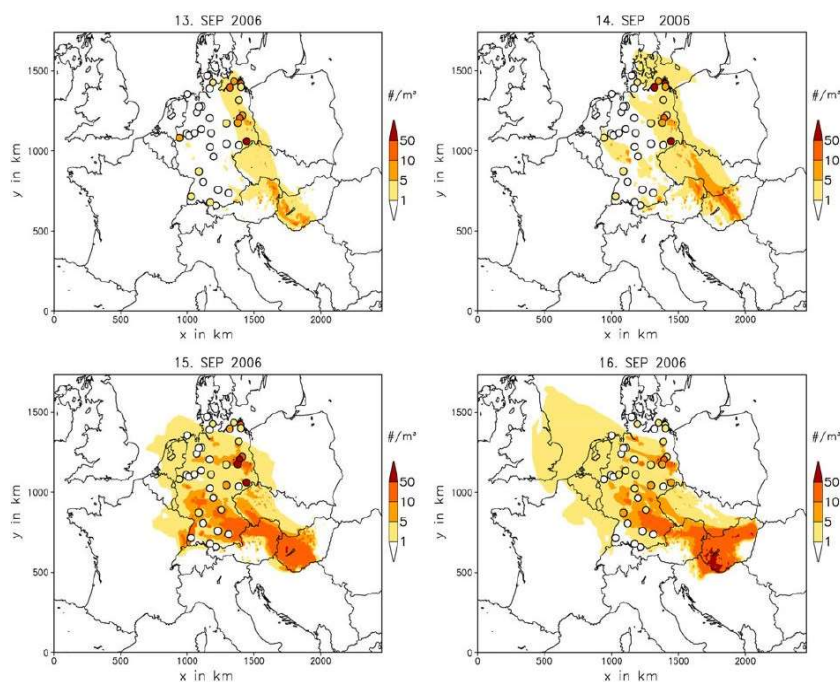
Scores et formules	Gamme de valeur	Interprétation
$Proportion\ Correct\ (PC) = \frac{a + d}{n}$	[0-1]	Taux de bonne détection.
$Threat\ Score\ (TS) = Critical\ Success\ Index\ (CSI) = \frac{a}{a + b + c}$ $= \frac{\text{bonnes détections}}{N\ total\ événements\ observés\ ou\ prévus}$	[0-1]	Score intéressant lorsqu'il y a un déséquilibre entre bonnes détections et bonnes non détections.
$Bias\ (B) = \frac{a + b}{a + c} = \frac{\text{prévisions de détection}}{\text{observations de détection}}$	>0	B=1 si prévisions non biaisées. B>1 si prévisions de dépassement supérieures à celles observées i.e. surestimation. B<1 si observations de dépassements supérieures aux prévisions i.e. sous-estimation.
$Hit\ rate\ (H) = \frac{a}{a + c}$	[0-1]	Taux de détection des événements. 1 au mieux. 0 au pire.
$False\ alarm\ rate\ (F) = \frac{b}{b + d} = \frac{\text{fausses alarmes}}{N\ non\ événements\ observés}$	[0-1]	0 au mieux. 1 au pire.
$Heidke\ Skill\ Score\ (HSS) = \frac{2(ad - bc)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)}$		HSS=1 si prévisions parfaites.

Définitions de a, b, c, et d disponibles dans le Tableau 4.

Le paramètre HSS (*Heidke Skill Score*) est une mesure de la performance de la simulation par rapport à une prévision basée sur le simple hasard. Une valeur négative signifie que la simulation est moins performante qu'une prévision basée sur le simple hasard. Une valeur

positive dénote une amélioration par rapport à une prévision par hasard, avec une valeur de 1 pour une simulation parfaite.

Les cartographies des pollens d'ambroisie en Allemagne issues du modèle COSMO-Art sont visibles en Figure 57 pour les 13, 14, 15, et 16 septembre 2006 – correspondant à des pics de pollens d'ambroisie détectés dans l'air en Allemagne. Les paramètres appliqués dans le modèle sont présentés dans le Tableau 10. Les cartes montrent le bon comportement du modèle à représenter la distribution spatiale des concentrations de pollens d'ambroisie. En particulier, l'est de l'Allemagne est placé sous l'influence d'une masse d'air chargée en pollen en provenance de Hongrie ; sur cette période, plusieurs stations enregistrent des moyennes journalières supérieures à 50 grains/m³. Les contributions des différentes régions émettrices de pollen d'ambroisie (Allemagne, République Tchèque, Autriche, ou Hongrie) sont présentées pour 5 stations de mesures en Allemagne dans le Tableau 11. L'influence des sources allemandes prédomine, représentant plus de 80% des pollens modélisés pour 3 stations. La contribution de la source hongroise atteint néanmoins jusqu'à 17,5% et n'est donc pas négligeable. Deux stations sortent du lot : Dresde et Garz. Au niveau de Garz (située à l'extrême nord-est de l'Allemagne), les niveaux mesurés sont très bas car la masse d'air chargée en pollen n'atteint pas la station ; ce site n'est pas inclus dans l'analyse par les auteurs. La station de Dresde, à l'est de l'Allemagne, est quant à elle située à proximité de la frontière de la République Tchèque et placée au vent des sources allemandes. L'essentiel de la contribution modélisée aux pollens provient donc de Hongrie.



Les points colorés représentent les stations de mesures (moyennes journalières).

Figure 57. Concentrations modélisées et mesurées des pollens d'ambroisie entre le 13 et le 16 septembre 2006 (Zink et al. 2012)

Tableau 10. Paramètres et constantes utilisés dans les simulations Cosmo-Art (Zink *et al.* 2012)

Parameter	Value	Reference
Simulated time period	12/09/2009, 00 UTC – 17/09/2009, 00 UTC	
Simulated domain	Central Europe and neighboring regions, $\sim 2,640 \times 1,735 \text{ km}^2$	
Number of grid points	x: 360 y: 250 z: 40	
Horizontal resolution	0.0625° ($\sim 7 \text{ km}$)	
Time step	40 s	
Density of a dry ragweed pollen grain	830 kg m^{-3}	Mandrioli <i>et al.</i> 2003
Diameter of a dry ragweed pollen grain	20 μm	Taramarcaz <i>et al.</i> 2005
Diurnal time period where ragweed flowering is allowed in the model	6 to 10 UTC	Bianchi <i>et al.</i> 1959
Length of the ragweed pollen season (S) in the model	90 days	Járai-Komlódi 2000 Makra <i>et al.</i> 2004
Leaf Area Index for ragweed (LAI) in the model	5	Abul-Fatih <i>et al.</i> 1979
Ragweed pollen production (Q_{p0}) in the model	10^9 pollen grains per plant and per year	Fumanal <i>et al.</i> 2007
Canopy height of ragweed in the model	2 m	
Correction factor for small plants in the model	0.015	
Temperature threshold for ragweed pollen emission in the model (T_{ic})	293 K	Bianchi <i>et al.</i> 1959
Relative humidity threshold for ragweed pollen emission in the model (U_{ic})	60%	Bianchi <i>et al.</i> 1959
Wind speed threshold for ragweed pollen emission in the model (v_{ic})	2.9 m/s	Helbig <i>et al.</i> 2004
Weighting factors for meteorological parameters in the model (c_1, c_2, c_3)	1	Helbig <i>et al.</i> 2004

Tableau 11. Contributions modélisées (en %) des différentes régions émettrices de pollen d'ambroisie pour 5 stations de mesures en Allemagne (Zink *et al.* 2012)

Site	Sources in Hungary	Sources in Germany	Sources in Austria	Sources in the Czech Republic
Berlin	11.3	88.2	0.3	0.2
Dresden	56.3	0.0	0.0	43.7
Garz	50.0	0.0	0.0	50.0
Potsdam	16.6	82.0	0.7	0.7
Treuenbrietzen	17.5	80.1	0.7	1.7

Journée du 15 septembre 2006.

Les scores de performance obtenus pour les 15 simulations ont été établis pour les journées du 13 au 16 septembre en utilisant, dans les tables de contingences, les concentrations moyennes journalières mesurées dans 43 stations en Allemagne (Figure 58). Les données modélisées au niveau des stations sont prises au niveau du point de maillage le plus proche.

Les indicateurs PC et TS représentent la proportion de prévisions correctes (i.e. une concentration journalière >1 grain de pollen par m^3 à la fois prédite et simulée). Pour PC, les événements et non-événements sont considérés tandis que pour TS, seules les détections sont prises en compte. Les valeurs de TS sont en dessous des valeurs de PC signifiant que les non-événements sont mieux prévus que les événements. Ce résultat est usuel pour la prévision des épisodes de pollution, ceux-ci étant « rares » et souvent liés à des conditions spécifiques (météorologique, émission ou conditions aux limites) difficiles à prévoir.

Les meilleurs scores sont obtenus lorsque les émissions d'Allemagne et de Hongrie sont considérées : E (toutes les régions émettrices sont prises en compte), M (Allemagne, Hongrie, et Autriche), and N (Allemagne, Hongrie, et République Tchèque). Les taux de bonnes détections (*Hit Rate*) sont meilleurs pour ces trois simulations incluant de multiples sources que pour celle n'incluant que les émissions d'Allemagne (B). Le maximum du paramètre HSS est observé lorsque les émissions de l'ensemble des régions émettrices sont prises en compte

dans les simulations. Néanmoins, on remarque que cette grandeur reste en dessous de la valeur de 0,3 considérée comme bon score pour les prévisions binaires.

L'exercice de modélisation de Zink *et al.* (2012) représente la première tentative de modélisation de la dispersion du pollen d'ambroisie par COSMO-Art. Depuis, l'ensemble des publications associées à l'utilisation du système COSMO-Art pour la modélisation du pollen d'ambroisie démontre les progrès réalisés, à la fois dans la représentation de la distribution de l'ambroisie (Skjøth *et al.* 2010, Thibaudon *et al.* 2014, Zink *et al.* 2017) et dans la représentation des processus aboutissant à l'émission des grains de pollen (Burki *et al.* 2019, Zink *et al.* 2013). Grâce à ces améliorations, COSMO-Art apparaît, au vu des éléments précédents, comme un système de modélisation particulièrement abouti et robuste pour la prévision du pollen d'ambroisie.

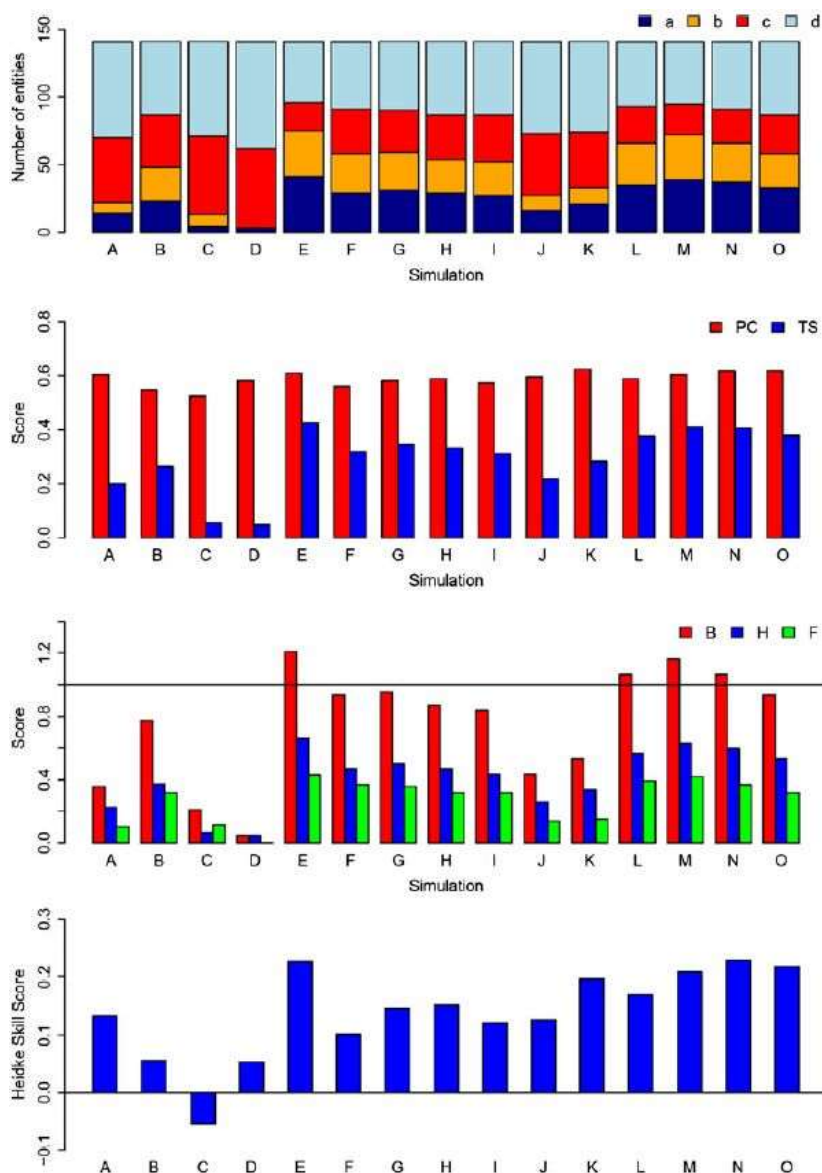


Figure 58. Scores de performances issus des matrices de contingences des 15 simulations Cosmo-Art réalisées (Zink *et al.* 2012)

3.3.4.2 Modèle de dispersion SILAM

Le modèle de chimie-transport SILAM, développé par le FMI (*Finnish Meteorological Institute*), est exploité pour modéliser les concentrations des polluants dans l'air ambiant, dont les pollens d'ambroisie, sur toute l'Europe (Prank *et al.* 2013). SILAM exploite plusieurs modèles phénologiques basés sur l'accumulation thermique pour les pollens de bouleau et d'olivier et sur des jours fixes du calendrier pour les herbes telles que l'ambroisie (Sofiev *et al.* 2006).

La distribution de la présence d'ambroisie exploitée par Prank *et al.* (2013) comme données d'entrée dans le modèle SILAM est tirée des sorties du modèle écologique développé précédemment par (Bullock *et al.* 2013). Il est à noter que dans ces travaux, c'est le modèle SILAM qui a été exploité pour modéliser les concentrations d'ambroisie actuelles et selon différents scénarios de changement climatique. Les données météorologiques exploitées sont tirées des prévisions archives de l'ECMWF (*European Centre of Medium-range Weather Forecasts*), à la résolution de 0.25° et au pas de temps de 3 heures. Les données tri-horaires sont interpolées linéairement pour fournir les variables nécessaires à la dispersion sur les pas de temps intermédiaires. Les simulations opérées concernent la période 2005-2011 (7 années).

La fraction ou proportion de la maille occupée par l'ambroisie est obtenue en multipliant la fraction d'occupation des sols favorisant l'infestation (zones agricoles et zones urbaines) par la probabilité d'occupation par l'ambroisie issue du modèle écologique. La quantité totale de pollen émis par maille (E_{total}) est une fonction logistique de l'indice de qualité climatique de l'habitat calculé par le modèle écologique :

$$E_{total} = \frac{A \times LU_{fraction} \times Occ \times E_{max}}{1 + e^{a \times (Q-b)}}$$

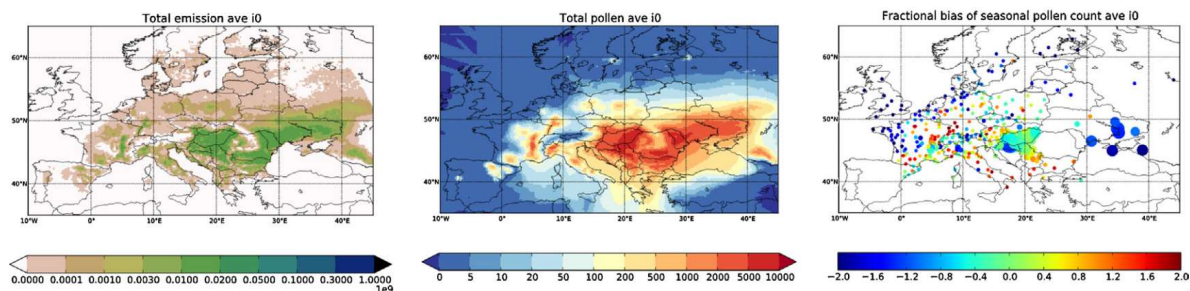
Où :

- A (m²) : surface de la maille ;
- $LU_{fraction}$: fraction d'occupation des sols favorisant l'infestation dans la maille (zones agricoles et zones urbaines) ;
- Occ : probabilité d'occupation de la maille par l'ambroisie issue du modèle écologique ;
- E_{max} : quantité de pollen émise par unité de surface dans les conditions optimales ;
- Q : indice de qualité climatique de l'habitat ;
- a et b : coefficients de la fonction logistique.

La paramétrisation des émissions exploitée par (Prank *et al.* 2013) est tirée des travaux de Helbig *et al.* (2004), précédemment décrits (cf. paragraphe 3.3.3). Les paramètres du modèle SILAM pour la modélisation des pollens d'ambroisie sont fournis dans le Tableau 12.

Tableau 12. Paramètres du modèle SILAM pour les pollens d'ambroisie (Prank *et al.* 2013)

<i>Logistic function of habitat climatic quality</i>	
Middle point (a)	0.88
Slope (b)	-16.0
Maximum emission (E_{max})	1.5e7 pollen/m ²
<i>Flowering start thresholds (2 sigma = 2.5%)</i>	
Photoperiod	14.5 h
Bioday	25 ± 10%
<i>Vegetation (bioday accumulation) start and flowering end (2 sigma = 97.5%) thresholds</i>	
Photoperiod	12.0 h
Daily mean temperature	7.5 C
Instant temperature	0.0 C
<i>Bioday accumulation</i>	
Minimum temperature	0.9 C
Maximum temperature	40 C
Optimal temperature	31.7 C
Maximum optimal photoperiod	14.5 h
<i>Pollen release (diurnal variations – bimodal normal distribution Martin <i>et al.</i>, 2010)</i>	
Peak 1 peak time (after sunrise)	135 min
Peak 2 peak time (after sunrise)	285 min
Peak 1 standard deviation	15 min
Peak 2 standard deviation	100 min
Fraction of pollen in peak 1	40%
<i>Other parameters</i>	
Pollen diameter	18 µm
Pollen density	800 kg/m ³
Emission injection height	ABL height



La taille des cercles à droite reflète l'abondance de pollen d'ambroisie sur la zone. Compte pollinique total défini comme la somme des concentrations moyennes journalières sur la saison.

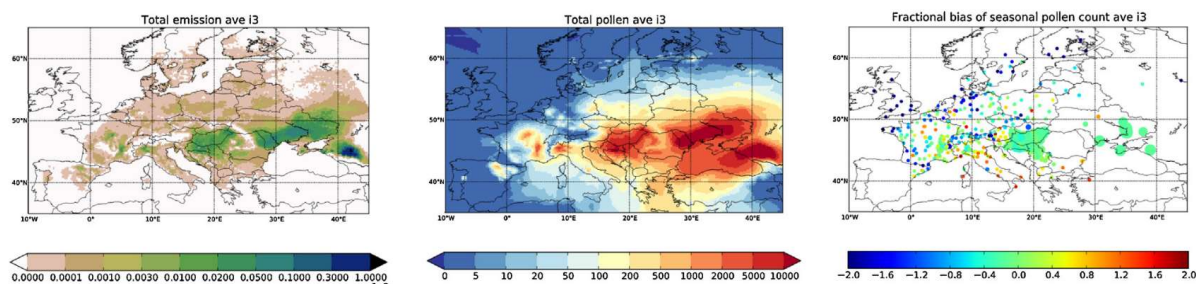
Figure 59. Émissions totales de pollen ($\text{pollen.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$) à gauche, compte pollinique total au centre, et biais fractionnel sur les comptes polliniques à droite selon pour la période 2005-2011 (en moyenne) à partir de la cartographie de distribution initiale (Prank *et al.* 2013)

Une première simulation (de référence) des concentrations de pollens d'ambroisie a été mise en place à partir de la cartographie d'abondance décrite précédemment (Figure 59) – sans calibration. La validation de ces sorties de modélisation a été réalisée à partir des mesures de pollens dans l'air ambiant de l'*European Aeroallergen Network (EAN)*¹⁷ qui dispose de données depuis 1974 sur plus de 250 stations en Europe. Ces mesures ont été complétées avec des données de sources indépendantes sur l'Ukraine, la Russie, et la Catalogne. Le biais fractionnel utilisé pour évaluer les performances de simulation est exprimé par $2 \times \frac{M-O}{M+O}$ où O est la valeur observée/mesurée et M est la valeur modélisée.

La corrélation spatiale entre les sorties de la première simulation et les mesures de pollens dans l'air était de 0,74, illustrant qu'en moyenne les résultats de modélisation sont plutôt bons. En revanche, les biais fractionnels montrent de très fortes sous-estimations des niveaux de pollen sur certaines régions, comme la Russie et l'Ukraine, et dans une moindre mesure en France et en Italie du Nord (Figure 59, à droite).

Un processus de calibration de la cartographie de distribution de l'ambroisie a ensuite été opéré en exploitant les rapports entre les comptes polliniques (annuels) mesurés et modélisés (Prank *et al.* 2013). Ces rapports sont calculés et appliqués sur la carte de distribution ; ce processus est répété 3 fois jusqu'à obtention d'une cartographie « satisfaisante » du compte pollinique moyen sur les sept années considérées. Il est à noter que la méthode d'interpolation des ratios sur les mailles ne disposant pas de mesures n'est pas précisée par les auteurs. Des variables auxiliaires auraient pu être utilisées, comme dans la méthodologie présentée au paragraphe 3.3.2.2 (Skjøth *et al.* 2010), tandis que l'interpolation utilisée par (Bullock *et al.* 2013) est sans doute, compte-tenu du motif du facteur d'ajustement, une méthode simple n'utilisant pas de variable auxiliaire. Aussi, le processus de calibration utilisé suppose que les écarts observés entre mesures et modélisations sont exclusivement liés à la cartographie de la distribution de l'ambroisie et non aux émissions ou au transport des pollens. Les paramétrisations du système de modélisation (relatifs à la phénologie, la libération des pollens, etc.) ne sont pas ajustées sur la base des résultats de calibration. On notera finalement qu'aucune validation croisée n'a été opérée sur la calibration ; une telle démarche aurait permis de consolider davantage les résultats. Le processus de calibration de la cartographie de distribution a permis d'améliorer la corrélation spatiale entre comptes polliniques mesurés et modélisés (qui passe à 0,89). Les cartes corrigées sont présentées dans la Figure 60.

¹⁷ <https://ean.polleninfo.eu/Ean/start>



Compte pollinique total défini comme la somme des concentrations moyennes journalières sur la saison.

Figure 60. Émissions totales de pollen ($\text{pollen.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$) à gauche, compte pollinique total au centre, et biais fractionnel sur les comptes polliniques à droite pour la période 2005-2011 (en moyenne) à partir de la cartographie de distribution corrigée (Prank *et al.* 2013)

Dans les travaux de (Bullock *et al.* 2013) exploitant également le modèle SILAM, la cartographie des facteurs de calibration utilisés sur les cartographies de distribution est fournie (Figure 61). Les cartographies brutes produisaient une sous-estimation des concentrations de pollen d'ambroisie en Europe de l'est et une forte surestimation en Europe de l'ouest – jusqu'à un facteur 10 000. Il est cependant impossible de savoir si ces conclusions peuvent être étendues aux données issues des modélisations de Prank *et al.* (2013).

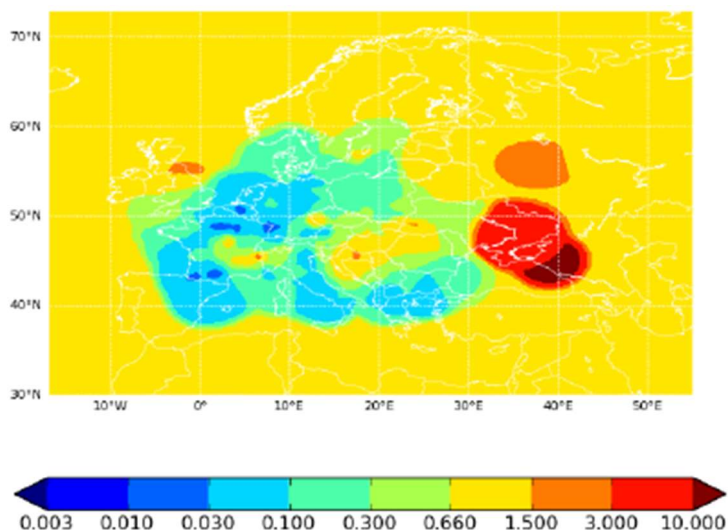


Figure 61. Carte des facteurs de correction des émissions de pollens d'ambroisie (Bullock *et al.* 2013)

La représentation des séries temporelles des comptes polliniques mesurées et simulés (moyennés sur la période 2006-2010 dans (Bullock *et al.* 2013) montrent également la surestimation des concentrations de pollens par le modèle avant calibration sur l'Europe de l'ouest et la sous-estimation sur l'Ukraine (En vert : le modèle brut (première simulation). En noir : la mesure. En violet : le modèle corrigé (après calibrage).

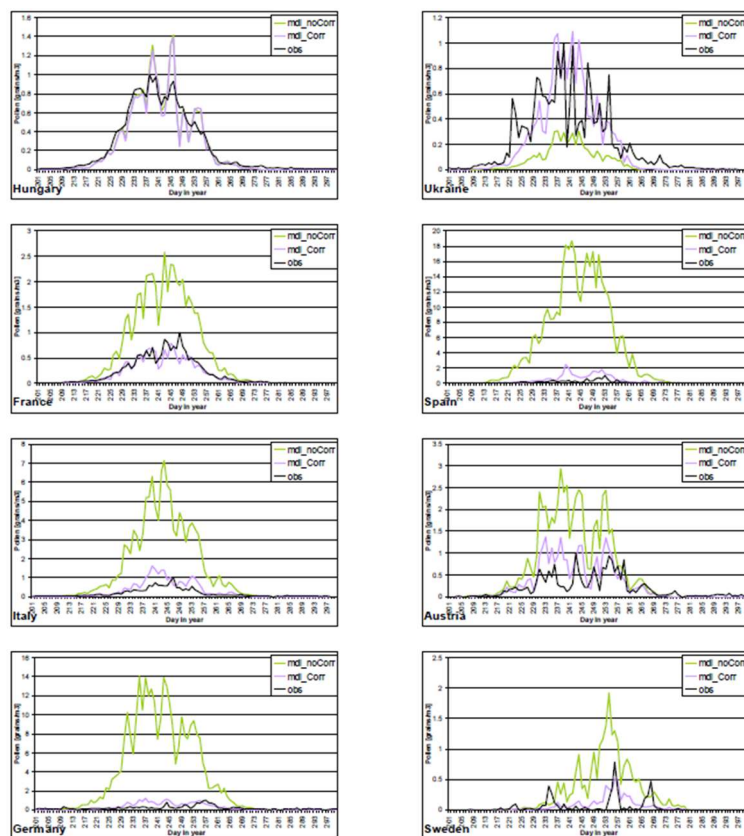
Figure 62). La correction appliquée permet de débiaiser sensiblement le modèle initial avec des écarts entre simulations et mesures très atténués. La même tendance est observée pour le nombre de dépassement journalier d'un certain seuil (En vert : le modèle brut (première simulation). En noir : la mesure. En violet : le modèle corrigé (après calibrage). Normalisé au nombre de jours de dépassements mesuré du seuil de 1 grain.m⁻³.

Figure 63). On remarquera tout de même que sur l'Europe de l'est, même après correction, la simulation ne parvient pas à représenter le nombre de jours de dépassement pour les seuils les plus faibles (seuils <20). La correction est donc plus efficace sur l'Europe de l'ouest, incluant la France.

Dans la suite de la publication de Prank *et al.* (2013), la temporalité de la saison pollinique mesurée et celle de la saison pollinique modélisée par SILAM sont comparées afin d'évaluer les performances de la modélisation SILAM en termes de dates de début, de milieu, et de fin

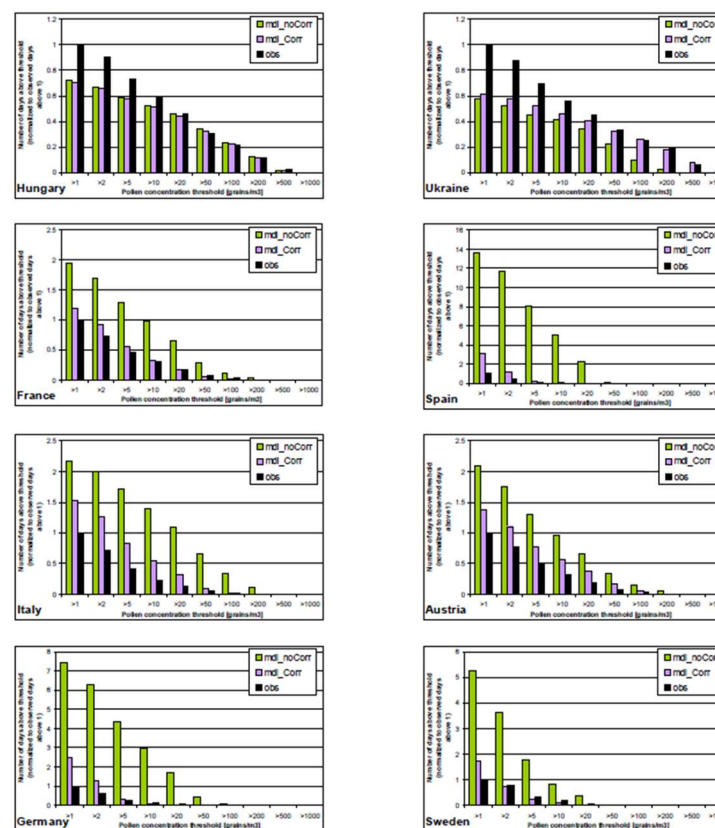
(Figure 64 et Figure 65). Les saisons polliniques sont les plus longues au niveau des régions infestées, elles commencent plus tôt et se terminent plus tard que partout ailleurs. La progression de la saison pollinique est plutôt bien modélisée dans l'ouest de l'Europe, en particulier en région Rhône-Alpes. Au niveau de la plaine de Pannonie, la durée de la saison pollinique est surestimée d'environ 2 jours au sud de la région (nord de la Serbie) et sous-estimée de 2 à 3 jours au nord de la plaine. En dehors des régions fortement infestées, les performances varient fortement ; ce constat est à mettre en relation avec une distribution de la plante plus disparate et donc une progression de saison pollinique plus difficile à prédire.

Les corrélations temporelles entre comptes polliniques annuels modélisés et comptes polliniques annuels mesurés sont au-dessus de 0,4 dans les régions les plus infestées (Figure 66). En dehors de ces régions, les corrélations sont très basses en raison des émissions faibles de pollens et de l'absence de signal fort – les pics de concentrations sont impactés quasi-exclusivement par le transport longue distance.



En vert : le modèle brut (première simulation). En noir : la mesure. En violet : le modèle corrigé (après calibrage).

Figure 62. Séries temporelles des comptes polliniques mesurés, issus de la première simulation, et issus de la simulation après calibrage (Bullock et al. 2013)



En vert : le modèle brut (première simulation). En noir : la mesure. En violet : le modèle corrigé (après calibrage). Normalisé au nombre de jours de dépassements mesuré du seuil de 1 grain.m⁻³.

Figure 63. Nombre de jours de dépassement de seuil pour les comptes polliniques mesurés, issus de la première simulation, et issus de la simulation après calibrage (Bullock et al. 2013)

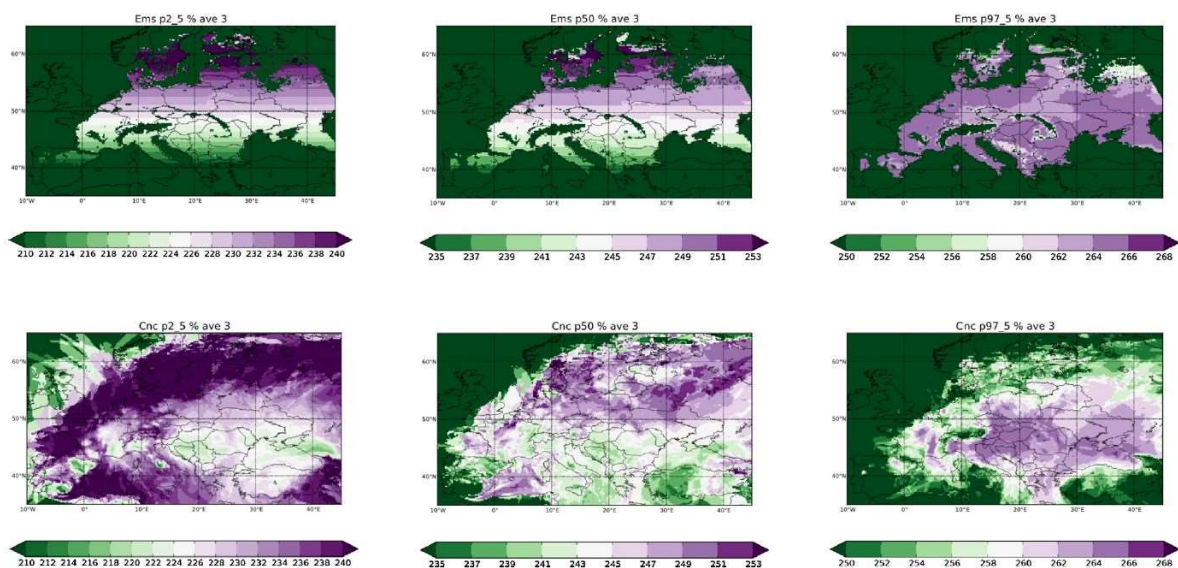


Figure 64. Progression de la saison en nombre de jours depuis le 1^{er} janvier (début à gauche, pic au centre, fin à droite) d'après simulations exploitant SILAM en haut (à 2,5%, 50%, et 97,5% des émissions) et d'après comptes polliniques annuels mesurés en bas (Prank *et al.* 2013)

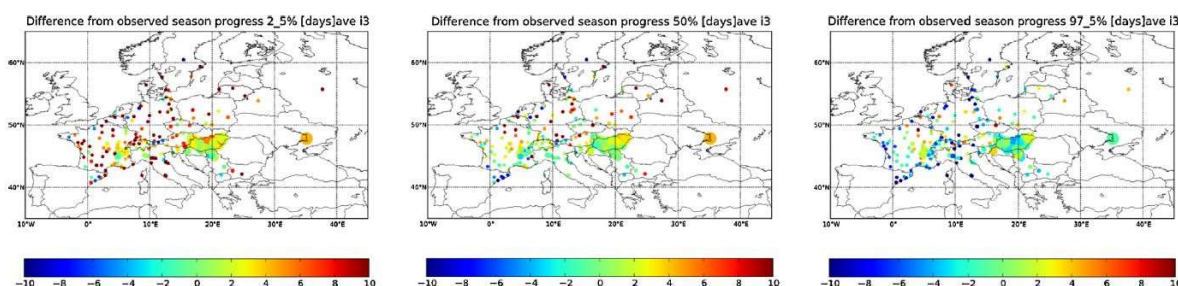


Figure 65. Précision de la progression modélisée de la saison pollinique donnée par la différence entre le nombre de jours depuis le 1^{er} janvier modélisés par SILAM et le nombre de jours depuis le 1^{er} janvier mesurés à 2,5% (gauche), 50% (centre) et 97,5% (droite) des émissions modélisées (Prank *et al.* 2013)

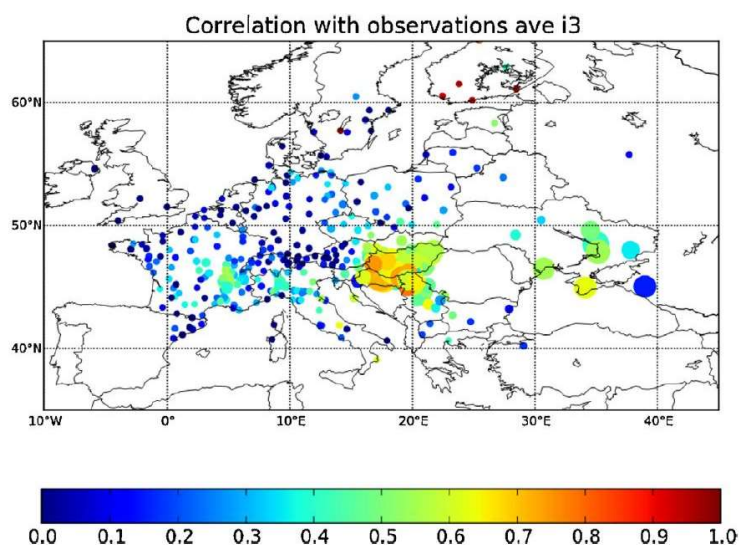


Figure 66. Corrélations temporelles entre comptes polliniques mesurés et comptes pollinique modélisés par SILAM sur la période 2005-2011 (séries temporelles saisonnières) (Prank *et al.* 2013)

La dernière étape de validation illustrée par Prank *et al.* (2013) concernait le nombre cumulé d'heures avec des concentrations dépassant un certain seuil : 5, 20, ou 100 grains/m³. Les cartographies du nombre d'heures cumulées avec des concentrations simulées dépassant ces seuils sont présentées en Figure 67. La comparaison de ces dépassements horaires selon concentrations simulées avec les dépassements horaires observés en stations est présentée en Figure 68 et Figure 69. Dans les régions infestées, les dépassements du seuil bas (5 grains/m³) sont reproduits de manière précise par les modélisations SILAM. L'écart entre les nombres d'évènements prédits et mesurés est inférieur à 10% (HR>0,9) ; une proportion faible (10%) de fausses alertes est enregistrée et 80% à 90% des évènements de dépassement sont

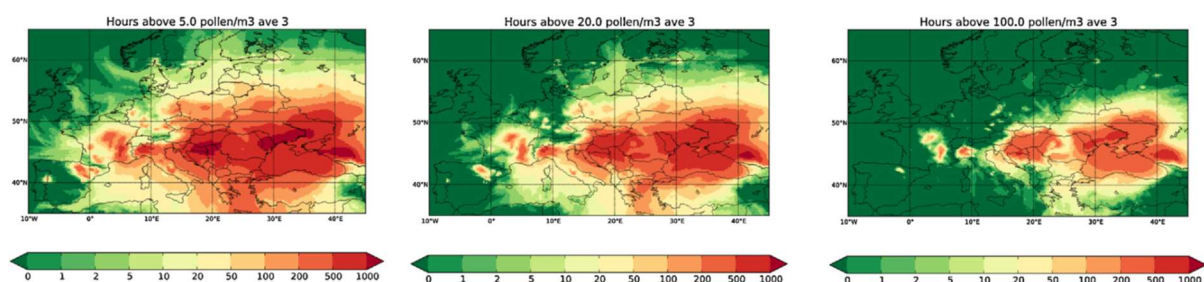


Figure 67. Nombre d'heures cumulées avec des concentrations horaires simulées par SILAM dépassant des seuils de 5 (gauche), 20 (centre), et 100 (droite) grains par m³ (Prank *et al.* 2013, Zink *et al.* 2017)

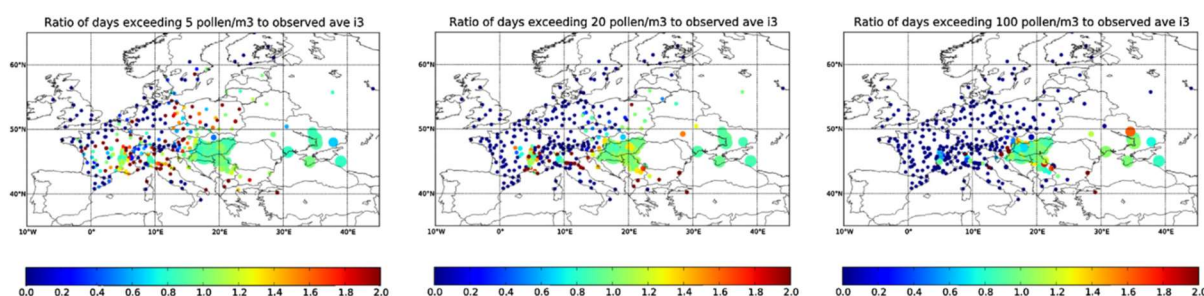


Figure 68. Comparaison (ratio) du nombre de jours avec dépassements horaires selon modélisation par SILAM et selon mesures pour les seuils 5 (gauche), 20 (centre) et 100 (droite) grains par m³ (Prank *et al.* 2013)

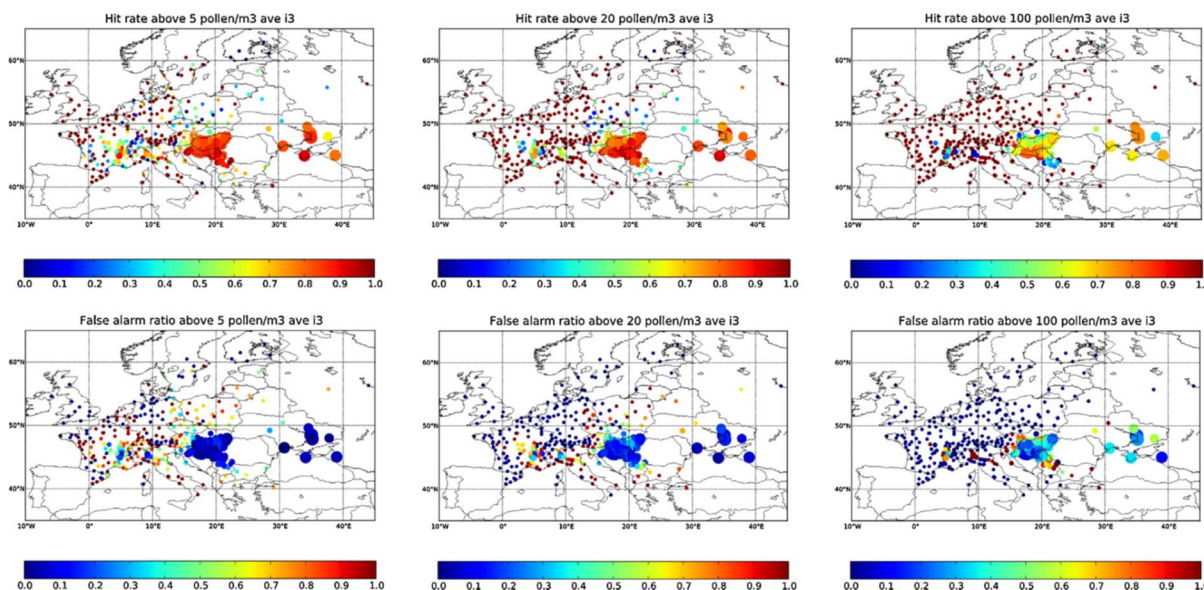


Figure 69. Scores statistiques de bonne détections (haut) et mauvaise détections (bas) par la modélisation SILAM du nombre de jours avec dépassements horaires pour les seuils 5 (gauche), 20 (centre) et 100 (droite) grains par m³ (Prank *et al.* 2013)

bien prédits. Pour les seuils supérieurs, les dépassements sont moins nombreux et donc plus difficiles à prévoir ; environ 30% de fausses alertes sont enregistrées par endroit et la moitié des événements ne sont pas prédits.

SILAM modélise les concentrations les plus élevées dans la plaine de Pannonie et en Ukraine correspondant aux zones les plus infestées, avec également des *hots-spots* dans la vallée du Rhône et dans la plaine du Po. Néanmoins, les cartes de concentrations modélisées montrent que des concentrations pouvant déclencher des allergies peuvent apparaître partout en Europe en raison du transport longue-distance (Figure 67). L'est de l'Ukraine est davantage impacté que le nord par ce phénomène. Des concentrations supérieures à 100 grains/m³ peuvent être mesurées à plusieurs milliers de kilomètres des sources. Des barrières naturelles existent (Alpes, Carpathes, et Pyrénées) permettant de « protéger » des pays comme l'Allemagne de l'ouest, le Benelux, et l'Espagne. Plus généralement, les pollens sont transportés d'ouest en est en Europe, ce qui explique que certaines régions sont relativement épargnées (le nord de l'Europe, la Scandinavie et le Royaume-Uni et l'Espagne).

La cartographie de présence de l'ambroisie utilisée par Prank *et al.* (2013) constitue la partie la plus incertaine de la chaîne de modélisation. L'exercice de validation mené dans le cadre des travaux a été réalisé en comparant les sorties de modélisation avec les observations : les erreurs de modélisation correspondantes ont été attribuées aux émissions et à la distribution de la plante.

La paramétrisation des émissions a été examinée et des tests de sensibilité spécifiques ont été effectués sur la modélisation de la floraison. Il en ressort que la floraison de l'ambroisie est davantage influencée par la variation de photopériode que par la température.

La calibration des émissions a été réalisée sur la base des comptes polliniques moyennés pour les 7 années disponibles. La version actuelle de SILAM considère donc l'émission totale saisonnière comme constante ; en conséquence, le modèle aura tendance à sous-estimer la dynamique des concentrations saisonnières cumulées (i.e. sous-estimation de la variabilité interannuelle) si l'ambroisie prolifère. Une autre limite des travaux de Prank *et al.* (2013) concerne l'efficacité de la calibration appliquée, qui est très dépendante de l'abondance des observations. Dans le processus de calibration, les incertitudes liées à la dispersion sont supposées moindres que celles du terme source (ou donnée d'entrée). Elles existent mais sont identifiées et maîtrisées : incertitudes sur le mélange vertical, incertitudes sur la paramétrisation du dépôt, incertitudes sur la qualité des données météorologiques. Les incertitudes liées au terme source sont, au contraire, mal connues et ne peuvent pas être quantifiées ou maîtrisées avec les données disponibles.

La modélisation des pollens d'ambroisie par SILAM est performante en Europe centrale. La bonne représentativité spatiale des capteurs du réseau EAN est à noter dans cette région, rendant le processus de calibration efficace sur cette zone. L'évolution des comptes polliniques annuels moyennés (mesure et modélisation de SILAM) sur les stations hongroises est présentée en Figure 70 (Prank *et al.* 2013). Une baisse des concentrations est visible sur

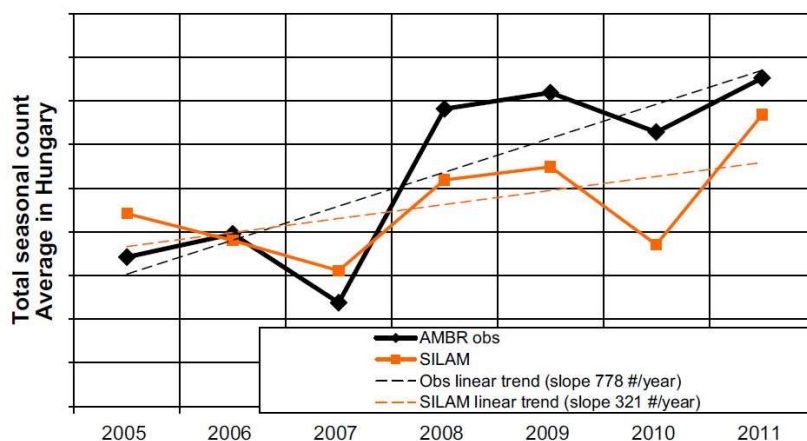


Figure 70. Comptes polliniques annuels moyennés (mesures en noir et modélisation SILAM en orange) sur les stations de Hongrie entre 2005 et 2011 (Prank *et al.* 2013)

Trait plein : moyennes annuelles.
Trait pointillé : tendance générale.

l'année 2007 (été exceptionnellement sec), témoignant de la forte variabilité interannuelle des pollens. Une tendance générale à l'augmentation des concentrations entre 2005 et 2011 est observée à la fois au niveau des mesures et des modélisations. Dans la réalité, cette augmentation s'explique à la fois par la prolifération de la plante et/ou par les caractéristiques spécifiques des saisons (précipitations, vents, mélanges). Mais il est tout de même à noter que SILAM, même avec une cartographie de la distribution de l'ambroisie constante sur toute la période, reproduit en partie cette tendance générale au cours du temps (et donc en lien avec la variabilité des saisons polliniques).

3.3.4.3 Modèle de chimie-transport CHIMERE

Le modèle de dispersion et de transport CHIMERE a été développé par l'Institut Pierre-Simon Laplace CNRS et l'INERIS ; il est usuellement utilisé au sein des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air pour la modélisation et la prévision de la pollution de fond. CHIMERE est également exploitée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes pour la modélisation de la dispersion des pollens, notamment ceux d'ambroisie (Atmo Rhône-Alpes 2010, Guillaud 2017). Les pollens y sont traités comme des particules dont le diamètre varie entre 10 et 50 μm . Le maillage est à la résolution de 6x6 km. La donnée d'entrée (facteur source) considérée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes avec l'utilisation de CHIMERE a été décrite précédemment (cf. paragraphe 3.3.2.1).

Sur la saison pollinique 2010, la corrélation entre les concentrations modélisées et les concentrations mesurées aux stations du RNSA dans la région atteint 0,5. L'erreur moyenne de CHIMERE sur la saison 2010 est de 18 grains par m^3 , ce qui correspond à une erreur relative moyenne de 69%.

Afin de corriger ses prévisions, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a recours à l'assimilation de données en post-traitement. Cette approche vise à corriger les sorties de modèle à l'aide des données mesurées ; deux méthodes sont utilisées :

- Krigeage avec dérive externe simple : les sorties du modèle CHIMERE sont utilisées en dérive externe ;
- Krigeage avec dérive externe avec variable auxiliaire : en plus des sorties du modèle CHIMERE, l'indicateur de probabilité de présence d'ambroisie à 1x1 km est utilisé (cf. paragraphe 3.3.2.1).

Les comparaisons des mesures journalières avec les modélisations brutes et assimilées selon les deux méthodes sont présentées en Figure 71 pour deux stations de mesures tests. L'assimilation des données permet de corriger les résultats du modèle CHIMERE pour les rendre plus cohérents avec les mesures. La méthode exploitant la variable auxiliaire ne permet cependant pas d'augmenter significativement les performances par rapport au krigeage avec dérivé externe simple.

Le risque allergique communiqué au grand public par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est directement déduit de la concentration journalière établie par la chaîne de modélisation selon la correspondance visible en Figure 22. Le nombre de jours avec un risque allergique très élevé a été calculé à partir des modélisations CHIMERE (brutes et assimilées) pour la saison 2010 et a été comparé au nombre de jours avec un risque allergique très élevé tel que défini par le RNSA, pour chaque station de mesures dans la région (Figure 72). Les valeurs sont globalement proches entre modélisations CHIMERE assimilées et données du RNSA, bien que le nombre de jour tende à être sous-estimé à Coux et surestimé à Roussillon.

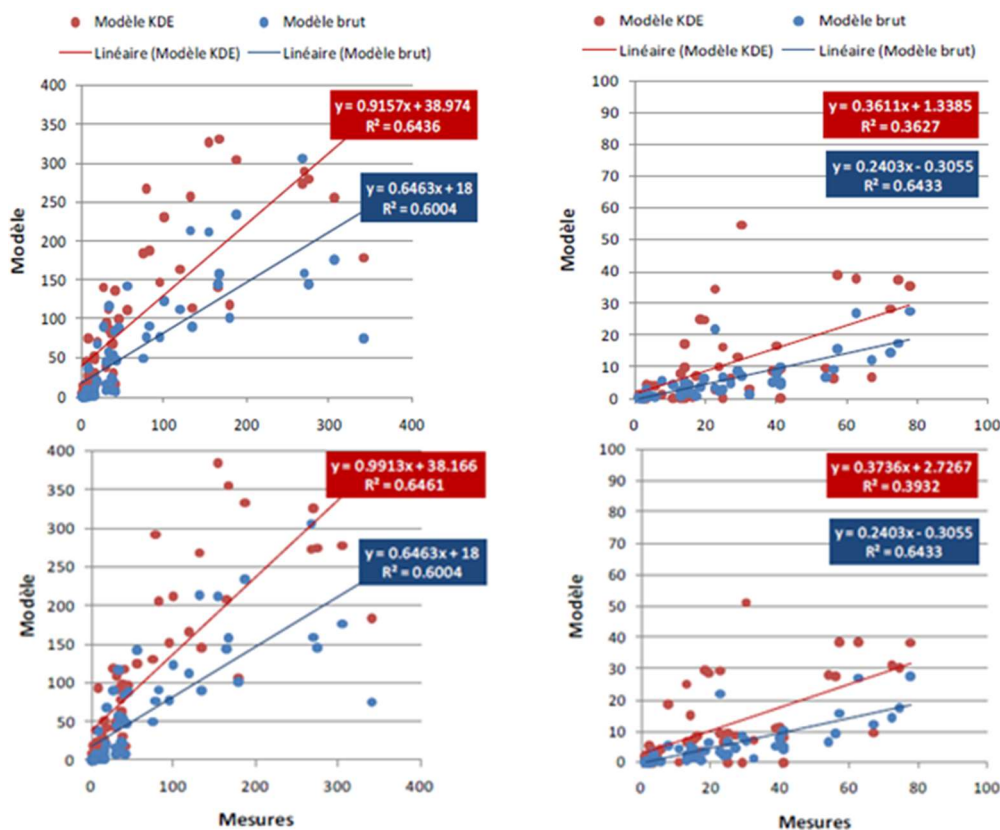


Figure 71. Comparaison des mesures avec les sorties brutes CHIMERE (bleu) et les sorties assimilées (rouge) selon krigeage avec dérive externe (haut) et Krigeage avec dérive externe avec variable auxiliaire (bas) pour les stations de Roussillon (gauche) et Coux (droite) (Atmo Rhône-Alpes 2010)

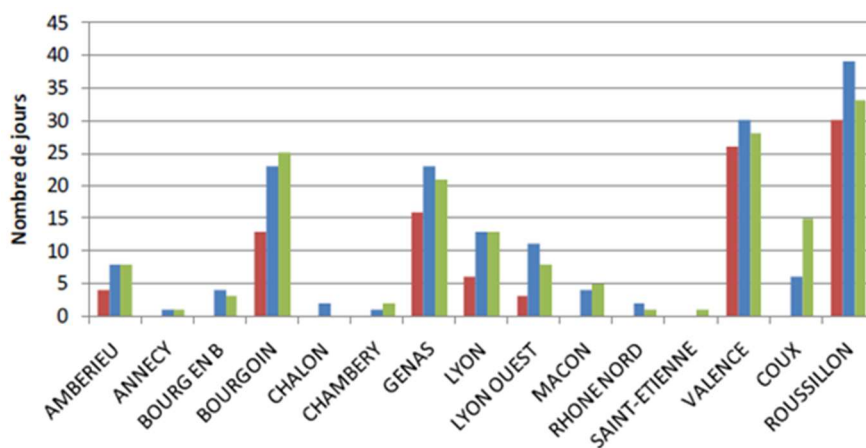


Figure 72. Nombre de jours avec un risque allergique très élevé selon modélisations CHIMERE brutes (rouge), modélisations CHIMERE assimilées (bleu), et données mesurées du RNSA (vert) (Atmo Rhône-Alpes 2010)

3.3.4.4 Évolution selon différents scénarios futurs

Les deux systèmes de modélisation COSMO-Art et SILAM présentés dans les paragraphes précédents sont exploités quotidiennement par les organismes de surveillance de la qualité de l'air à l'échelle européenne pour la prévision à court-terme des polluants atmosphériques chimiques ou biologiques, notamment les pollens d'ambroisie.

L'utilisation de modèles de prolifération de l'ambroisie ou de dispersion de ses pollens permet également d'évaluer l'évolution à long terme de la présence de la plante ou des concentrations

de pollens selon différents scénarios futurs en lien avec le changement climatique (réchauffement) ou les changements d'occupation des sols selon les modes de développement (urbanisation, politiques agricoles, etc.), ou sur le contrôle de la prolifération de la plante (politiques publiques). Ces changements sont attendus comme ayant un impact sur la propagation de l'ambroisie en Europe et/ou les comptes polliniques saisonniers totaux.

L'allongement de la saison pollinique de l'ambroisie a été associé au réchauffement climatique et au décalage des gels en automne (Ziska *et al.* 2011). Les modèles de dispersion sont adaptés pour représenter ce type d'effet en particulier dans les régions septentrionales où la floraison est pilotée par la température moyenne journalière et le gel. Il est à noter que le facteur impactant le plus la paramétrisation des émissions des pollens d'ambroisie – la photopériode – n'est pas modifiée par le changement climatique (Prank *et al.* 2013).

Les résultats des scénarisations de changement climatique des deux projets européens ATOPICA et *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe* sont présentés dans ce paragraphe. Le premier exploite les modèles de chimie-transport RegCM et CHIMERE tandis que le second exploite le système SILAM. Les modèles écologiques mis en place dans le cadre de ces projets ont été présentés dans le paragraphe 3.3.2.3. Ces modèles écologiques ont été exploités pour réaliser des scénarisations futures de distribution d'ambroisie en lien avec le changement climatique et l'évolution de l'occupation des sols.

ATOPICA

ATOPICA avait pour objectif d'évaluer et modéliser l'influence du changement climatique, de la qualité de l'air et de l'occupation des sols sur la distribution des adventices et des pollens en lien avec le risque pour la santé humaine (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015).

Les auteurs ont développé une chaîne de modélisation permettant la modélisation des pollens d'ambroisie et de bouleau sur deux périodes : 1986-2005 (période actuelle disposant de mesures) et 2041-2060 (pour les scénarisations futures à long terme). Ce système exploite un modèle écologique de prolifération de l'ambroisie précédemment décrit (cf. chapitre 3.3.2.3) et un modèle météorologique à l'échelle régionale (WRF, développé par le *National Center for Atmospheric Research*). Deux modèles de chimie-transport, CHIMERE et RegCM, ont été utilisés pour modéliser la dispersion des pollens. Ce travail a permis d'identifier les conditions météorologiques et des conditions climatiques favorisant les forts niveaux de concentrations en pollens dans différentes régions européennes.

Deux scénarios climatiques RCP (*Representative Concentration Pathway*, développé par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ont été considérés dans les prédictions de (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015, Pachauri *et al.* 2014) (Figure 73). Ils sont tous deux basés sur des hypothèses concernant les trajectoires des émissions de gaz à effet de serre au cours du temps, traduites en termes de forçage radiatif du CO₂. Dans le scénario RCP8,5, les concentrations en gaz à effet de serre ne cessent d'augmenter tandis que le scénario RCP4,5 est considéré « modéré » – les concentrations en CO₂ augmentent puis se stabilisent. La modification de l'occupation des sols a également été prise en compte dans les analyses en utilisant les scénarios CMIP5 (*coupled model intercomparison project*) du programme mondial de recherche sur le climat (Hurt et al. 2006).

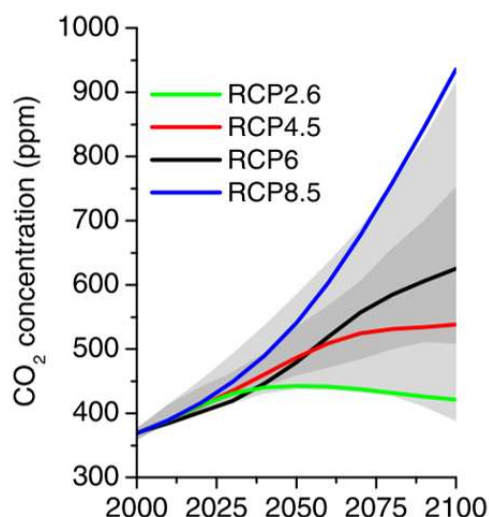


Figure 73. Évolution des concentrations en CO₂ en fonction de quatre scénarios de changement climatique RCP (van Vuuren *et al.* 2011)

Un processus de calibration de la cartographie de densité de l'ambroisie a été appliquée dans ATOPICA sur la base de la comparaison entre les mesures (comptes polliniques) et les résultats des modèles. Ce processus de calibration suppose que les erreurs de modélisation ne sont liées qu'à la distribution spatiale de la plante. Les calibrations ont été spatialisées selon deux méthodes différentes pour les deux systèmes de modélisation :

- Pour CHIMERE, les stations de mesures des pollens en Europe ont été regroupées : France (n=19), Italie (n=14), Allemagne et Suisse (n=3), Croatie (n=11), Autriche (n=2), et Hongrie (n=2). Les ratios moyens entre valeurs mesurées et valeurs modélisées pour chacun des groupes de stations ont été spatialisés selon une méthode d'interpolation simple (en inverse de distance) avant d'être appliqués comme facteurs correctifs de calibration.
- Pour RegCM, les facteurs correctifs ont été établis pour chacune des stations de mesure dans un processus de minimisation plus complexe et plus fin que celui utilisé pour CHIMERE.

La distribution finale de l'ambroisie pour chaque maille prend la forme suivante :

$$D_0(x, y) = I_0 \times LU_0(x, y) \times CI_0(x, y) \times F_0(x, y)$$

Où :

- I_0 représente la valeur maximale de la distribution calibrée correspondant au taux d'infestation maximal dans les conditions d'habitat optimal pour l'ambroisie. Il est calculé d'après les observations en plaine de Pannonie et prend les valeurs de 0,01 pour CHIMERE et 0,02 pour RegCM ;
- $LU_0(x, y)$ correspond à la surface des terres utilisées (terres cultivées et urbanisées) ;
- $CI_0(x, y)$ désigne un indice décrivant l'adéquation climatique pour l'ambroisie ;
- $F_0(x, y)$ désigne le taux d'infestation compris entre 0 et 1.

Des écarts importants apparaissent entre les deux distributions spatiales de la plante après correction, jusqu'à un facteur 2 dans certaines zones (Figure 74). Ces différences sont liées aux méthodes de calibration utilisées et aux modèles de dispersion eux-mêmes. La densité de la plante obtenue après calibration pour RegCM est plus importante que celle obtenue après la calibration de CHIMERE. Cette différence est en partie due au facteur I_0 qui diffère entre les deux modèles. Le processus de calibration modifie donc de manière importante la donnée d'entrée (distribution de la plante) initialement commune et qui devrait rester indépendante du modèle exploité.

La comparaison des comptes polliniques mesurés en stations et des valeurs modélisées par les deux modèles est présentée en Figure 75. Avant calibration, CHIMERE surestime très fortement les mesures, jusqu'à un facteur 4 ; la conclusion est similaire pour RegCM mais

dans une moindre mesure. Le modèle RegCM montre de meilleures performances prédictives que le modèle CHIMERE. En effet, les coefficients de corrélation spatiale entre valeurs mesurées et modélisées sont respectivement de 0,75 et 0,50 ; les erreurs moyennes quadratiques normalisées sont quant à elles égales à 49,9 et 158,3, respectivement, avant calibration. Après calibration, les performances de CHIMERE sont grandement améliorées, mais le modèle RegCM reste plus performant.

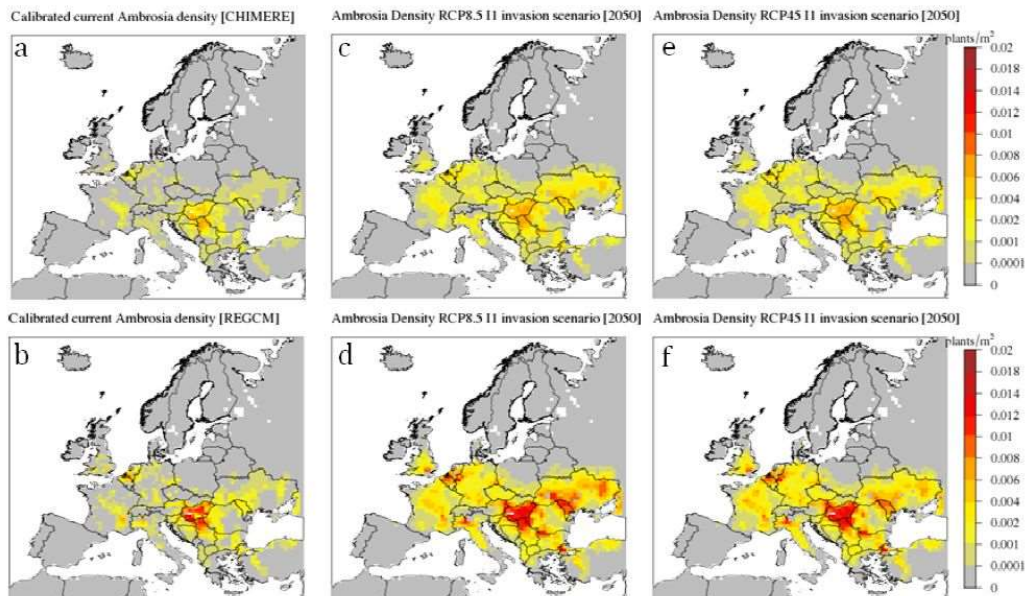


Figure 74. Distributions géographiques de l'ambroisie après processus de calibration pour CHIMERE (en haut) et RegCM (en bas) sur la période actuelle (à gauche) et deux scénarios climatiques futurs (au centre et à droite) (Hamaoui-Laguel et al. 2015)

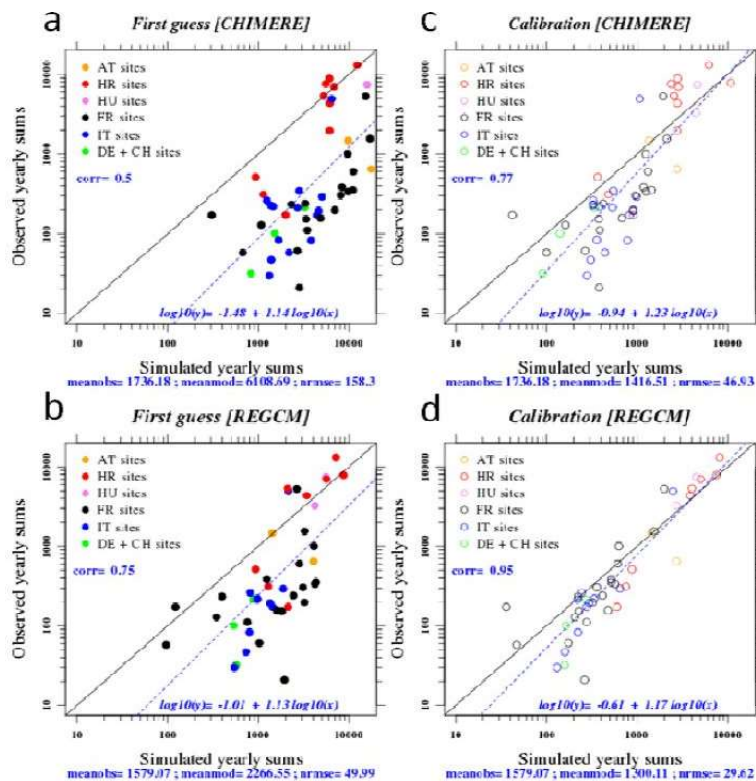


Figure 75. Comparaison des données mesurées et des valeurs modélisées avant calibration (gauche) et après calibration (droite) pour les modèles CHIMERE (haut) et RegCM (bas) (Hamaoui-Laguel et al. 2015)

Un jeu de données mesurées « test » a été exploité pour valider la calibration opérée avec le modèle CHIMERE. La corrélation spatiale obtenue n'est que légèrement dégradée (0,73), tout

comme l'erreur quadratique moyenne (48,4), ce qui permet de valider la robustesse du processus de calibration. Il est à noter que cet exercice de validation, normalement indispensable, n'a pas été mené par les auteurs pour le modèle RegCM.

Les cartographies des comptes polliniques annuels pour chaque période de temps (actuelle et future) et chacun des scénarios de changement climatique (RCP4,5 et RCP8,5) sont présentées en Figure 76 pour les deux modèles exploités. Les deux scénarios de changement climatique prévoient un accroissement des concentrations de pollens d'ambroisie sur de larges régions d'Europe, et ce sur des régions aujourd'hui non infestées. L'augmentation prévue varie d'un facteur 4 pour le scénario modéré RCP4,5 à un facteur 4,5 pour le scénario pessimiste RCP8,5. De manière surprenante, les cartographies des comptes polliniques futurs semblent visuellement évoluer à l'inverse de la densité de la plante. En effet, les concentrations simulées par CHIMERE sont localement (en particulier sur la plaine de Pannonie et en Europe de l'est) beaucoup plus importantes que celles simulées par RegCM alors que la densité de la plante considérée par RegCM dans ces zones est plus importante que celle considérée par CHIMERE.

(Hamaoui-Laguel *et al.* 2015) ont ensuite réalisé des analyses de sensibilité permettant d'identifier les contributions des différents facteurs inclus dans les scénarisations :

- Contribution du changement climatique sur la production, l'émission et la dispersion des pollens, considérant une distribution de l'ambroisie établie et en ne considérant pas la propagation des graines ;
- Contribution de la propagation des graines sur les niveaux de pollens en ne considérant pas le changement climatique ;
- Contribution du changement climatique sur la qualité de l'habitat pour l'ambroisie, en ne considérant ni la propagation des graines ni la contribution du changement climatique sur la production, l'émission et la dispersion du pollen.

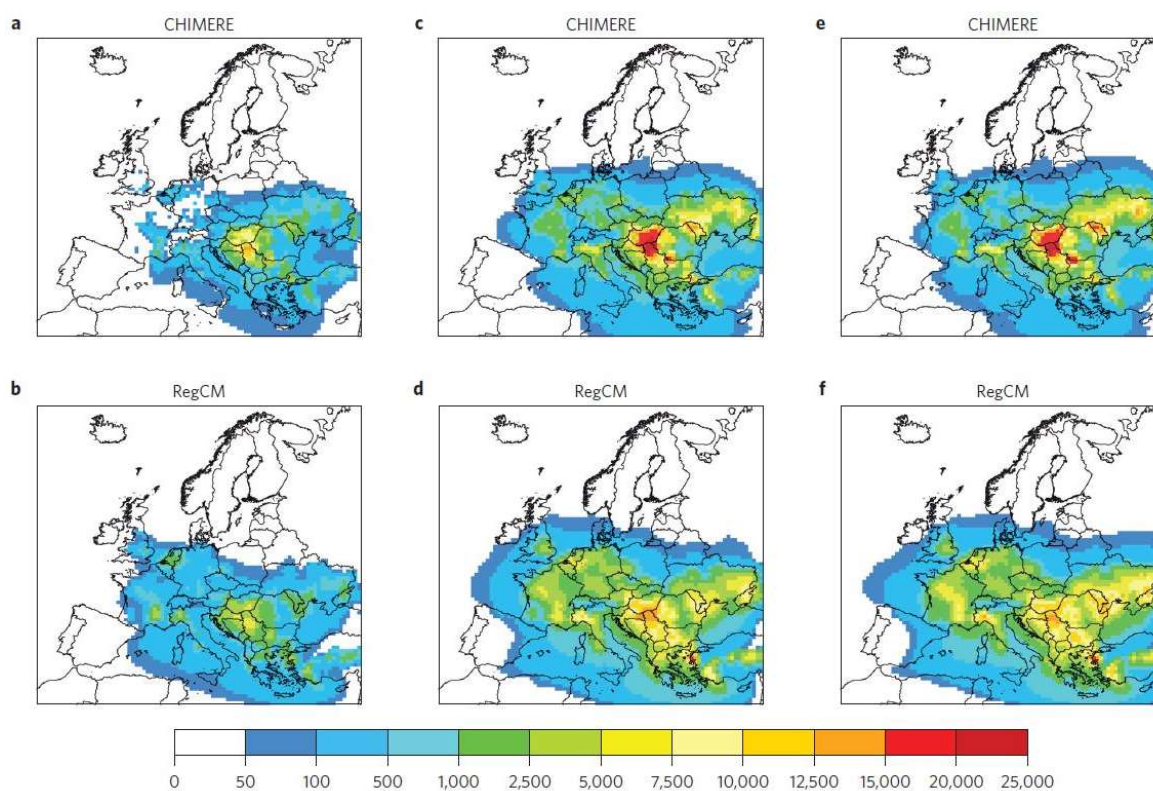
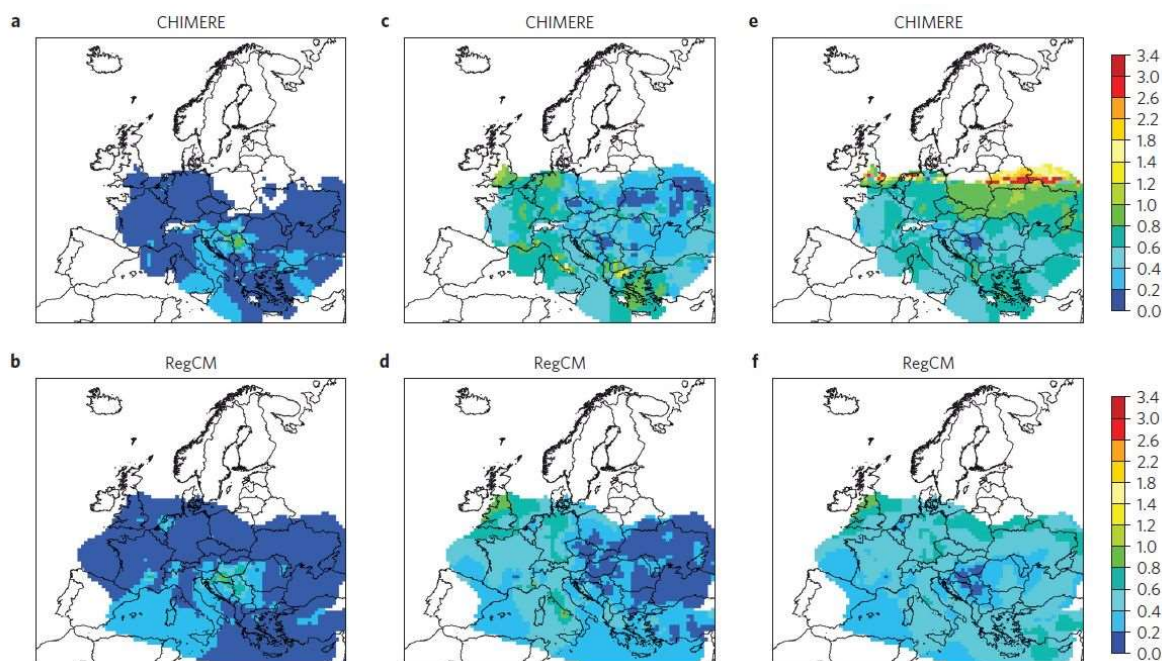


Figure 76. Comptes polliniques moyens annuels simulés par CHIMERE (haut) et RegCM (bas) pour la période actuelle (1986-2005, gauche) et la période future (2041-2060) selon les scénarios de changement climatique modéré (RCP4,5, centre) et pessimiste (RCP8,5, droite) (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015)

L'impact du changement climatique (en l'absence de propagation de la plante) sur les comptes polliniques futurs a été estimé entre 13% et 17% pour CHIMERE et RegCM, respectivement (Figure 77). La propagation des graines est quant à elle responsable d'une augmentation de 44% et 29% des concentrations de pollens dans l'air pour CHIMERE et RegCM, respectivement, et plus particulièrement dans le nord de l'Europe. L'impact du changement climatique limité à la qualité de l'habitat accroît l'infestation constatée dans l'est de l'Europe, vers l'Ukraine et l'ensemble des régions des Balkans. Cependant, ces résultats sont à prendre avec précaution en raison des données sur la distribution de la plante limitées ou de moindre qualité dans ces régions. Il est à noter par ailleurs que les concentrations simulées par CHIMERE en Ukraine et en Biélorussie dans le cas de cette troisième analyse de sensibilité sont très surprenantes avec des contributions supérieures à 100% (Figure 77) – ce point n'est pas discuté par les auteurs mais pourrait être lié à l'influence des conditions aux limites ou à un problème dans les simulations.



a,b : contribution du changement climatique sur la production, l'émission et la dispersion du pollen (sans propagation des graines) ; c,d : contribution de la propagation des graines (sans changement climatique) ; e,f : contribution du changement climatique seulement sur le caractère favorable de l'habitat.

Figure 77. Contributions de différents facteurs aux comptes polliniques relatifs au scénario de référence 2050 (RCP8,5) (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015)

L'impact de l'extension combinée de la distribution de l'ambroisie (liée à la propagation des graines) et de la modification du caractère favorable de l'habitat en lien avec le changement climatique est évalué à 43% pour les concentrations modélisées par RegCM et 70% pour les concentrations modélisées par CHIMERE. Le reste (57% et 30%, respectivement) est attribué à la production de pollens, leur libération, et leur dispersion en lien avec l'extension de la distribution. Potentiellement, compte-tenu de la contribution « anormale » du changement climatique sur la qualité de l'habitat sur les comptes polliniques en Ukraine et Biélorussie pour le modèle CHIMERE, le chiffre de 70% peut être surestimé pour la contribution liée à l'extension de la distribution de l'ambroisie.

(Hamaoui-Laguel *et al.* 2015) ont finalement estimé l'impact de différents scénarios de propagation des graines d'ambroisie (modes de propagation et flux) sur la distribution géographique de la plante et sur les niveaux de pollens modélisées par RegCM et CHIMERE aux horizons 2041-2060. Deux scénarios ont été considérés : rapide et lent – le scénario modéré correspondant à la simulation de référence. Ils ont été définis en fixant différentes valeurs d_0 (cf. paragraphe 0) : 1,26 ; 0,63 et 0,32 pour les scénarios rapide, modéré, et lent, respectivement. Les cartographies de distribution de la plante et de concentrations des pollens

correspondantes (deux scénarios et deux modèles) sont disponibles dans la Figure 78 et la Figure 79. Entre les scénarios rapide et lent de propagation des graines, la densité de présence de l'ambroisie varie d'un facteur 5,6 à 6,1 selon le scénario climatique envisagé (RCP4,5 et RCP8,5 respectivement). Les comptes polliniques modélisés varient en conséquence et de manière importante. Dans le cas d'une propagation des graines rapide, les concentrations en pollens prédites par RegCM et CHIMERE pour 2041-2060 atteignent ou dépassent les niveaux actuellement rencontrés dans la plaine de Pannonie et ce pour une grande partie de l'Europe, y compris en France. Même en considérant une propagation rapide et un scénario climatique pessimiste, les niveaux de pollens les plus importants s'observent toujours en Europe centrale et en Europe de l'est. Dans le cas d'une propagation des graines lente, l'évolution des comptes polliniques en 2041-2060 dépend plus du changement climatique (impactant la production des grains de pollen et leur transport) que de la prolifération de la plante.

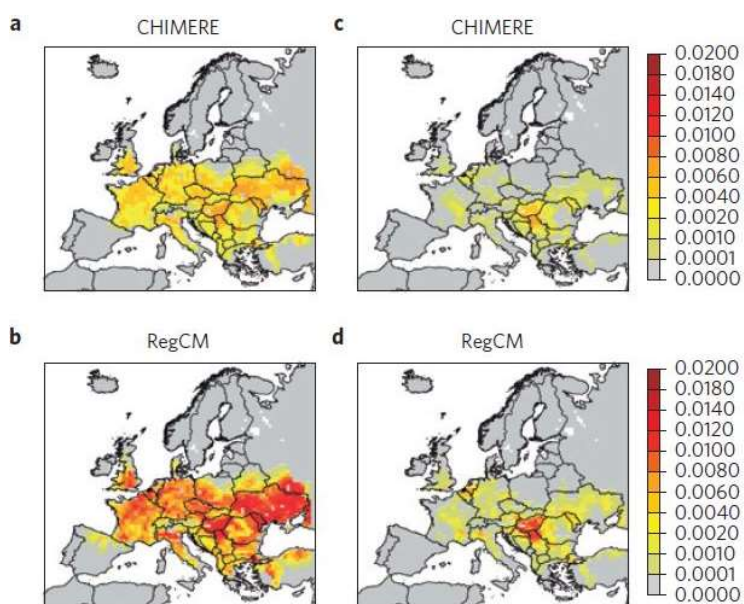


Figure 78. Impact des scénarios rapide (gauche) et lent (droite) de propagation de l'ambroisie sur la distribution de la plante en 2041-2060 pour le scénario de changement climatique pessimiste (RCP8,5) et les modèles CHIMERE (haut) et RegCM (bas)

Présence de la plante exprimée en nombre de plantes par m².

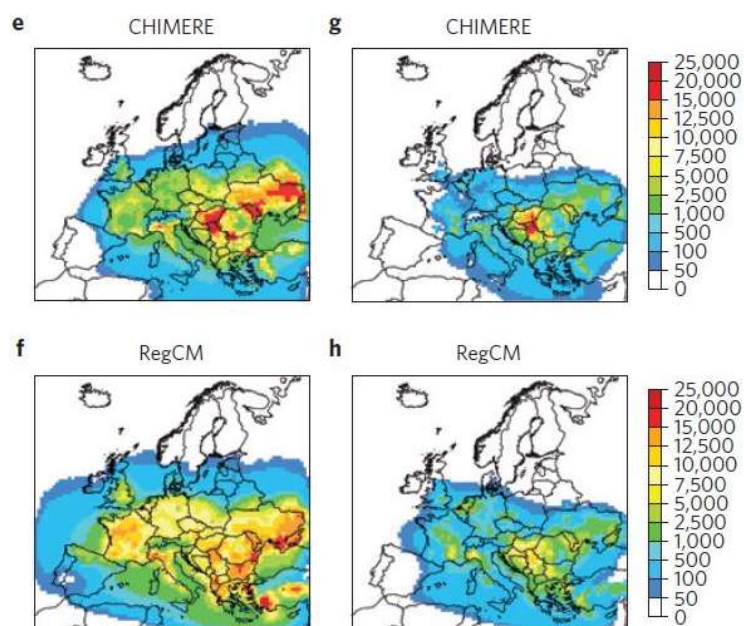


Figure 79. Impact des scénarios rapide (gauche) et lent (droite) de propagation de l'ambroisie sur les comptes polliniques annuels en 2041-2060 pour le scénario de changement climatique pessimiste (RCP8,5) et les modèles CHIMERE (haut) et RegCM (bas)

Comptes polliniques annuels exprimés en grains par m³.

Les sorties des modèles RegCM et CHIMERE ont notamment servies à produire des cartographies des comptes polliniques mensuels pour la période actuelle et future (Lake *et al.* 2017). Ces cartographies modélisées, disponibles dans la Figure 80, montrent un accroissement de la saison pollinique en cohérence avec la littérature (Ziska *et al.* 2011). La

saison débuterait plus tôt, et ce particulièrement en France et en Italie, en raison d'un développement de la plante plus rapide. Au maximum de la saison pollinique, les modèles prédisent une augmentation des niveaux de pollens dans l'air ambiant dans toute l'Europe et potentiellement au niveau des zones géographiques éloignées des zones infestées actuelles. De la même manière, les modèles prédisent une saison plus longue en raison du décalage des périodes de gel.

Une limite de l'approche de (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015) inclut la modélisation très simple de la propagation de l'ambroisie, basée sur les seules variables d'occupation des sols et du caractère favorable du climat ; aucune validation de cette modélisation n'est mentionnée par les auteurs. De plus, le processus de calibration suppose que les erreurs de modélisation ne sont liées qu'à la distribution géographique de la plante, ce que ne corroborent pas les facteurs correctifs, très différents, obtenus pour chacun des deux modèles (RegCM et CHIMERE). Enfin, la base de données des comptes polliniques mesurés, exploitée pour la calibration des données d'entrée et la validation des performances, est très réduite. Avec une couverture spatiale insuffisante, la calibration peut en effet introduire des artefacts erronés.

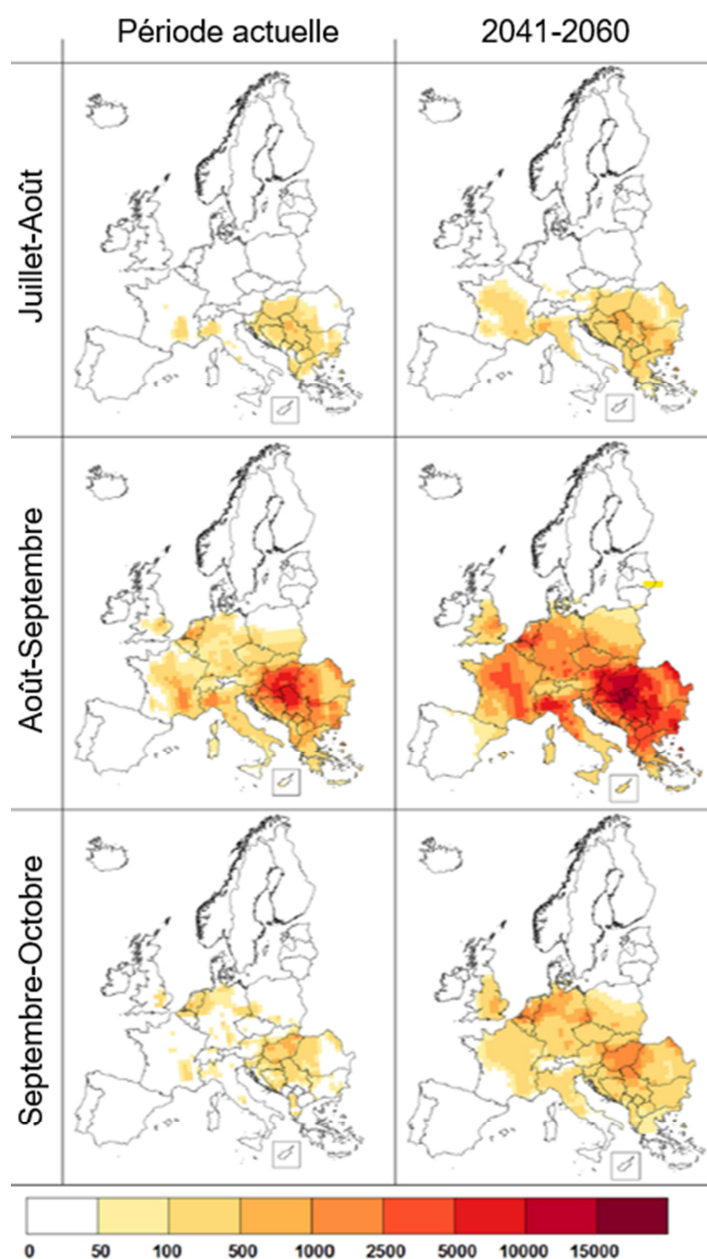


Figure 80. Comptes polliniques moyens mensuels pour la période actuelle (gauche) et future (2041-2060, droite) en grains par m³ (Lake *et al.* 2017)

Les comptes polliniques ont été obtenus en faisant la moyenne des sorties des modèles CHIMERE et RegCM. Pour la période future, le scénario modéré de changement climatique (RCP4.5) a été considéré.

Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe (Bullock et al. 2013)

Dans le cadre du projet *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed* in Europe, c'est le système SILAM qui a été exploité pour réaliser les scénarios d'impact climatique sur la prolifération de l'ambroisie et ses effets sur la santé. Le modèle écologique considéré pour cartographier la présence de l'ambroisie, aujourd'hui et dans le futur, a été décrit précédemment (cf. paragraphe 3.3.2.3) ; le concept de qualité climatique y est introduit, reflétant la probabilité de développement et de persistance de l'ambroisie dans une zone.

Quatre scénarisations futures du changement climatique et de l'occupation des sols ont été considérées pour prédire la propagation de l'ambroisie et les concentrations de ses pollens à l'horizon 2080 en Europe. Le modèle climatique considéré est le HadCM3, développé par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (Gordon et al. 2000). Les évolutions d'occupation des sols sont quant à elles tirées du projet européen ALARM (*assessing large-scale environmental risks for Biodiversity with tested methods*) (Settele et al. 2005). Les quatre scénarios sont :

- Pas de changement : pas de changement climatique, pas de modification de l'occupation des sols – les simulations sont faites sur la base des données climatiques et d'utilisation des sols actuelles.
- A1b/BMBU (*Business as might be usual*) : scénario de développement économique rapide et globalisation. L'occupation des sols est caractérisée par une légère urbanisation autour des villes existantes. L'agriculture est encouragée sur des régions ciblées et une activité minimale est maintenue dans les paysages agricoles traditionnels.
- A2a/GRAS (*Growth applied strategy*) : scénario maximisant le réchauffement climatique. Il décrit un développement économique rapide, sans la globalisation prévue au scénario précédent. Une extension urbaine y est prévue ainsi que l'abandon de l'agriculture dans les zones non rentables.
- B2/SEDG (*Sustainable European Development Goal*) : scénario plus respectueux de l'environnement. Il est caractérisé par un réchauffement climatique moindre, un développement urbain raisonné, et un développement de l'agriculture.

Les cartographies présentant les probabilités de présence futures d'ambroisie pour chacun des scénarios sont disponibles dans la Figure 81 – sur une maille de 5 km par 5 km sur toute l'Europe. À des fins de comparaison, la cartographie de la probabilité de présence actuelle, modélisée pour la période 1990-2010, y a été ajoutée. L'évolution dans le temps du nombre de mailles infestées par l'ambroisie selon les quatre scénarios prédictifs est représentée dans la Figure 82.

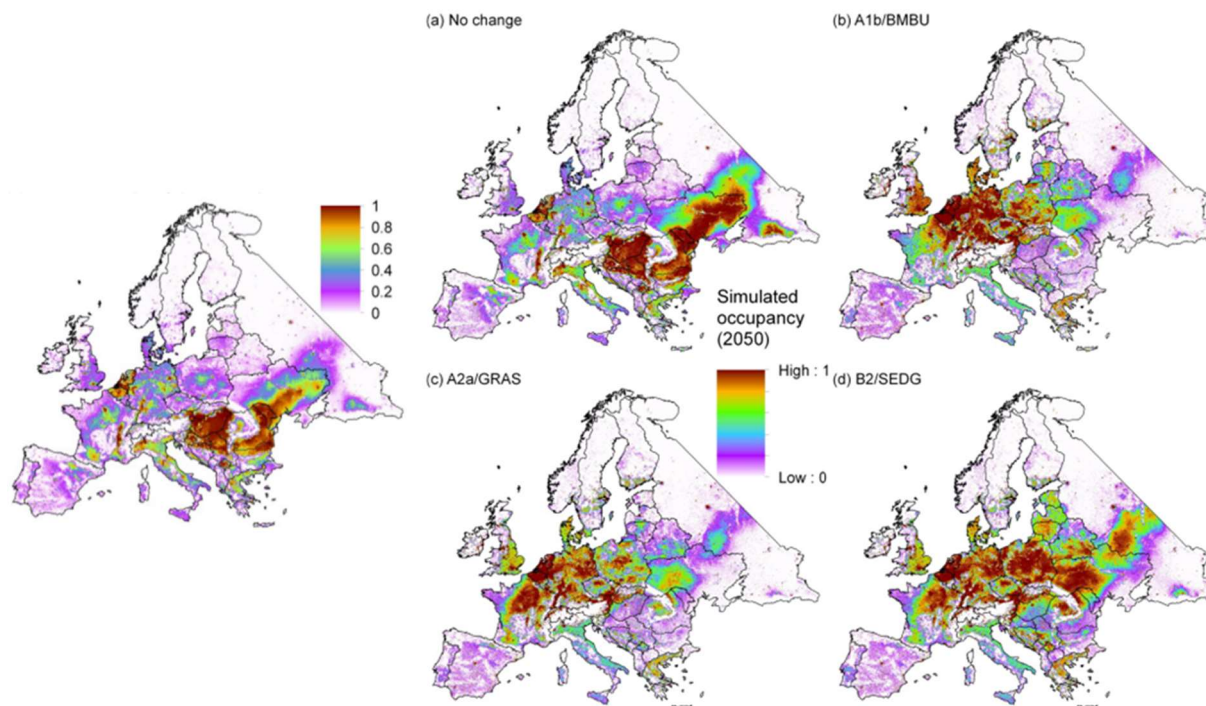


Figure 81. Cartographies de la probabilité (de 0 à 1) de présence de l'ambroisie pour la période 1990-2010 (à gauche) et pour les 4 scénarios climatiques envisagés à l'horizon 2060 (à droite, identifiés par les lettres (a) à (d)) (Bullock *et al.* 2013)

Dans le scénario (a) sans changement, l'ambroisie continue de proliférer de manière constante, de manière limitée en Europe au contraire de la prolifération très importante en Russie. Les trois autres scénarios prévoient une augmentation du nombre de zones infestées jusqu'en 2040-2060 puis une légère diminution (Figure 82). Un déplacement des zones infestées vers le nord est également observé en France, en Allemagne, en République Tchèque, en Pologne, en Ukraine, et en Biélorussie ; l'infestation des zones actuellement touchées est quant à elle censée diminuer d'ici 2050. Cette diminution de l'infestation est liée à la chaleur excessive prédite sur ces zones par les scénarios climatiques – les rendant moins favorables au développement de l'ambroisie (Figure 83). Les auteurs considèrent cependant que cette prévision est à nuancer, car il existe encore peu de littérature décrivant la réaction ou l'adaptation de l'ambroisie aux fortes chaleurs. En revanche, le déplacement des zones infestées vers le nord semble robuste.

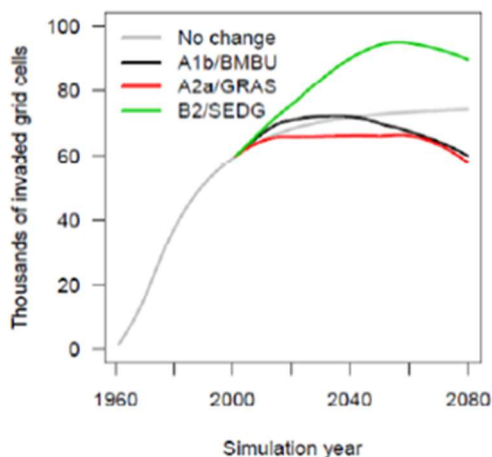


Figure 82. Évolution au cours du temps du nombre de mailles (5 x 5 km) infestées par l'ambroisie en Europe pour chacun des quatre scénarios considérés par (Bullock *et al.* 2013)

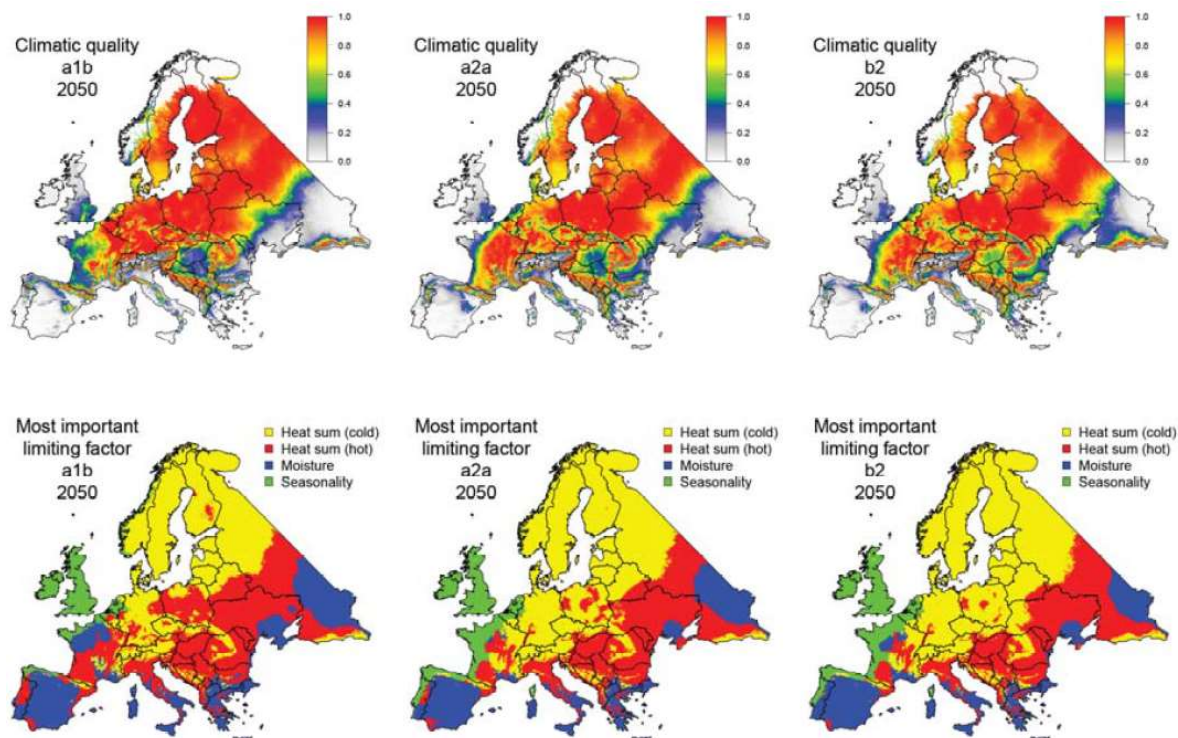


Figure 83. Qualité climatique (en haut) et facteurs limitants de la qualité climatique (en bas) pour l'installation de l'ambroisie en 2050 pour chacun des trois scénarios de changement climatique considéré par (Bullock *et al.* 2013)

Le modèle SILAM a été exploité pour estimer la dispersion des pollens dans l'atmosphère à partir des cartographies de distribution précédentes – une pour chaque scénario prédictif. La quantité de pollen émise est supposée proportionnelle à θQH , où θ est la probabilité d'occupation de l'ambroisie, Q est la qualité climatique, et H est la proportion d'habitat favorable à l'infestation dans la maille. Les performances du système de modélisation SILAM pour l'état actuel d'infestation sont discutées au paragraphe 3.3.4.2. Un facteur de correction était inclus dans ces simulations pour la période actuelle. Les résultats obtenus et présentés pour les scénarios prédictifs sont cependant bruts, car une correction similaire ne peut pas être projetée dans le futur.

La répartition spatiale du nombre moyen d'heures où les concentrations simulées de pollen d'ambroisie dépassent certains seuils (>1 , >10 , et/ou >50 grains/m³) est présentée en Figure 84 pour la période actuelle 1990-2010 et en Figure 85 pour l'année 2050 selon les trois scénarios futurs. Les simulations prédisent un déplacement des nuages de pollen d'ambroisie vers le nord, reflétant le déplacement de la répartition de l'espèce et de la qualité climatique vu plus haut.

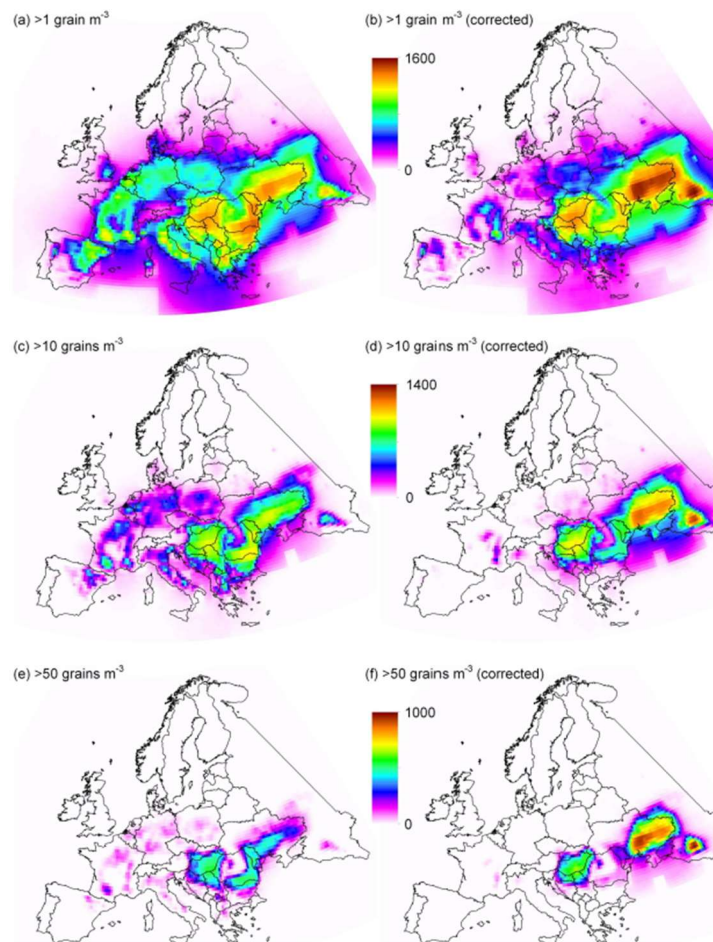


Figure 84. Cartographies brutes (gauche) et corrigées (droite) du nombre moyen d'heures de dépassements de seuils des concentrations simulées des pollens d'ambroisie (>1, >10, et >50 grains/m³ en haut, au centre, et en bas, respectivement) pour la période actuelle 1990-2010 (Bullock *et al.* 2013)

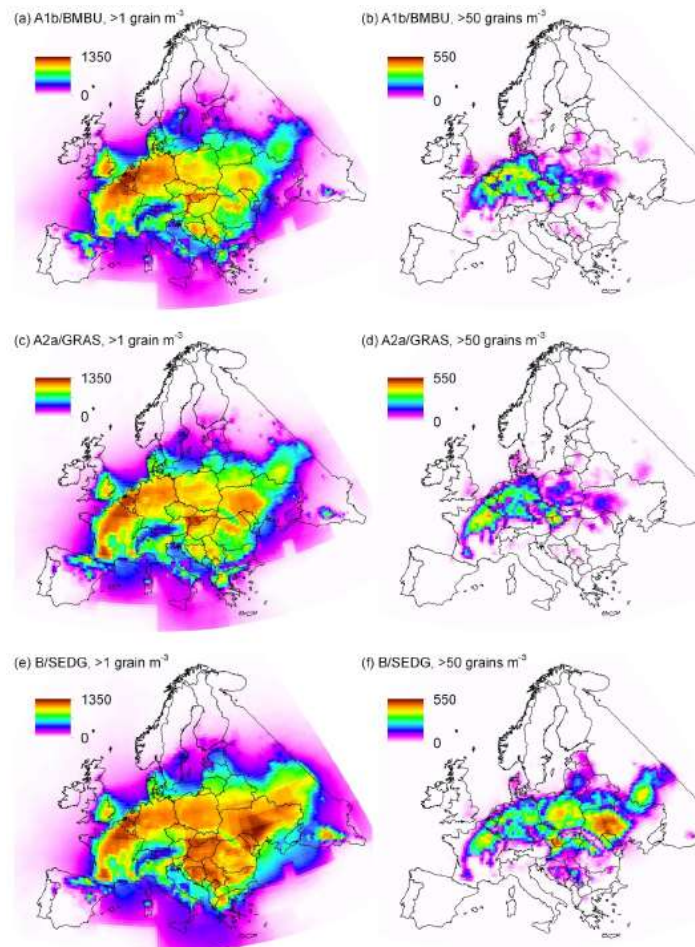


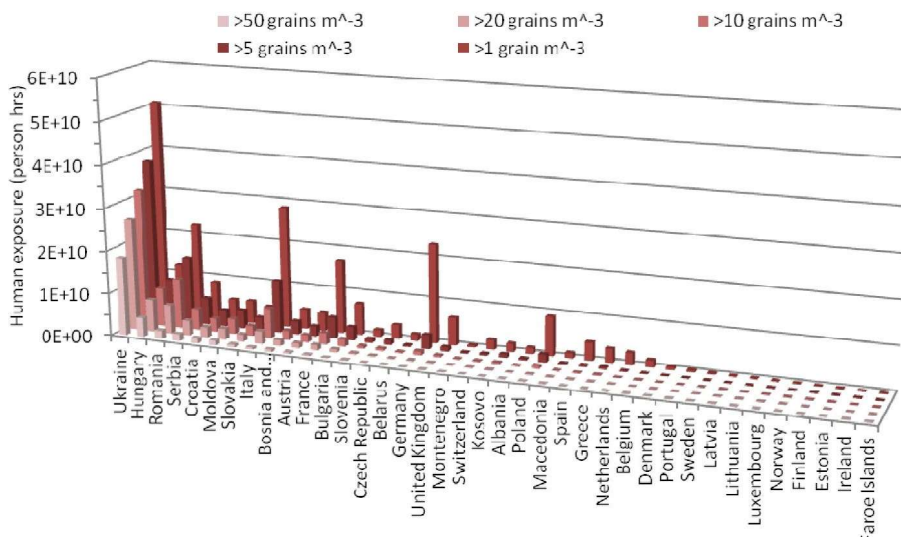
Figure 85. Cartographies brutes du nombre moyen d'heures de dépassements de seuils des concentrations simulées des pollens d'ambroisie (>1 grains/m³ à droite et >50 grains/m³ à gauche) pour l'année 2050 selon les 3 scénarios prospectifs (en lignes) de changement climatique et d'occupation des sols (Bullock *et al.* 2013)

Les dépassements des seuils ont ensuite été convertis en exposition humaine grâce à des données de densité de population maillées pour l'Europe¹⁸. En multipliant le nombre d'heures au-dessus du seuil par la taille de la population dans la maille, Bullock et al. (2013) évaluent ainsi l'exposition humaine au pollen d'ambroisie en termes de personne.heure au-dessus du seuil choisi. Pour la période actuelle, l'exposition humaine la plus importante se situe en Ukraine (Exprimée en personne.heure au-dessus d'une série de seuils : >1, >5, >10, >20, et >50 grains par m³ – Figure 86) ; de larges populations sont également touchées dans d'autres pays de l'est de l'Europe. L'Italie, la France et le Royaume-Uni sont identifiés comme ayant une forte exposition de la population à de très faibles concentrations de pollen d'ambroisie, bien que cela puisse résulter d'une surestimation des plus faibles concentrations par le modèle SILAM. Les trajectoires futures de cet indicateur de l'exposition humaine au pollen d'ambroisie ne montrent pas de tendance à l'augmentation en moyenne en Europe selon les trois scénarios prospectifs de changement climatique (Exprimée en personne.heure au-dessus d'une série de seuils : >1, >5, >10, >20, et >50 grains par m³ – Figure 87 à gauche). Ce résultat masque cependant des changements régionaux importants, comme l'illustre la diminution de l'exposition en Hongrie et l'augmentation de l'exposition en Allemagne (Exprimée en personne.heure au-dessus d'une série de seuils : >1, >5, >10, >20, et >50 grains par m³ – Figure 87 au centre et à droite).

Néanmoins, cet indicateur est à considérer avec précaution. Le modèle, même corrigé pour la période actuelle, ne permet pas de compenser totalement le biais entre les mesures et les simulations – les dépassements restent sous-estimés pour les pays d'Europe de l'est et surestimés en Europe de l'ouest. De plus, l'application aux prédictions futures suppose qu'il n'y ait pas de changement dans la taille ou la distribution de la population en Europe.

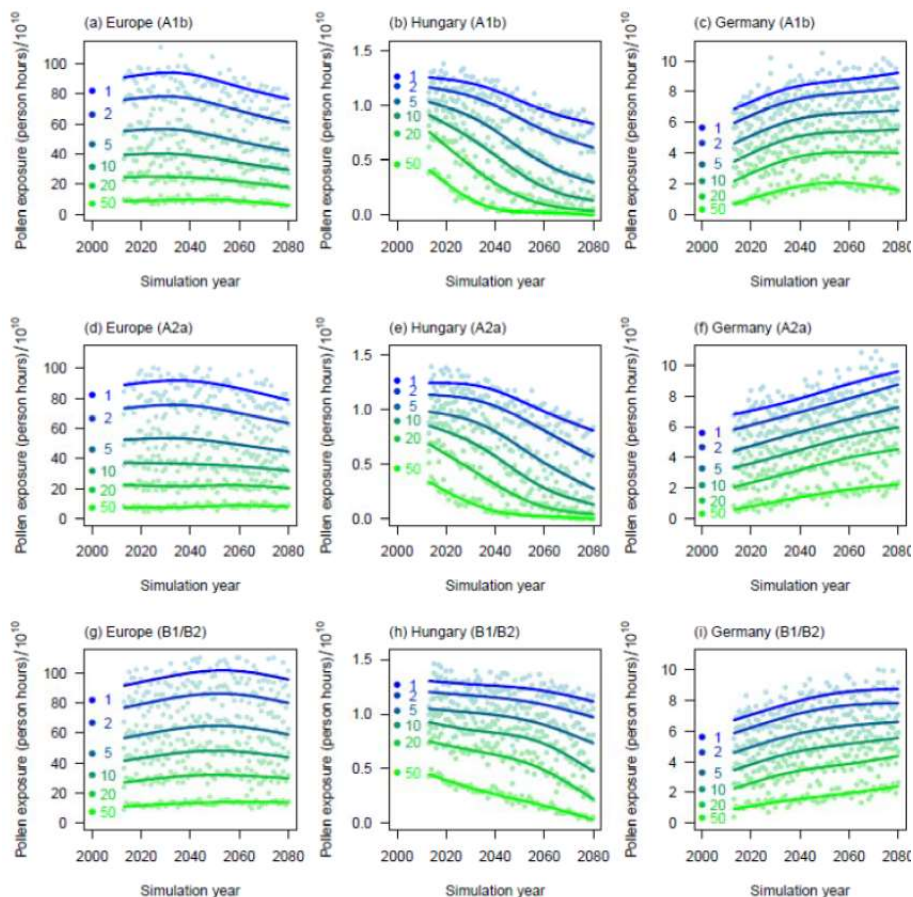
Il est à noter que les données météorologiques alimentant le modèle SILAM sont différentes pour la période actuelle (centre météorologique européen ECMWF) et la scénarisation future (modèle climatique ECHAM5 modifiant les sorties globales de ECMWF). Les champs météorologiques diffèrent singulièrement. Une évaluation séparée a donc été menée pour les simulations ECHAM5 pour la période actuelle. L'approche permet de comparer de manière rigoureuse les modélisations pour les scénarios futurs avec les modélisations pour la période actuelle, sans introduire d'artefacts liés à un forçage météorologique qui différencierait par le modèle utilisé. Il a été noté une bonne cohérence entre les simulations ECHAM5 et ECMWF : une légère sous-estimation est tout de même constatée en lien avec la différence de dynamique des deux modèles, en particulier pendant la période estivale.

¹⁸ <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>



Exprimée en *personne.heure* au-dessus d'une série de seuils : >1, >5, >10, >20 et >50 grains par m³.

Figure 86. Exposition humaine simulée au pollen d'ambroisie pour la période actuelle (1990-2010) par pays d'Europe (Bullock et al. 2013)



Exprimée en *personne.heure* au-dessus d'une série de seuils : >1, >2, >5, >10, >20 et >50 grains par m³. Les lignes représentent les trajectoires lissées (*smoothing splines*).

Figure 87. Trajectoires de l'exposition humaine simulée au pollen d'ambroisie de 2010 à 2080 selon trois scénarios de changement climatique (en lignes) pour l'Europe (à gauche), la Hongrie (au centre), et l'Allemagne (à droite) (Bullock et al. 2013)

3.4 Conclusions

La surveillance de la plante et des pollens repose sur un système d'observation et de signalements (FREDON, Observatoire des ambrosies, FCBN) et de mesure des pollens (RNSA). Il existe des approches innovantes en matière de surveillance qui méritent d'être confirmées (satellite ou drone pour l'observation et comptage automatique des pollens).

Les observations ou signalements de présence de la plante sont primordiaux pour alimenter, calibrer et valider les modèles de propagation de l'ambroisie. Les mesures de pollens dans l'air ambiant, quant à eux, permettent de calibrer et valider les résultats des modèles de dispersion des pollens. La modélisation permet la prévision à court terme des niveaux de pollens et la scénarisation à long terme – de la propagation de la plante et de la dispersion de ses pollens. La modélisation s'avère également pertinente dans une perspective d'évaluation de l'efficacité des méthodes de lutte. En utilisant de telles méthodes, Bullock et al. (2013) et Richter et al. (2013) préconisent de cibler les actions de surveillance et d'éradication dans les zones présentant une bonne/forte qualité de l'habitat – en termes d'installation et de prolifération de l'ambroisie.

Plusieurs approches existent en matière de modélisation de distribution géographique ou de propagation de l'ambroisie. L'approche *bottom-up* consiste à construire une distribution continue sur la base d'observations ou de signalements ponctuels émanant du terrain. L'approche *top-down* exploite les comptes polliniques obtenus en stations couplés à des données auxiliaires, par exemple des données d'occupation des sols ; elle est dite descendante car la mesure des pollens est utilisée comme donnée d'entrée pour obtenir une cartographie de la source émettrice. Enfin, l'approche *écologique* modélise la distribution de la plante en s'appuyant sur les caractéristiques, notamment phénologiques, de l'ambroisie.

Plusieurs modèles sont aujourd'hui exploités pour estimer l'émission et la dispersion des pollens d'ambroisie. SILAM et COSMO-Art sont les plus matures à l'heure actuelle à l'échelle Européenne. En France, le système de modélisation d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, qui exploite des données d'entrées de grande qualité, permet de représenter les niveaux de pollens journaliers et les niveaux de risque allergique associés de manière fiable à l'échelle régionale.

L'exercice de modélisation future, à long terme, de la distribution de l'ambroisie et de la dispersion de ses pollens est complexe. Les méthodes actuelles incluent de nombreuses limites et les résultats obtenus à ce jour sont incertains. Cependant, la propagation de la plante vers le Nord de l'Europe (du fait du changement climatique) par rapport aux implantations actuelles semble robuste.

4. État des connaissances sur l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoïse

Le présent chapitre introduit tout d'abord un état des lieux général sur l'allergie (définition, diagnostic, manifestations, comorbidités, etc.) en documentant, quand elles existent, les spécificités de l'allergie au pollen d'ambroisie. Un état des connaissances sur la prévalence de l'allergie au pollen d'ambroisie en France et dans le monde est ensuite présenté. Les publications considérées comme pertinentes par le groupe de travail dans le cadre de la saisine ont fait l'objet d'une analyse critique.

Le présent rapport porte une attention particulière à l'impact que peut avoir l'ambroisie sur la santé humaine, et cela en réponse aux questions spécifiques de la saisine et aux interrogations des tutelles.

Bien qu'ils ne soient pas décrits dans le cadre de la présente expertise, le groupe de travail rappelle que l'ambroisie est associée à d'autres impacts, plus ou moins sérieux et documentés. Tout d'abord, les impacts agricoles de l'ambroisie sont bien connus (cf. paragraphe 2.1.7) et peuvent être considérés importants en termes de perte de rendement de gestion des récoltes ou encore de choix de cultures générant de fait un préjudice économique (paragraphe 5.3.1). La problématique agricole associée à l'ambroisie est considérée sérieuse par tous les pays infestés selon la consultation européenne menée par Bullock *et al.* (2013). Des effets de l'ambroisie sur la santé animale ont également été rapportés, avec notamment des réactions allergiques cutanées (dermatites) sur les chats, les chiens, et les chevaux. En Amérique du Nord, l'ambroisie représente un danger potentiel pour la santé des animaux qui l'ingèrent – en raison de sa capacité à accumuler les nitrates.

Enfin, d'autres impacts de l'ambroisie en Europe ont été évoqués notamment en matière de biodiversité ou encore sur certaines activités économiques à l'image du tourisme. En tant que plante invasive non-native, l'ambroisie pourrait en effet proliférer au détriment de la biodiversité locale – et menacer certaines espèces natives rares ou menacées (Alberternst, Nawrath, et Starfinger 2016). Aujourd'hui en Europe, l'ambroisie se contente d'exister sur des terrains perturbés par l'Homme ou la nature ; et n'infeste pas de larges zones naturelles, ce qui limite l'existence des données nécessaires à l'estimation de ses impacts sur la biodiversité. En outre, il est à noter que les mesures de contrôle prises à l'encontre de l'ambroisie pourraient avoir d'avantage d'effets néfastes sur la biodiversité que l'ambroisie elle-même ; mais les données de terrains sont là encore quasi inexistantes (Alberternst, Nawrath, et Starfinger 2016). La consultation européenne de Bullock *et al.* (2013) faisait remonter un manque général d'information sur les impacts de l'ambroisie sur les secteurs de la construction, des transports, et du tourisme ; la perception générale penchait cependant vers une absence d'effet, bien que certaines autorités locales faisaient part de leurs préoccupations sur ces problèmes à l'avenir (Alberternst, Nawrath, et Starfinger 2016).

4.1 L'allergie

4.1.1 Principe de l'allergie

L'allergie relève d'un mécanisme d'hypersensibilité initié par une réaction immunitaire spécifique à une substance étrangère à l'organisme – un allergène. Elle comporte une première étape de sensibilisation, sans expression clinique, où la présentation de l'allergène aux muqueuses aboutit à une réaction immunitaire caractérisée par la production d'immunoglobulines E (IgE) spécifiques à cet allergène. Le lien de causalité entre l'exposition à un allergène et l'apparition de la sensibilisation allergique n'est plus à démontrer. Une seconde étape se caractérise par l'apparition de symptômes lors du contact de l'allergène

avec les muqueuses. L'évolution vers cette seconde étape n'est cependant pas systématique ; la sensibilisation allergique peut rester asymptomatique. Plusieurs facteurs doivent ainsi être réunis pour aboutir à des symptômes allergiques : la présence d'un allergène dans l'environnement, l'exposition individuelle à cet allergène (i.e. contact avec les muqueuses cibles et le système immunitaire), la sensibilisation allergique de l'individu vis-à-vis de cet allergène, et la réactivité de l'organe cible.

Il existe une association forte et cohérente entre exposition à un allergène et allergie à cet allergène mais la temporalité aboutissant à la sensibilisation allergique et aux symptômes reste mal connue. Cette séquence d'événements, appelée marche allergique, survient généralement à un stade précoce de la vie et peut persister des années ou bien disparaître spontanément avec l'âge. Une sensibilisation allergique aux pollens communs peut s'observer dès 5 ans, un peu plus tard que la sensibilisation aux chats et poussières de maison (Arbes *et al.* 2005, Kulig *et al.* 1999). Les symptômes cliniques de l'allergie peuvent apparaître à tous âges, mais il existe un pic à l'adolescence et au début de la vie adulte ; environ 80% des personnes souffrant de rhinite allergique en développent les symptômes avant 20 ans (Greiner *et al.* 2011).

Chez un sujet allergique, l'exposition à un allergène, à une dose généralement inoffensive pour la population générale, provoque une réaction excessive et inadaptée de la réponse immune entraînant symptômes ou signes cliniques au niveau des zones de contact. Dans le cas des aéroallergènes, tels que les pollens, les muqueuses respiratoires et oculaires sont les plus concernées. En réponse au contact avec les allergènes, les cellules épithéliales d'un individu allergique libèrent des cytokines, un ensemble de protéines régulant l'activité et la fonction d'autres cellules, et d'autres médiateurs cellulaires qui participent à la cascade de la réponse immunitaire et inflammatoire menant à l'allergie.

Plusieurs facteurs de risques environnementaux et individuels, ainsi que leurs potentielles interactions, entrent en jeu dans le développement et l'apparition de l'allergie, au-delà de la l'exposition (nécessaire) aux allergènes (Greiner *et al.* 2011, Scadding *et al.* 2008, von Mutius 2000). Tout d'abord, la prédisposition génétique (ou atopie) joue un rôle majeur et se caractérise par une production spontanée d'IgE. Cette prédisposition peut être indiquée par la présence d'allergie chez les parents proches (père, mère, fratrie) ou la présence d'autres allergies chez le patient (poly-sensibilisation). La probabilité de devenir allergique pendant l'enfance est ainsi de 5-15% si aucun des deux parents n'est allergique, mais atteint 40-80% si les deux parents sont allergiques (Brändli et BraunFahrländer 2002). L'histoire immunologique de l'individu, c'est à dire les épisodes infectieux et inflammatoires subis au cours de la vie, façonne son répertoire en cytokines et en anticorps. L'état du système immunitaire et inflammatoire au moment de la sensibilisation allergique est ainsi déterminant dans le développement de l'allergie ; il existe des fenêtres privilégiées de sensibilisation au cours de la vie de l'individu (Martinez 1999). Aussi, de nombreux gènes sont impliqués dans le développement de l'allergie, essentiellement des gènes de la réponse immune et inflammatoire ; les interactions avec certains facteurs environnementaux – tels que la pollution atmosphérique, les expositions professionnelles, ou le tabac – ont aussi été associés à l'allergie (Bouzigon *et al.* 2015, Holloway, Yang, et Holgate 2010). Enfin, des études ont montré que l'évolution des modes de vie, de l'urbanisation, et des niveaux de certains polluants atmosphériques étaient corrélés avec l'augmentation de la prévalence de l'allergie, notamment respiratoire (D'Amato et Cecchi 2008, von Mutius 2000). Les personnes vivant en zone urbaine ont ainsi tendance à être plus touchées par les allergies respiratoires que les personnes vivant en zone rurale. Les interactions potentielles entre les allergènes transportés par les grains de pollen et les polluants pourraient augmenter le risque de sensibilisation allergique et le risque d'exacerbation des symptômes. La pollution atmosphérique pourrait également aider les allergènes à accéder aux cellules du système immunitaire par le biais d'une fragilisation de l'épithélium pulmonaire.

L'allergie au pollen d'ambroisie possède certaines particularités. En Europe, l'âge d'apparition des symptômes de l'allergie à l'ambroisie est plutôt tardif, autour de 30 ans (Asero 2002, 2007). En Italie, en zone infestée par la plante, la sensibilisation allergique à l'ambroisie est plus

fréquente que la sensibilisation allergique aux graminées chez les patients >40 ans (*Tosi et al. 2011*). Asero (2002) a observé que la plupart des patients adultes nouvellement allergiques à l'ambroisie ne présentait pas de prédisposition génétique favorable. Ainsi, toute la population, quel que soit son âge et son terrain génétique, serait à risque de développer une allergie au pollen d'ambroisie, pour peu que l'exposition à l'allergène soit suffisante.

Néanmoins, aux États-Unis, où l'ambroisie est un allergène commun, la sensibilisation allergique s'observe dès le plus jeune âge et sa marche allergique y est similaire à celle des autres pollens (*Arbes et al. 2005*). De manière cohérente, dans les zones d'infestation historique de l'ambroisie en Europe (et pays frontaliers), la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie s'observe chez les enfants et adolescents (*Sóti et Endre 2005, Klijajić et al. 2019, Rybníček et al. 2000, Voros et al. 2018*). En Rhône-Alpes, les caractéristiques des individus allergiques à l'ambroisie interrogés par téléphone n'étaient pas différentes de celles des individus allergiques aux autres pollens (même tranche d'âge et même répartition par sexe) (*Deloraine 2005*). Des données longitudinales en Italie observent une augmentation régulière de la proportion de patients âgés de moins de 20 ans démontrant une sensibilisation allergique à l'ambroisie et/ou des symptômes en lien avec une exposition au pollen d'ambroisie (de 0% en 1990-1996 à 18% en 2005) (*Asero 2007*). Enfin, aux États-Unis, les pollinoses à l'ambroisie et aux graminées montraient des proportions similaires chez les personnes ayant ou non des antécédents familiaux d'atopie (*Matcrnouski et Mathews 1962*). Ainsi, le schéma de la sensibilisation allergique à l'ambroisie pourrait évoluer à l'avenir en Europe pour ressembler à ce qui est aujourd'hui observé pour les pollens communs ou natifs.

Dans une clinique d'allergologie près de Milan en Italie, *Tosi et al. (2011)* ont observé une constante augmentation de la prévalence de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie chez les patients venant consulter entre 1989 et 2008 – parallèle à l'augmentation des niveaux de pollens dans la région. La proportion de patients sensibilisés souffrant de symptômes allergiques, quant à elle, a brusquement augmenté en 1994 (de 50% à 75%), laissant penser que 5 années sont nécessaires pour développer des symptômes après la première sensibilisation allergique. Il est à noter que cette augmentation est indépendante de la prévalence de l'asthme dans cette population de patients, qui reste constante entre 30% et 50% sur toute la période. Un décalage d'environ 5 ans a également été observé entre l'arrivée en Italie (immigrants) et l'apparition de symptômes allergiques, bien que ceux-ci ne soient pas spécifiques à l'ambroisie (*Lombardi, Canonica, et Passalacqua 2011*). Chez des étudiants étrangers vivant aux États-Unis, il a été observé que l'allergie à l'ambroisie apparaissait entre 2 à 5 ans après l'arrivée sur le territoire, tandis que la majorité des étudiants américains, non migrants, développaient les mêmes symptômes bien plus tôt dans la vie (*Matcrnouski et Mathews 1962*). Dans ces deux études, les personnes natives (italiennes ou américaines, en contact avec l'ambroisie dès leur plus jeune âge) étaient plus fréquemment sensibilisées ou plus fréquemment symptomatiques que les personnes immigrées (*Lombardi, Canonica, et Passalacqua 2011, Matcrnouski et Mathews 1962*). Cette observation est contraire à ce qui a été observé par *Dervaderics et al. (2002)* : les travailleurs immigrés d'une centrale nucléaire en Hongrie étaient plus sensibilisés et plus symptomatiques à l'ambroisie que les travailleurs locaux. Les auteurs évoquent l'hypothèse du développement d'une tolérance naturelle chez la population locale en raison de l'augmentation lente des niveaux de pollens dans l'air depuis les années 1940-1960 dans la région. Par contre, pour les autres pollens et les allergènes per annuels, sensibilisation et symptômes étaient plus fréquents chez les travailleurs hongrois. Finalement, cette étude montre également un délai de 5 ans entre l'arrivée sur le territoire et l'apparition des symptômes allergiques en lien avec l'ambroisie chez les travailleurs immigrés, soutenant l'ensemble des résultats évoqués précédemment.

4.1.2 Allergènes et allergénicité

4.1.2.1 Généralités

La réponse allergique dépend de facteurs liés à l'individu (sa génétique et son histoire immunologique) et à la source allergénique (la rencontre avec l'allergène et la présence de facteurs adjuvants).

Une source allergénique, tel qu'un grain de pollen, peut contenir plusieurs molécules allergéniques ou non allergéniques. Les critères faisant d'un antigène un allergène restent encore inconnus ; il est impossible de prédire l'allergénicité d'une molécule. Ses seules structures (séquentielle, conformationnelle ou fonctionnelle) ne sont pas suffisantes. On peut néanmoins dresser une liste non exhaustive de critères donnant à un antigène un risque plus important d'être un allergène :

- La stabilité de la molécule en cas d'allergène alimentaire (résistance aux sucs digestifs, à la chaleur lors de la cuisson de l'aliment) ;
- L'activité enzymatique de la molécule qui pourra jouer un rôle au contact d'une cellule impliquée dans la réponse immunitaire ;
- Les portions hydrophobes de la molécule pouvant entrer en interaction avec les surfactants naturels qui recouvrent les muqueuses et ainsi faciliter sa pénétration dans les tissus ;
- Les ressemblances avec des molécules du soi comme c'est le cas avec un allergène d'acarien ;
- Toute interaction avec un ou des cofacteurs lors de la sensibilisation allergique, favorisant une activation de type 2 et/ou inflammatoire, au-delà de la réponse IgE spécifique. Ces cofacteurs peuvent être intrinsèques, en lien avec la molécule allergénique elle-même (par exemple, sa capacité à se lier à des récepteurs du système immunitaire inné) ou avec l'environnement biogénique – c'est à dire des molécules non allergéniques *per se* mais associées à la source allergénique et capable d'influencer la réponse immunitaire de type 2, celle de l'allergie. Il existe également des cofacteurs extrinsèques liés à l'environnement anthropogénique, en particulier la pollution atmosphérique et le réchauffement climatique.

La dose d'administration de l'allergène, sa voie d'entrée (inhalation, ingestion, piqûre, contact), et sa fréquence d'administration (en une seule fois, répétée, périodique) interviennent également. Mais ces paramètres sont difficiles à évaluer car ils sont individuels et car la sensibilisation est une phase qui passe inaperçue. La présence de facteurs adjuvants dans l'environnement (pollution gazeuse et particulaire) peut être responsable d'une amplification de la réponse immunitaire et inflammatoire ; de nombreuses études ont été réalisées à ce sujet.

Le classement des allergènes

Les allergènes connus sont principalement des protéines. Les sources d'allergènes sont nombreuses parmi les animaux, les végétaux, les champignons, les bactéries, et les médicaments. Des allergènes ont même été décrits chez l'homme – des auto allergènes. Les allergènes peuvent être classés suivant leur mode de sensibilisation (inhalation pour les aéroallergènes ou ingestion pour les trophallergènes) ou leur origine. C'est cette dernière classification qui a été adoptée par la banque de données officielle sur les allergènes, gérée par l'IUIS (*International Union of Immunological Societies* – www.allergen.org). Un comité de nomenclature attribue un nom à chaque allergène, en fonction de ces caractérisations cliniques, biologiques et physico-chimiques. Ce nom, en latin, correspond aux trois premières lettres du taxon (plantes) ou du genre (animal, bactérie, champignon), suivie de la première lettre en minuscule de l'espèce et d'un numéro représentant l'ordre dans lequel l'allergène a été découvert ou bien la famille de protéine à laquelle il appartient. En avril 2020, le nombre d'allergènes classés dans la banque IUIS/WHO était de 984. A la même date, la banque de

données Allergome recensait quant à elle 3 244 allergènes (www.allergome.org). Cette classification se base cependant sur des critères d'inclusion moins exigeants, en combinant des publications décrivant un allergène – que la description soit exhaustive ou partielle. En particulier, de nombreux d'allergènes classés ne sont pas caractérisés quant à leur capacité à induire des symptômes. Des liens informatiques existent avec la banque de l'IUIS qui, de fait, contient 30% des allergènes décrits dans Allergome.

Une équipe autrichienne proposait, au début des années 2000, de classer les allergènes en famille de protéines. Cette classification a permis de montrer que seules certaines familles de protéines étaient représentées parmi les allergènes, permettant ainsi de comprendre les raisons des réactions croisées entre sources allergéniques. Les pollens des différentes graminées croisent entre eux car ils contiennent des allergènes de famille de protéine identique, tels que des bêta-expansines ou des profilines. Des cas plus complexes de réactivité croisée entre pollens et aliments ont également pu être expliqués. Le syndrome pomme/bouleau, décrit par les allergologues chez des individus allergiques au pollen de bouleau qui ressentaient aussi des symptômes en mangeant des pommes, a pu ainsi s'expliquer par l'existence, dans les deux sources, d'allergènes se ressemblant fortement (Bet v 1 et Mal d 1, tous deux appartenant à la famille de protéine PR10 *Pathogenesis related 10*).

4.1.2.2 Les allergènes du pollen d'ambroisie

Les premières descriptions du pollen d'ambroisie datent de 1872 aux Etats Unis (Wyman 1876). Deux de ses allergènes ont été parmi les premiers à avoir été séquencés (Ghosh *et al.* 1993, Rafnar *et al.* 1991). Les allergènes du pollen d'ambroisie à feuille d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*) sont les mieux connus comparativement aux autres espèces d'ambroisie – *trifida*, *psilostachya*, *tenuifolia*, *bidentata* et *maritima*. Certains auteurs ont suggéré un classement d'allergénicité (*artemisiifolia* > *trifida* > *psilostachya*, *tenuifolia*, *maritima*) bien que des réactivités croisées importantes soient observées entre les allergènes d'*A. artemisiifolia*, de *A. trifida* et de *A. psilostachya* (Christensen *et al.* 2015, Wopfner *et al.* 2005). Ces réactivités croisées se retrouvent aussi bien au niveau de la réponse humorale que cellulaire indépendamment des zones géographiques (Würtzen *et al.* 2019).

Douze allergènes du pollen d'ambroisie à feuille d'armoise ont une dénomination dans la nomenclature recommandée par l'IUIS et 10 autres n'ont été caractérisés que partiellement et ne possèdent donc pas la dénomination (Tableau 13). Peu de travaux ont été réalisés sur les autres espèces d'ambroisie. Seuls Amb t 5 et Amb t 8 ont été décrits et classés chez *A. trifida* ainsi que Amb p 1 et Amb p 5 chez *A. psilostachya*. Cependant, il est plus que probable que les allergènes décrits chez *A. artemisiifolia* existent aussi chez les autres espèces d'ambroisie.

Tableau 13. Allergènes de pollen d'ambroisie (*Ambrosia artemisiifolia*)

Nom	Mr	pI théorique	Fonction	Glycosylation	Prévalence	Remarques
Amb a 1	38	5,3-6,6	pectate lyase	non glycosylé	95-97%	5 isoformes
Amb a 2	38	5,8-6	pectate lyase	non glycosylé	50-90%	= Amb a 1.05
Amb a 3	11	6,11	plastocyanine	glycosylé (8%)	51-65%	
Amb a 4	30		défensine	O-glycosylation	environ 30%	Art v 1-like (nucléotides)
Amb a 5	5	8,19			5-17%	2 isoformes
Amb a 6	10	8,93	LTP		21-25%	
Amb a 7	12		plastocyanine	glycosylé	15-20%	
Amb a 8	14	4,8	profiline		15-40%	plusieurs isoformes
Amb a 9	10	4,2	2-EF hand Ca binding protein		10-20%	plusieurs isoformes
Amb a 10	18	4,25	3-EF hand Ca binding protein		10-20%	initialement Cytochrome C
Amb a 11	37/43	6,43	Cysteine protease	non glycosylé	66%	3 ponts disulfures
Amb a 12	47	5,13	Enolase 1	non glycosylé	65%	2 isoformes, augmenté avec NO2
Amb a CPI	10,5	5,2	Cystatin protéinase inhibitor			Act d 4-like
Amb a TPI	25		Triose phosphate isomerase			
Amb a DRP	30	4,5	Dessiccation related protein PCC13-62			
Amb a BBE	63	10	Berberine-bridge enzyme			gr. 4 Graminées
Amb a GLY	60-80	7	Glyoxal/galactose oxidase		30	
Amb a UDP	50	5	UDP-glucose pyrophosphorylase		70	
Amb a CA	30		Anhydrase carbonique			
Amb a PR17	30		protéine PR-17		35	
Amb a GDI	70		GDP dissociation inhibitor		30	
Amb a PG	55		polygalacturonase (acide et basique)		70	gr. 13 Graminées, gr. 2 Cupressacées

Mr: Masse moléculaire apparente

pI: point isoélectrique

Amb a 1 est l'allergène majeur du pollen d'ambroisie et appartient à la famille des pectate lyase. Amb a 1 est trouvé positif (en termes de sensibilisation allergique) chez plus de 90% des sujets allergiques à l'ambroisie et il peut représenter jusqu'à 15% des protéines totales d'un extrait de pollen d'ambroisie. Amb a 1 est constitué d'un large groupe de 12 isoformes réparties autour de 5 variants ayant 75-86% d'identité entre elles (de Amb a 1.01 à Amb a 1.05). Amb a 1 a une homologie assez modeste avec les pectate lyases des pollens de Cupressacées (environ 40-50% d'identité de séquences), ne permettant pas de décrire de réactivité croisée. L'homologie avec Art v 6, pectate lyase de l'armoise, est plus importante (65%) et des réactivités croisées sont observées (Pichler *et al.* 2015). Amb a 1 n'est pas glycosylé. Cependant, le recombinant rAmb a 1 produit dans *E. coli* montre une réactivité plus faible que nAmb a 1 *in vitro* et *ex vivo* sur cellules.

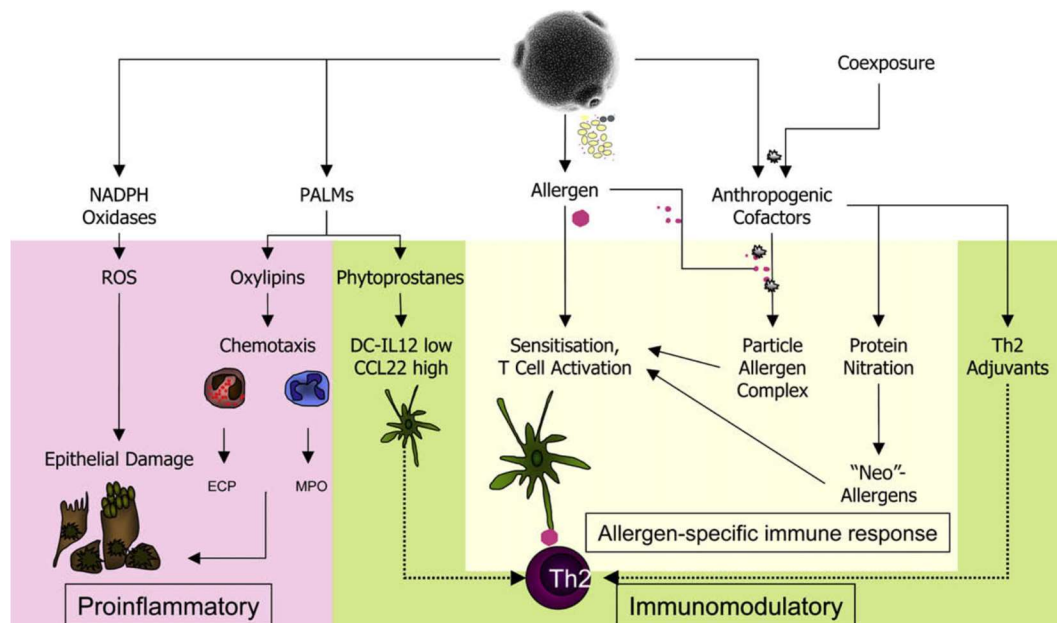
Amb a 2 est une isoforme d'Amb a 1 (Amb a 1.05). Elle est retrouvée positive chez 50-90% des patients allergiques à l'ambroisie et possède 70-80% d'identité avec Amb a 1.01 – croisant d'ailleurs fréquemment avec ce dernier. Amb a 3, glycosylé, est de la famille des plastocyanines contenant du cuivre et est impliqué dans le transport d'électron. Il est trouvé positif chez 51-65% des patients allergiques à l'ambroisie. Amb a 4 est une protéine de la famille des défensines (famille PR12 – *Pathogenesis related 12*) montrant une O-glycosylation assez semblable à celle d'Art v 1. Les arabinoses isolées ne s'organisent cependant pas en clusters le long de la « queue » d'Amb a 4 comme sur Art v 1. La positivité pour rAmb a 4 a été trouvée aux alentours de 30% chez des patients exposés à l'ambroisie. Amb a 5 se présente sous 2 isoformes (a et b) sans fonction biochimique précisée. Il est retrouvé positif chez 10 à 20 % des patients. Sa réactivité IgE ne semble pas être partagée avec l'allergène homologue d'*A. trifida*, Amb t 5 (environ 45% d'identité avec Amb a 5). Par contre, Amb p 5 d'*A. psilostachya* croise avec Amb a 5 du fait d'une plus forte homologie (90% avec Amb a 5a et 64 % avec Amb a 5b). Amb a 6 est de la famille des LTP (*Lipid Transfer Protein* – famille PR14) et comporte 4 isoformes. Ce sont des protéines non glycosylées, de petite taille (10 kDa), basiques, constituées de 4 ponts disulfures leur conférant une structure stable, résistante à la protéolyse et à la chaleur. Elles croisent faiblement avec Art v 3, la LTP de l'armoise. Elles sont retrouvées positives chez 21 à 25% des patients. Amb a 7 est de la famille

des plastocyanine, comme Amb a 3, et est trouvé positif chez 15 à 20% des patients. Amb a 8, de la famille des profilines, comprend au moins deux isoformes acides de 14 kDa de masse moléculaire, Amb a 8.01 et Amb a 8.02, et sa prévalence varie selon les cohortes de 15 à 40%. Les pourcentages d'identité avec les profilines d'autres pollens ou d'aliments varient 54 à 89%, induisant fréquemment des réactivités croisées, principalement avec Art v 4, la profiline d'armoise. Amb a 9 appartient à la famille des polcalcines. Elle serait sous plusieurs isoformes et montrerait une faible réactivité croisée avec d'autres polcalcines. Elle est trouvée positive chez 10 à 20% des patients. Amb a 10 a initialement été qualifiée de cytochrome C mais cette protéine s'est révélée être une procalcine (de type 3 *EF hand Ca binding protein*). Sa prévalence est estimée à 10-20%. Amb a 11 est une cystéine protéase non glycosylée, retrouvée positive chez 66% des patients allergiques au pollen d'ambroisie. Elle comporte 3 ponts disulfures. Amb a 12 est de la famille des émolases. Non glycosylée, deux isoformes lui sont connues avec une prévalence estimée à 65%. Le potentiel allergisant de cet allergène est augmenté après un traitement de la plante par le gaz polluant NO₂ (Zhao *et al.* 2016).

Dix allergènes supplémentaires ont été partiellement caractérisés : une *cystatin-proteinase inhibitor* semblable à un homologue du kiwi (Act d 4), une triose phosphate isomérase, une protéine PCC13-62 associée à la dessiccation, une enzyme berberine-bridge correspondant au groupe 4 des allergènes de graminées, une glyoxal/galactose oxydase, une UDP-glucose pyrophosphorylase, une anhydrase carbonique, une protéine de la famille des PR-17, une protéine inhibitrice de la dissociation du GDP et deux polygalacturonases – l'une acide comme dans le pollen de graminées (allergènes du groupe 13) et l'autre basique comme dans le pollen de Cupressacées (allergènes du groupe 2) (Bordas-Le Floch, Le Mignon, *et al.* 2015, Gentili *et al.* 2019, Zhao *et al.* 2016). Ces protéines supplémentaires sont classées allergènes en raison de leur reconnaissance par des IgE de patients allergiques ; aucune information n'existe à l'heure actuelle sur leur capacité à induire des symptômes. Par ailleurs, ces familles de protéines sont présentes dans d'autres genres et espèces végétales et pourraient être à la base de réactivités croisées.

4.1.3 Cofacteurs de l'allergénicité

Une interaction avec certains cofacteurs lors de l'exposition à un allergène, tel qu'un grain de pollen, peut favoriser ou augmenter la réaction allergique, notamment en favorisant une activation immunitaire ou inflammatoire au-delà de la réponse IgE spécifique (Figure 88). Ces cofacteurs peuvent être intrinsèques en lien avec l'allergène ou l'environnement biogénique, et extrinsèques en lien avec l'environnement anthropogénique, en particulier la pollution atmosphérique et les conditions climatiques.



Abréviations : NADPH, Reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate ; ROS, reactive oxygen species ; ECP, eosinophil cationic protein ; MPO, myeloperoxidase. Figure reproduite de Naas *et al.* (2016)

Figure 88. Interactions entre le pollen, les facteurs environnementaux et les acteurs du système immunitaire inné conduisant à la réponse inflammatoire et les acteurs du système immunitaire acquis conduisant à la réponse immunologique T2

Cofacteurs intrinsèques

Le grain de pollen est un ensemble complexe de composants protéiques, glucidiques, et lipidiques pouvant moduler son immunogénicité (sa capacité à provoquer une réponse immunitaire spécifique) ou son allergénicité (sa capacité à provoquer une réaction allergique) en agissant sur les cellules et les molécules du système immunitaire inné d'un individu. Trois de ces composants sont décrits ci-dessous : la NADPH oxydase, les protéases, et les médiateurs lipidiques (PALMs).

La NADPH oxydase est une enzyme impliquée dans la voie biologique du stress oxydant. Chez l'Homme, ces oxydases accompagnent de nombreux phénomènes inflammatoires pouvant être délétères si non régulés : recrutement de neutrophiles (cellules clés de l'inflammation), augmentation de l'activité des peptidases, et production de cytokines inflammatoires. Les grains de pollens, qu'ils soient entiers ou fragmentés, présentent naturellement une activité d'oxydoréduction (ou rédox) de la NADPH oxydase entraînant la production de ces cytokines inflammatoires – IL-1 β (Bacsi *et al.* 2006, Boldogh *et al.* 2005, N. Dharajiya *et al.* 2007, N. G. Dharajiya *et al.* 2007, Smiljanic *et al.* 2017, Varga *et al.* 2013). Le pollen d'ambroisie ne fait pas partie des pollens présentant la plus forte activité rédox en lien avec la NADPH oxydase selon une étude publiée en 2006 (Figure 89) ; mais l'état de fraîcheur du pollen utilisé dans cette analyse est cependant inconnu. En effet, il a été montré qu'un grain de pollen d'ambroisie « frais » avait une activité rédox liée à la NADPH oxydase 4 fois supérieure à celle d'un grain de pollen « vieux », stocké dans des conditions sèches (résultats non publiés, courtoisie de Poncet *et al.*) (Figure 90). Enfin, de manière générale, la production de NADPH oxydase dans le pollen est augmentée en présence de polluants atmosphériques comme le montrent des études *in vitro* en exposant le pollen d'ambroisie à de l'ozone (Pasqualini *et al.* 2011) et *in situ* en comparant des pollens d'ivraie de Madrid – exposés à de fortes concentrations de NO₂ et SO₂ – à ceux de Ciudad Real – ville peu polluée (Lucas *et al.* 2019).

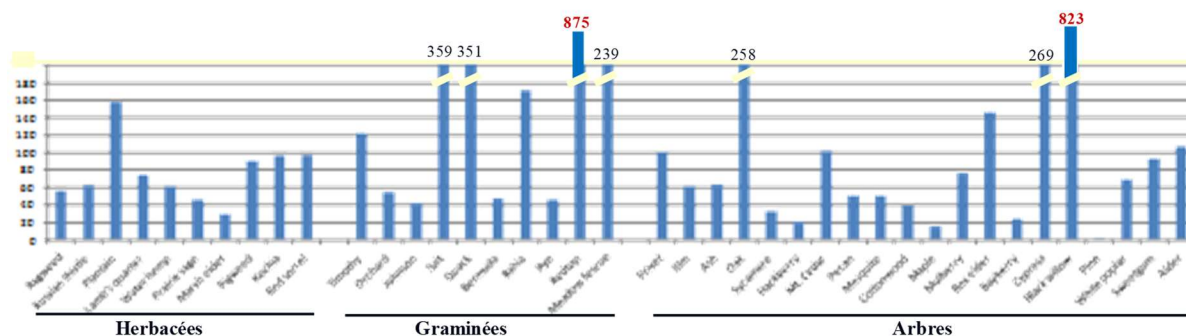
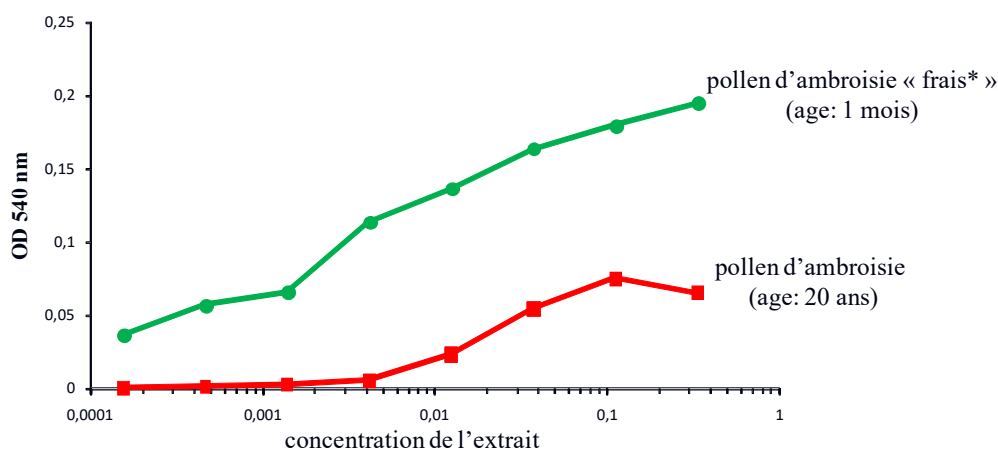


Figure 89. Activité redox liée au contenu en NADPH oxydase de différents pollens (Boldogh et al. 2005)



Activité rédox mesurée par un test d'oxydo réduction NBT (Nitro Blue Tetrazolium). Pollen frais : don de Bruno Chauvel. Résultats non publiés, courtoisie de Poncet et al.

Figure 90. Activité rédox liée au contenu en NADPH oxydase dans du pollen d'ambrosie « frais » et du pollen d'ambrosie « vieux ».

L'activité des enzymes cystéine protéases a été décrite comme adjuvant de la réponse cellulaire T2 (Chapman, Wünschmann, et Pomés 2007, Cunningham *et al.* 2012) qui correspond au type de réponse immunitaire conduisant à l'allergie. Une étude a montré l'existence de 53 familles de protéase et inhibiteurs de protéase dans le pollen de bouleau, réputé fortement allergénique ; le pollen de pin, réputé faiblement allergénique, n'en contenait que 7 (Höllbacher *et al.* 2017). Le pollen d'ambrosie est très riche en protéases, et cela indépendamment de ses allergènes connus répertoriés tel que Amb a 11 (Bordas-Le Floch, Le Mignon, *et al.* 2015). L'activité cystéine protéase des acariens (Der p 1), source allergénique importante aéroportée, favorise la pénétration des allergènes et l'accès aux cellules dendritiques sub-épithéliales *via* la dégradation des jonctions intercellulaires ; ces effets conduisent à l'augmentation de la réponse T2 et l'inhibition de la réponse T1 (Brown *et al.* 2003, Deb *et al.* 2007, Furmonaviciene *et al.* 2007, Gough *et al.* 1999, Hewitt *et al.* 1998, Takai *et al.* 2005, Wan *et al.* 1999). Il est intéressant de noter que, au niveau pulmonaire, les conditions de maintien de l'activité cystéine protéase des acariens sont favorisées par les molécules endogènes humaines (López-Rodríguez *et al.* 2019). Des identités de séquence existent entre la cystéine protéase du pollen d'ambrosie (Amb a 11) et celle des acariens (Der p 1) (Bordas-Le Floch, Le Mignon, *et al.* 2015). L'activité cystéine protéase des acariens a été associée à la production de médiateurs provoquant la dégranulation de mastocytes (i.e. ces dernières libèrent le contenu de leurs granules et de grandes quantités d'histamine sont libérées, ce qui participe à l'inflammation des tissus), indépendamment de la production d'IgE (Serhan *et al.* 2019). Dans la même étude, le pollen d'ambrosie ne montre pas, en moyenne, le même effet, bien que des résultats positifs ponctuels soient observés. Enfin, les enzymes

protéolytiques de pollens d'ambroisie, de fléole, et d'ivraie se sont révélés efficaces à cliver très rapidement l'IL-33, faisant de cette interleukine un détecteur précoce de protéases de l'environnement, entre autres de sources allergéniques respiratoires (Cayrol *et al.* 2018).

L'exine – la paroi externe du grain de pollen – est constituée d'une couche très résistante aux acides, aux bases, aux ultraviolets, à la dégradation enzymatique, etc. Son constituant principal est la sporopollénine (*pollen coat* ou *pollenkit*), dont la composition exacte reste inconnue mais inclut, entre autres : des lipides, des polymères et esters de caroténoïdes, des acides carboxyliques aromatiques simples et aliphatiques non ramifiés à longue chaîne, des composés poly hydroxyles aliphatiques, des alcanes, et des alcènes (Bashir *et al.* 2013). Certains lipides bioactifs peuvent être relargués du grain de pollen et constituent les PALMs ou *Pollen Associated Lipid Mediators* (Behrendt *et al.* 2001). Les PALMs possèdent des structures et des fonctions semblables aux médiateurs orthologues humains ; ils jouent un rôle pro inflammatoire et immunomodulateur sur les cellules de la réponse allergique. Les oxylipines par exemple sont à l'origine de l'activation des éosinophiles et des neutrophiles chez les individus, allergiques ou non allergiques (Plötz *et al.* 2004, Traidl-Hoffmann *et al.* 2002), et peuvent donc être considérés comme des adjuvants de la réponse allergique – agissant sur les cellules et molécules du système immunitaire inné (Bashir *et al.* 2013, Dahl 2018). Chez l'Homme, les réactions observées après application d'allergènes sur la peau (érythème) et la muqueuse nasale (écoulement nasal) sont plus importantes en présence de PALMs que sans (Gilles-Stein *et al.* 2016). Sur des cellules dendritiques, les PALMs favorisent la différenciation et le recrutement de cellules impliquées dans la réponse T2 *via* la diminution de la sécrétion de cytokines pro-T1 (Gutermuth *et al.* 2007, Mariani *et al.* 2007, Traidl-Hoffmann *et al.* 2005). Sur une lignée de cellule épithéliale bronchique humaine, il a été montré que les PALMs altèrent la perméabilité ionique de la barrière épithéliale et induisent la production de cytokines inflammatoires (Blume *et al.* 2015). Enfin, l'exposition du pollen de pin à de l'ozone conduit à la production de certains lipides, en lien avec la transformation des composants de la sporopollénine (monomère d'acide coumarique, 9-octadécenoïque, et limonène) ; cependant, le rôle sur l'allergénicité n'a pas été étudié (Naas *et al.* 2016).

Cofacteurs extrinsèques

Du fait de sa présence dans l'air ambiant, le grain de pollen interagit avec de multiples facteurs, notamment le climat (température, humidité, etc.), la pollution gazeuse (NO₂, CO₂, O₃), et la pollution particulaire. Le grain de pollen peut devenir « pollué » à toutes les étapes de sa vie : sur l'arbre ou sur la plante, lors de son émission, lors de son dépôt sur le sol ou toute autre surface, lors de sa remise en suspension par le vent, ou lors de son transport sur de longues distances (Visez *et al.* 2019). Des interactions plus ou moins néfastes pour la santé pourraient avoir lieu entre les pollens, les polluants gazeux, les particules en suspension, les spores de champignons, les poussières, etc. (Grewling *et al.* 2019). De manière générale, le pollen d'ambroisie récolté dans des parcs urbains ou près des autoroutes est plus allergisant que le pollen d'ambroisie récolté en milieu rural (Ghiani *et al.* 2012). Les facteurs de stress environnementaux intervenant durant le développement de la plante (changements de photo période, d'humidité, de température, de pH du sol, etc.) impactent également le contenu en allergène Amb a 1 (Ghiani *et al.* 2016).

Le traitement au NO₂ de plants d'ambroisie en chambre de culture entraîne une nitrosylation des protéines Amb a 1 et Amb a 3 ainsi qu'une augmentation de la quantité et de l'allergénicité des allergènes Amb a 1 et Amb a 12 (Zhao *et al.* 2016). L'ozone affecte la durabilité du pollen d'ambroisie et augmente significativement son contenu en NADPH oxydase – aucun effet sur l'allergène majeur Amb a 1 n'est cependant observé, ce qui soutient l'hypothèse que l'ozone agirait sur les capacités inflammatoires du pollen (Kanter *et al.* 2013, Pasqualini *et al.* 2011).

La température ambiante est positivement associée à la croissance de l'ambroisie, le nombre d'inflorescence mâle produites, et l'allergénicité du pollen émis – mesurée d'après l'augmentation de l'intensité de la réaction IgE par des techniques d'immunochimie (Gentili *et al.* 2019). Les flavonoïdes, des métabolites secondaires aux propriétés antioxydantes dans les protéines de plantes, sont secrétées de façon plus importante à basse température et

diminuent la reconnaissance des allergènes du pollen d'ambroisie par les IgE. Ainsi, à une température ambiante de 26-30°C, peu de flavonoïdes sont produits et la réactivité IgE est exacerbée (Gentili *et al.* 2019). Cette dernière propriété n'est cependant pas généralisable à tous les allergènes capables de fixer des flavonoïdes ; en effet, la fixation de la quercétine 3-O-sophoride (un flavonoïde glycosylé) sur l'allergène majeur du pollen de bouleau, Bet v 1, n'a aucun effet sur son allergénicité (von Loetzen *et al.* 2015). Outre la température, le pH du sol impacte l'allergénicité des pollens d'ambroisie. Dans une expérimentation contrôlée, les plants d'ambroisie cultivés à pH7 étaient plus courts et développaient des feuilles à un rythme plus lent que ceux cultivés à pH5 et pH6 (Gentili *et al.* 2018). De plus, l'allergénicité du pollen était légèrement supérieure chez la plante cultivée à pH5 ainsi qu'une quantité plus faible de flavonoïdes (en comparaison de la plante cultivée à pH6). Les auteurs évoquent notamment l'idée d'augmenter ou de diminuer le pH du sol pour contrer la propagation de l'ambroisie (Gentili *et al.* 2018).

Le CO₂ est positivement associé à la production de l'allergène majeur Amb a 1 dans le pollen d'ambroisie. En effet, en conditions contrôlées, une exposition de 1 000 à 1 100 ppm de CO₂ était associée à une concentration en Amb a 1 dans le pollen presque trois fois supérieure à celle d'une exposition de 380-400 ppm (Choi *et al.* 2018) – 1 000 ppm reflétant deux fois la concentration en CO₂ prédite en 2050. Une augmentation de température ou de CO₂ entraîne une floraison précoce, un plus grand nombre de fleurs, et donc un plus grand nombre de grains de pollen ; des mesures *in situ* dans des zones urbaines à forte concentration en CO₂ (vs. milieu rural) confirment cette donnée (Shea *et al.* 2008, Wayne *et al.* 2002, Ziska *et al.* 2003). Par une étude transcriptomique, El Kelish *et al.* montrent que des plants élevés en serre en condition de sécheresse et/ou en présence de CO₂ voient leurs teneurs en allergènes augmentées ; la sécheresse aurait d'ailleurs plus d'impact que le CO₂ (El Kelish *et al.* 2014).

L'allergénicité du pollen est portée par le grain dans son entièreté mais également par des sous fragments, soit à l'intérieur du grain (granules cytoplasmiques) soit en surface sur le grain (orbicules) (Schäppi *et al.* 1999, Vinckier, Cadot, et Smets 2005). La simple hydratation peut conduire au fractionnement des pollens, tout comme l'impaction des pollens sur des parois causée par le vent ou les intempéries (D'Amato *et al.* 2019, Visez *et al.* 2015). La pollution provoque également des cassures, des éclatements, ou des effondrements, amenant à la libération dans l'air des sous particules contenus dans le grain de pollen (Motta *et al.* 2006, Shahali *et al.* 2009). Ces particules issues des pollens, bien que submicroniques, contiennent des allergènes et descendent plus profondément sur l'arbre bronchique (Abou Chakra *et al.* 2012, Chakra *et al.* 2011, Motta *et al.* 2004, Prado *et al.* 2015, Wang *et al.* 2012). Le pollen d'ambroisie est capable de produire des particules polliniques par simple hydratation dans l'eau de pluie ; la présence de NADPH oxydase a été confirmée dans ces particules et tous les allergènes du pollen d'ambroisie y ont été retrouvés (Amb a 1 à 11, avec une prépondérance de Amb a 4) (Bacsi *et al.* 2006, Smiljanic *et al.* 2017).

4.1.4 Allergies croisées

Une allergie croisée survient lorsqu'une personne allergique à une substance allergénique réagit à une autre substance chimiquement apparentée, sans qu'il y ait eu de contact préalable avec cette dernière. En effet, des structures protéiques semblables ou très similaires peuvent être retrouvées dans des substances aussi différentes que les pollens, les aliments, et les poils d'animaux. Cette allergie croisée peut s'observer *in vitro* avec la mesure des IgE spécifiques (réactivité croisée) et *in vivo* avec des tests cutanés positifs (sensibilisation croisée) et peut également s'exprimer cliniquement avec l'apparition de symptômes. Ainsi, un patient peut apparaître sensibilisé ou allergique à un allergène alors qu'il est en fait sensibilisé ou allergique à une famille protéique analogue.

Les allergies alimentaires secondaires dues à la réactivité croisée entre un aéroallergène et un allergène alimentaire sont fréquemment observées. L'allergie au pollen est un facteur de risque connu d'apparition d'une allergie alimentaire (Faber *et al.* 2018). De nombreux syndromes pollen-aliments (d'origine végétale) ont été décrits et les allergènes impliqués sont

principalement les protéines de la famille des PR10, les LTP et les profilines (Poncet et Sénéchal 2019). Par exemple, une sensibilisation croisée bouleau-pomme (due à leurs allergènes majeurs Bet v 1 et Mal d 1, respectivement) peut concerner 73% des patients allergiques aux pollens de bouleau et provoquer des symptômes légers localisés à l'oropharynx après ingestion du fruit cru (Faber *et al.* 2018, Geroldinger-Simic *et al.* 2011).

Dans le cas du pollen d'ambroisie, l'allergie croisée avec le pollen d'armoise est très fréquente (Ruëff *et al.* 2012). Cette réactivité croisée est principalement portée par deux pectate lyases (Amb a 1 et Art v 6), et de manière moindre par les deux défensines Amb a 4 et Art v 1 ou les deux LTP Amb a 6 et Art v 3 (Asero *et al.* 2014, Asero *et al.* 2006, Gadermaier *et al.* 2008, Jahn-Schmid *et al.* 2012). Les réactivités croisées au niveau des profilines (Amb a 8 et Art v 4) ou des polcalcines (Amb a 9/10 et Art v 5) sont également probables (Offermann *et al.* 2016).

L'ambroisie et le tournesol appartiennent à la même famille botanique des Astéracées. L'allergie au pollen de tournesol est plutôt considérée comme une allergie liée à l'activité professionnelle car son pollen (lourd, de taille variable, collant) ne se retrouve qu'en petites quantités dans l'air en dehors du champ cultivé ou du fleuriste (Atis *et al.* 2002). Des réactivités croisées avec d'autres Astéracées ont historiquement été décrites dans la littérature (Fernández *et al.* 1993, Jiménez *et al.* 1994). Trois allergènes de pollen de tournesol ont été décrits : Hel a 1 (fonction non documentée), Hel a 2 (profiline), Hel a 6 (pectate lyase), et une défensine – telle qu'elle existe dans le pollen d'armoise Art v 1 et d'ambroisie Amb a 4 (Ghosh *et al.* 2015, Gruber *et al.* 2009) rapportent 6 protéines allergéniques dans le pollen de tournesol, par des techniques allergomiques, parmi lesquelles deux allergènes se révèlent majeurs : une cystéine protéase qui pourrait correspondre à Hel a 1 et est à 54% identique à Amb a 11 et une pectate lyase qui pourrait correspondre à Hel a 6 et est à 80% identique à Amb a 1. A la lumière de ces résultats, une personne allergique au pollen d'ambroisie pourrait voir ses symptômes déclenchés après une exposition au pollen de tournesol et vice-versa, que ce soit par une primo-sensibilisation au pollen de tournesol en milieu professionnel ou à celui d'ambroisie dans l'air ambiant.

Des réactivités croisées mettant en jeu les profilines (Amb a 8) et les LTP (Amb a 6) du pollen d'ambroisie ont été rapportées avec les cucurbitacées (telles que melon, concombre, aubergine) et la banane (Asero, Mistrello, et Amato 2011, Egger *et al.* 2006, Popescu 2015). Des identités de séquences ont été décrites entre les cystéines protéase du pollen d'ambroisie et du kiwi (Amb a 11 et Act d 1, respectivement) (Bordas-Le Floch, Groeme, *et al.* 2015) mais cette association reste à confirmer au niveau clinique.

4.1.5 Rhinite allergique

La rhinite allergique représente l'ensemble des manifestations fonctionnelles nasales engendrées par le développement de l'inflammation provoquée par l'exposition à un aéroallergène (Braun *et al.* 2010). Les symptômes typiques sont une rhinorrhée claire, des éternuements, une obstruction nasale et un prurit nasal. L'inflammation peut également dépasser la sphère nasale et atteindre les voies lacrymales et la conjonctive. Les symptômes incluent alors conjonctivite, démangeaisons, rougeurs, larmolement et inflammation des paupières.

Les rhinites allergiques (ou rhino-conjonctivites, etc.) dues aux pollens sont dites « saisonnières » – en opposition aux rhinites « per annuelles » liées aux poussières de maison par exemple. Les appellations « rhume des foins » ou « pollinose » font également référence aux rhinites saisonnières – la première représentant en particulier la rhinite aux pollens de graminées tandis que la seconde représente l'ensemble des allergies aux pollens. Les dernières recommandations internationales, reprises en France, préfèrent cependant baser la classification de la rhinite sur la durée des symptômes : rhinite intermittente (<4 semaines consécutives par an) et rhinite persistante (Braun *et al.* 2010). En effet, certains patients allergiques « saisonniers » présentent des symptômes au long cours en raison de la succession des saisons polliniques ou de la longueur de celle-ci, tandis que certaines

personnes allergiques à des allergènes per annuels ne présentent des symptômes que pendant quelques semaines. Dans les recommandations internationales, la sévérité de la rhinite est définie sur la base de l'impact des symptômes sur la qualité de vie des malades.

La rhinite allergique ou pollinose à l'ambroisie s'exprime par les symptômes typiques évoqués ci-dessus mais présente quelques particularités. Il s'agit tout d'abord d'une rhinite allergique de fin d'été ou début d'automne, avec un pic de pollinisation généralement attendu entre mi-août et mi-septembre, ce qui l'individualise des autres pollens reconnus très allergisants – bouleau, cyprès, et graminées. En raison de son fort potentiel allergisant, le pollen d'ambroisie est supposé provoquer des symptômes chez les individus allergiques dès que 6 grains sont présents par m³ d'air (cf. paragraphe 3.2.2.4). Ce seuil, très faible, rend les symptômes difficiles à prévoir et à contrôler. De plus, il est très probable que des niveaux plus élevés provoquent des symptômes plus sévères ou plus difficiles à contrôler de manière proportionnelle, impactant gravement la qualité de vie des malades (Caillaud *et al.* 2014, Cvitanovic *et al.* 2007, Jones *et al.* 2019). Lors d'une consultation nationale menée dans le cadre de la présente expertise (Annexe 5), 60 à 70% des professionnels de santé interrogés (majoritairement des allergologues) déclaraient en effet que l'allergie à l'ambroisie est plus difficile à contrôler ou présente des symptômes plus sévères que les allergies aux autres pollens.

4.1.6 Diagnostic clinique

Le diagnostic clinique se base sur l'existence de symptômes typiques, l'identification du caractère allergique de ces symptômes, et l'identification de l'allergène en cause – notamment grâce à l'existence ou l'absence d'une saisonnalité dans les symptômes. Un test cutané vient généralement corroborer l'hypothèse diagnostique en indiquant l'existence d'une sensibilisation allergique. Ces tests sont simples à mettre en œuvre, peu coûteux, et bien tolérés. Ils permettent de rechercher simultanément une sensibilisation allergique vis-à-vis de différents allergènes inhalés, dont les pollens. La mise en place de ces tests et l'interprétation de leurs résultats suivent des recommandations nationales ou internationales (Bousquet *et al.* 2008). Il est à noter qu'un test cutané positif n'indique que l'existence d'une sensibilisation allergique ; l'allergène en question n'est pas forcément à l'origine des symptômes observés.

Si les examens cutanés sont peu concluants ou doivent être validés, des tests biologiques sont réalisés par des techniques immunochimiques *in vitro* pratiquées sur sérum. Les IgE du patient sont testées vis-à-vis de molécules connues ; on parle de dosage des IgE spécifiques dirigés contre un allergène ou une molécule d'intérêt. Si les réponses apportées par ces tests doivent être approfondies, les outils et les techniques de la recherche peuvent être utilisés. Le recours au dosage des IgE spécifiques est nécessaire lorsque la suspicion de sensibilisation croisée est forte ou lorsqu'un traitement de désensibilisation est envisagé. Le dosage sérique des IgE est plus difficile à mettre en œuvre et plus onéreux que les tests cutanés. Cependant, les niveaux d'IgE spécifiques sont généralement fortement corrélés aux résultats des tests cutanés (Bousquet *et al.* 2008). Enfin, de manière similaire aux tests cutanés, des niveaux élevés d'IgE spécifiques à un allergène ne préjugent pas du rôle de cet allergène dans les symptômes observés.

Le diagnostic de l'allergie à l'ambroisie suit les mêmes étapes. La saisonnalité des symptômes associés à cette allergie est assez individualisée de celle d'autres pollens, avec des symptômes présents en fin d'été ou début d'automne. La localisation géographique et les déplacements des malades sont également à prendre en compte dans le diagnostic. L'ambroisie n'est en effet présente que dans certaines régions à l'heure actuelle ; pour être identifié comme allergique à l'ambroisie, un patient présentant des symptômes allergiques estivaux devra avoir été exposé dans le passé au pollen d'ambroisie pour développer une sensibilisation allergique et avoir été en contact avec ce pollen pour déclencher les symptômes – sauf dans le cas d'une potentielle allergie croisée. Dans certaines régions où l'ambroisie est présente, les pollens de graminées ou d'urticacées peuvent être mesurés dans l'air jusqu'au mois d'août ; les conditions précises d'apparition des symptômes seront alors examinées et

un test (cutané ou immunologique) pourra être utile pour confirmer ou infirmer le rôle de l'ambroisie.

4.1.7 Prise en charge et traitements

La prise en charge repose sur la mise en place d'un traitement médicamenteux pour soulager le patient de ses symptômes, le contrôle ou l'éviction des facteurs déclenchants les symptômes, et l'éducation des patients – sur l'allergie en général et sur son traitement pour améliorer l'observance. En effet, en dépit du caractère pénible des symptômes, la rhinite allergique est souvent sous diagnostiquée et sous traitée, considérée comme banale par les malades. La plupart d'entre eux n'utilisent que des médicaments en vente libre sans ordonnance et seuls 45% vont consulter un médecin, souvent les cas les plus difficiles ou pénibles (Canonica *et al.* 2007, Maurer et Zuberbier 2007). Presque tous les patients (80%) consultant un médecin généraliste ont une rhinite allergique considérée sévère selon la classification proposée par l'organisation ARIA, *Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma* (Bousquet *et al.* 2006). Dans un sondage réalisé en mars 2017 par l'association Asthme & Allergies et l'IFOP auprès d'un échantillon représentatif de la population française, 47% des répondants (malades ou non) estiment que l'allergie n'est pas une vraie maladie. Pour 61% des malades, leur entourage a tendance à banaliser l'allergie.

Réduire ou supprimer l'exposition aux facteurs déclenchants les symptômes est une stratégie efficace quand elle est réalisable. En effet, il peut être compliqué d'éviter, ou même de diminuer, le contact avec les allergènes surtout lorsqu'ils sont présents dans l'air ambiant extérieur ou intérieur, tels que les pollens ou les moisissures. Des recommandations peuvent être communiquées par les médecins ou pharmaciens pour aider les patients à réduire leur exposition : suivre les bulletins polliniques du RNSA, éviter les déplacements et pratiques sportives en extérieur, ne pas faire sécher son linge en extérieur, aérer son logement en dehors des pics journaliers, se laver les cheveux et le visage régulièrement, etc.

Les traitements médicamenteux de première intention de l'allergie sont dits symptomatiques. Ils ont pour objectif de soulager le malade en diminuant l'intensité des symptômes – rhinorrhée, éternuements, obstruction nasale, conjonctivite, etc. Les traitements sont identiques quel que soit l'allergène déclencheur de la rhinite allergique. Deux classes thérapeutiques sont les plus représentées :

- Les antihistaminiques, visant à réduire ou éliminer les effets de l'histamine (médiateur chimique endogène) libéré au cours des réactions allergiques. Les antihistaminiques peuvent être administrés localement (dans les yeux avec un collyre ou le nez en pulvérisations) ou par voie systémique (avec un comprimé). Les antihistaminiques oraux les plus récents, dits de deuxième génération, sont peu sédatifs et présentent une meilleure spécificité vis-à-vis des récepteurs de l'histamine.
- Les corticoïdes en pulvérisations nasales, possédant une capacité anti-inflammatoire sur les muqueuses du nez. Leur délai d'action est rapide (de l'ordre de 24 heures), mais leur efficacité n'est maximale qu'après plusieurs jours de traitement.

Ces deux traitements sont complémentaires. Les recommandations internationales de l'organisation ARIA (*Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma*) préconisent a) l'utilisation simultanée d'un antihistaminique et de corticoïdes par voie nasale ou b) l'utilisation seule de corticoïdes par voie nasale pour traiter la rhinite allergique saisonnière (Brożek *et al.* 2017)¹⁹. Une thérapie combinée semble être un choix pertinent chez les patients dont les symptômes ne sont pas bien contrôlés par un corticoïde par voie nasale seul, ceux qui présentent des symptômes oculaires prononcés, ou ceux qui souhaitent voir des bénéfices rapides du

¹⁹ Certains auteurs ont déclaré avoir reçu des subventions ou honoraires de la part d'entreprises pharmaceutiques.

traitement. Il est cependant souligné que le choix du traitement dépend principalement des préférences du patient, de la disponibilité du traitement, et de son coût.

Dans les cas les plus sévères ou invalidants, la désensibilisation ou immunothérapie spécifique est envisagée. Elle vise à induire une tolérance de l'organisme vis-à-vis d'un allergène d'intérêt. Son principe est d'exposer régulièrement l'organisme à de petites quantités de l'allergène afin de réduire progressivement la réponse immunitaire associée ; on parle de traitement étiologique. La désensibilisation n'a pas pour ambition de soulager le patient de ses symptômes à court terme, mais bien de les faire disparaître sur le long terme. L'allergène en cause doit être précisément connu car le procédé cible une molécule spécifique. Seul un allergologue est habilité à procéder à une désensibilisation.

La prise en charge et le traitement de la rhinite allergique au pollen d'ambroisie suivent le schéma général décrit ci-dessus. Les recommandations visant à réduire l'exposition au pollen sont primordiales dans les zones infestées par la plante et les zones de front. L'immunothérapie spécifique a montré son efficacité dans le cas de la rhinite allergique au pollen d'ambroisie (Turkalj, Banic, et Anzic 2017).

4.1.8 Comorbidités de l'allergie

L'asthme est une comorbidité très fréquente de l'allergie. Bien qu'ils impliquent tous deux les mêmes cellules et médiateurs inflammatoires, l'asthme touche les voies respiratoires inférieures alors que l'allergie, quand elle est respiratoire, touche les sphères supérieures (nez, gorge, yeux). L'asthme est une maladie inflammatoire chronique des voies aériennes qui se manifeste classiquement par un trouble ventilatoire obstructif réversible (spontanément ou à l'aide d'un traitement), une hyperréactivité bronchique et/ou des épisodes récurrents de symptômes respiratoires – essoufflement, sifflements dans la poitrine, toux, ou sensation d'oppression thoracique. Les symptômes sont épisodiques et peuvent survenir après l'effort ou après contact avec un facteur déclenchant, tel qu'un produit irritant ou un allergène. L'allergie est un facteur de risque majeur de l'asthme c'est-à-dire qu'elle le précède bien souvent (Brożek *et al.* 2017, Burbach *et al.* 2009). Jusqu'à 85% des individus asthmatiques ont une rhinite allergique et 40% des individus avec une rhinite allergique présentent un asthme (Bousquet, Van Cauwenberge, et Khaltaev 2001, Leynaert *et al.* 2000).

D'autres comorbidités coexistent avec l'allergie ou la rhinite allergique. On peut citer :

- La dermatite atopique ou l'eczéma allergique (dont les symptômes incluent démangeaisons de la peau avec plaques lichénifiées affectant les flexions, la tête et le cou) coexiste souvent avec la rhinite allergique. Chez les enfants, la dermatite atopique est considérée comme la première étape de la « marche allergique », évoluant vers l'asthme ou la rhinite plus tard dans la vie.
- Les allergies alimentaires sont associées à la rhinite allergique par le biais des allergies croisées (cf. paragraphe 4.1.4).
- La sinusite, une inflammation du nez et des sinus paranasaux, est souvent associée à la rhinite ; on parle de rhino-sinusite. Les principaux symptômes de la sinusite sont l'obstruction ou le blocage nasal, la douleur/pression faciale, les maux de tête récurrents ou la perte d'odorat. L'étendue de la rhino-sinusite est encore débattue et peut être différente selon son caractère chronique ou aiguë.

L'allergie à l'ambroisie semble s'accompagner d'asthme plus fréquemment que les autres pollinoses, comme en témoignent les professionnels de santé ayant répondu à la consultation menée dans le cadre de la présente expertise ainsi que certaines publications (Corsico *et al.* 2000). Des analyses plus nombreuses, examinant des populations canadiennes ou nord-américaines, ne montrent cependant pas de différences (Gergen et Turkeltaub 1992, Levesque *et al.* 2005, Lin et Williams 2003).

4.1.9 Impacts de l'allergie sur la qualité de vie, la productivité, et l'absentéisme

La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, qui ne consiste pas seulement en l'absence de maladies ou d'infirmité (OMS 1946). Des outils d'évaluation ont été développés afin de prendre en considération différents paramètres contribuant à la santé au sens de la définition indiquée ci-avant. Avec l'appui d'un questionnaire spécifique, ou non-spécifique à l'image du SF-36²⁰, différents paramètres viennent renseigner un état de santé qui pourra alors être traduit sous la forme d'un score composite de la qualité de vie. Un questionnaire de qualité de vie spécifique à la rhinite allergique existe et a été validé chez l'adulte (Juniper 1997, Juniper *et al.* 1999). Il comprend 7 domaines, chacun d'eux étant coté sur une échelle de 7 (de 0 : aucune gêne à 6 : gêne très marquée), un score plus élevé traduisant une rhinite plus invalidante. Dans le cadre de la rhinite allergique, une perte de qualité de vie peut impliquer des conséquences en matière de vie sociale (Bousquet *et al.* 2008, Juniper 1997) et professionnelle (Lamb *et al.* 2006), tant chez l'adulte que sur des populations plus jeunes (Blais *et al.* 2018, Meltzer, Farrar, et Sennett 2017)²¹. Un absentéisme scolaire accru et une perte de performance académique peuvent alors être rencontrés (Deville *et al.* 2016). L'impact de la rhinite semble dépendre davantage de la gravité de la rhinite que de la durée des symptômes (Bousquet *et al.* 2006).

L'allergie à l'ambroisie ne fait pas exception. Au regard des retours de la consultation nationale réalisée auprès de professionnels de santé dans le cadre de cette expertise, elle apparaît même comme particulièrement invalidante en comparaison d'autres allergies polliniques. Cependant, dans la littérature, il n'existe pas de comparaison directe de l'impact de la pollinose à l'ambroisie et de la pollinose aux graminées sur la qualité de vie.

4.1.10 Outils en épidémiologie

4.1.10.1 Questionnaires

Dans un grand échantillon, le questionnaire, souvent auto-rempli, est l'outil privilégié pour identifier les individus allergiques. Plusieurs questionnaires ont été proposés et validés par la communauté scientifique pour les identifier (Tableau 14). Ils peuvent inclure des questions sur les symptômes typiques (nez, yeux, gorge) ou sur le diagnostic en lui-même (allergie, rhinite, rhume des foins). Les questions abordant directement les symptômes de l'allergie et de la rhinite sont supposées préférables car elles se dispensent de la terminologie médicale.

La question la mieux évaluée pour identifier les individus présentant une rhinite dans la population générale mentionne l'occurrence de symptômes (« des problèmes d'éternuements, de nez qui coule ou de nez bouché ») sans présence d'infection respiratoire (« quand vous n'étiez pas enrhumé ou n'aviez pas la grippe »). La valeur prédictive de la donnée collectée est satisfaisante quand on la compare aux informations cliniques obtenues avec un questionnaire plus détaillé et un test cutané – outils cliniques (Burney *et al.* 1997). La mention de la « confirmation par un médecin » a également été introduite pour identifier la rhinite allergique en population, bien qu'une sous-estimation soit probable – les malades ayant tendance à banaliser les symptômes et à ne pas consulter leur médecin (Bauchau et Durham 2004, Bousquet *et al.* 2006, Canonica *et al.* 2007).

²⁰ Questionnaire standardisé d'évaluation de la qualité de vie. Il inclut 36 items reflétant 8 dimensions de la santé (physique et mentale). Le score résultant va de 0 à 100, un chiffre bas indiquant une faible qualité de vie.

²¹ Ces publications ont fait l'objet d'un financement privé.

Tableau 14. Questionnaires standardisés pour évaluer la rhinite dans les études épidémiologiques

Référence	Formulation (traduite en français)
<i>British Medical Research Council</i> (1960)	Nez bouché ou catarrhe habituel en été
<i>European Steel and Coal Community</i> (1962)	Nez qui coule au printemps
<i>European Steel and Coal Community</i> (1967)	Rhume des foins
American Thoracic Society (1978)	Rhume des foins confirmé par un médecin
<i>South London Community Survey</i> (1991)	Rhinite non associée à un rhume ou une grippe
<i>European Community Respiratory Health Survey</i> (ECRHS)	Allergie nasale, notamment rhume des foins, chez les adultes
<i>International Study of Asthma and Allergies in Childhood</i> (ISAAC)	Rhinite allergique et non-allergique en l'absence de rhume ou état gripal chez les enfants
<i>Score for Allergic Rhinitis</i> (SFAR)	Rhinite allergique et non allergique

Adapté de (Annesi-Maesano 2003).

Pour mieux identifier la nature (allergique, non allergique ; saisonnière, *per* annuelle) de la rhinite, certains questionnaires demandent aux répondants de lister les déclencheurs des symptômes (animaux, poussières, pollens, autres) ou intègrent des questions subsidiaires portant sur la temporalité des symptômes au cours de l'année écoulée (fréquence par saisons ou par mois) – à l'image de la cohorte française EGEA, examinant les facteurs génétiques et environnementaux de l'asthme et de l'allergie (Bouzigon *et al.* 2015).

Des données cliniques, telles que la sensibilisation allergique mesurée avec des tests cutanés, peuvent être collectées dans un sous-échantillon de la population d'étude. Il est alors possible de combiner ces données aux informations issues d'un questionnaire afin de confirmer le statut allergique des participants déclarant des symptômes. L'utilisation de la sensibilisation allergique seule n'est pas conseillée (cf. paragraphe 4.1.6).

Il n'existe pas de questionnaire standardisé spécifique à l'ambroisie. Identifier les individus allergiques à l'ambroisie nécessite donc l'utilisation combinée de questions mentionnant les symptômes ou le diagnostic et de questions précisant le déclencheur ou la temporalité des symptômes. La mesure de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie peut également être utilisée si celle-ci est disponible, afin de confirmer la nature de l'allergie des participants déclarant des symptômes.

4.1.10.2 Bases de données médico-administratives

Les bases de données médico-administratives sont un outil émergent permettant d'identifier, à grande échelle, des individus malades sur la base de leurs remboursements ou consommation de soins : consultations, médicaments, actes médicaux, hospitalisations, etc. Dans certains pays, ces bases de données disposent même de codes diagnostics (selon la classification internationale des maladies) renseignés par les prescripteurs confirmant l'objet de la consultation, du traitement, ou de l'acte. Les données administratives sont généralement considérées fiables grâce à leur large couverture populationnelle et leur disponibilité quasi exhaustives. De plus, elles offrent souvent la possibilité d'un suivi à long terme ou d'analyses répétées.

Cependant, l'utilisation de ces bases est soumise à condition et précaution. La pathologie d'intérêt pour laquelle les individus cherchent à être identifiés doit avoir des actes médicaux (ou une combinaison d'actes) identifiables et spécifiques enregistrés dans la base de données, au risque d'introduire un biais de classification dans l'analyse. Le biais de classification désigne une erreur systématique dans la définition de la maladie et peut être source de surestimation (la définition identifie certains individus comme malades alors qu'ils ne le sont pas réellement) ou de sous-estimation (la définition choisie ne capture pas la totalité des individus malades) de la prévalence de cette maladie. L'existence et le développement de l'auto médication peut introduire un biais de classification majeur, dans le sens d'une sous-estimation de la prévalence, pour les pathologies concernées par ce phénomène telle que la rhinite allergique. Il est donc important de rechercher la définition des cas la plus robuste possible et de chercher à valider cette définition quand c'est réalisable.

Les médicaments considérés jusque-là dans la littérature pour identifier les individus allergiques d'après des bases de données médico-administratives sont ceux utilisés en première intention pour atténuer/alléger les symptômes et regroupent les corticoïdes sous forme de spray nasal et les antihistaminiques en comprimés ou collyres, parfois combinés (cf. paragraphe 4.1.7). La présence de l'allergie ou de la rhinite allergique a été inférée d'après le type et la fréquence des médicaments, la durée du traitement, et le dosage parfois. Les codes diagnostics associés aux actes, notamment consultations et médicaments, enregistrés dans ces bases sont généralement considérés fiables et peuvent être utilisés. Cependant, dans le cas de l'allergie, ces codes peuvent être fréquemment manquants et montrent des performances moindres que pour d'autres maladies (sensibilité limitée) (Wilchesky, Tamblyn, et Huang 2004), probablement en lien avec la banalisation de la maladie.

Aux Pays Bas, Mulder *et al.* (2016) ont examiné les performances de 8 définitions des cas pédiatriques de rhinite allergique basées sur différents schémas de prescriptions sur une année calendaire, par exemple : ≥ 1 prescription d'antihistaminique en comprimé, ≥ 1 prescription de corticoïdes par voie nasale, ≥ 2 prescriptions d'anti histaminique (comprimé ou spray) ou de corticoïdes par voie nasale, ≥ 3 prescriptions d'anti histaminique (comprimé ou spray) ou de corticoïdes par voie nasale, etc. Ces définitions ont été comparées à la présence (ou absence) d'un code diagnostic de rhinite allergique rempli par le médecin – considéré comme gold standard. Les performances ont été exprimées en termes de sensibilité et valeur prédictive positive. Presque tous (87%) les enfants identifiés avec le schéma de ≥ 1 prescription d'anti histaminique en spray nasal étaient bien malades selon le code diagnostic ; cependant, ce schéma ne capturerait que 22% des cas totaux de rhinite allergique. À l'inverse, le schéma de ≥ 1 prescription d'anti histaminique en comprimé permettait d'identifier 72% des cas totaux de rhinite allergique mais peu des enfants identifiés comme cas étaient réellement malades (23%). Tous les schémas proposés montrent des performances contrastées, rendant discutable leur utilisation directe dans des analyses épidémiologiques – d'autres analyses et vérifications sont nécessaires selon les auteurs. Ce travail est, à ce jour, la seule tentative de validation d'une définition de la rhinite allergique d'après délivrance ou prescription de médicaments.

Aux États-Unis, les personnes étaient identifiées comme ayant une rhinite allergique si elles avaient reçu, en pharmacie, un traitement pour au moins 30 jours d'antihistaminiques de deuxième génération sur une année calendaire entre 1996 et 1998 (Crown *et al.* 2003)²². Bien que ces médicaments soient également utilisés dans le traitement de l'eczéma, cette erreur était considérée minime par les auteurs. La fréquence et la durée des traitements sur l'année a ensuite permis la distinction entre rhinite allergique saisonnière et rhinite allergique *per* annuelle. Néanmoins, il est à noter que seulement la moitié des personnes identifiées comme ayant une rhinite allergique disposaient d'un code diagnostic lié à l'allergie dans la base de données, mettant en doute la validité de la définition choisie. La banalisation de la rhinite

²² Etude ayant fait l'objet d'un financement de Pfizer.

allergique, surtout saisonnière, pourrait être une explication : le médecin ne remplirait pas le diagnostic pour un traitement court ou léger ou pour des personnes ne présentant pas de comorbidité chronique associée (comme l'asthme, qui est plus souvent observé chez des patients montrant une rhinite allergique *per* annuelle dans cette analyse). En Corée, les cas pédiatriques (≤ 14 ans) de rhinite allergique étaient identifiés, sur l'année calendaire, sur la base d'au moins une prescription d'antihistaminiques de deuxième génération ou au moins une prescription de corticoïdes par voie nasale ; la présence d'un code diagnostic de la rhinite allergique était également considéré même en l'absence de médicament (Kang *et al.* 2008). Un panel d'expert a été consulté pour déterminer la robustesse de cette définition, mais aucun processus de validation n'a été engagé par les auteurs. De manière similaire, aux Etats-Unis, Lang *et al.* ont identifié les cas de rhinite allergique sur la base de la présence d'un code diagnostic ou d'au moins deux prescriptions ou délivrance de médicaments sur une année (incluant corticoïdes par voie nasale, antihistaminiques, anticholinergiques, antileucotriènes, et décongestionnants) (Lang *et al.* 2016). La rhinite allergique était considérée saisonnière quand les médicaments étaient prescrits ou délivrés pour un traitement de moins de 4 mois. Pour finir, en France, dans une base de données regroupant les informations de consultations et de prescriptions d'un panel de 1200 médecins généralistes, la rhinite allergique *per* annuelle a été définie sur la base de la présence du code diagnostic correspondant ou la présence d'au moins 2 prescriptions d'antihistaminiques (toute voie) ou corticoïdes par voie nasale sur deux semestres différents de l'année 2010 (Belhassen *et al.* 2017). Dans une étude écologique française étudiant l'impact des pics journaliers de pollens sur la consommation de soins, les cas de rhinite allergique, rhino sinusite, ou rhino conjonctivite étaient identifiés sur la base d'une délivrance simultanée d'un antihistaminique *per os* et d'un traitement antiallergique local (Fuhrman *et al.* 2007).

Il n'existe pas de définition spécifique et validée de la rhinite allergique au pollen d'ambroisie sur la base de données médico-administratives. Identifier les individus allergiques à l'ambroisie avec de telles données nécessiterait l'utilisation d'une ou plusieurs définitions évoquées dans les paragraphes précédents combinée à un indicateur de période de temps, tel que le mois ou la saison pollinique. Une telle combinaison avait notamment été proposée par Crown *et al.* (2003) aux États-Unis mais n'avait pas été appliquée en raison de l'hétérogénéité des saisons polliniques sur le territoire nord-américain – certaines régions présentant un pic en septembre et d'autres en octobre. C'est cette stratégie qui a été choisie par l'Observatoire Régional de la Santé en région Auvergne-Rhône-Alpes pour identifier les individus allergiques à l'ambroisie sur la base des remboursements de médicaments ; ces travaux font l'objet d'une analyse détaillée en paragraphe 4.2.1.2.

4.2 Prévalence de l'allergie aux pollens d'ambroisie

Près d'un tiers des adultes souffrirait d'allergie aux pollens en France (tous types, estimation haute) (Anses 2014) ; cette prévalence serait moindre chez les enfants et les adolescents, entre 7% et 20%. Une estimation précise en population est cependant difficile à obtenir en raison de l'hétérogénéité des données disponibles (tant sur les méthodes que sur les populations d'études). En effet, comme évoqué précédemment, les outils disponibles pour définir l'allergie au pollen dans les études épidémiologiques sont peu standardisés et la mesure de la sensibilisation allergique, bien que standardisée, ne permet pas d'identifier les individus symptomatiques. Au-delà des outils utilisés, la définition de l'allergie varie d'une étude à une autre : « allergie », rhinite allergique, symptômes typiques, prise en compte ou non de la présence d'une sensibilisation allergique, etc. Il existe enfin une forte variation géographique de l'allergie et de la sensibilisation allergique, dépendant des types de pollens observés dans l'air et de leurs quantités respectives, eux-mêmes liés à l'urbanisation (zone rurale, péri urbaine, ou urbaine) et au climat (Klossek *et al.* 2009, Scala *et al.* 2018). En France en 2006, la prévalence de la rhinite allergique (tous allergènes confondus) variait de 26% dans le sud-ouest à 37% près de la Méditerranée (Klossek *et al.* 2009).

L'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie se heurte aux mêmes limitations méthodologiques. La problématique de l'ambroisie est récente en France et en Europe et fait l'objet de publications de plus en plus nombreuses. De grandes études incluent désormais la mesure de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans leurs panels de tests cutanés, permettant ainsi d'estimer la prévalence de cette sensibilisation à l'échelle de plusieurs pays Européens, tant en population générale qu'en populations de patients (Bousquet *et al.* 2007, Heinzerling *et al.* 2009, Ackermann-Liebrich *et al.* 2009, Agnew *et al.* 2018, Vörös *et al.* 2018). Des études régionales, souvent en zones infestées par l'ambroisie ou en zones de front, ont également été menées ; ces dernières s'intéressent plutôt à la quantification ou l'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie sur un ou plusieurs territoires, notamment en France, en Allemagne, en Croatie, en Italie, en Hongrie et en Autriche (Albertini *et al.* 2012, Ariano *et al.* 2015, Ciacli 2011, Grewling *et al.* 2018, Hoflich *et al.* 2016, Jäger 2000, Mehulić *et al.* 2011, Ruëff *et al.* 2012). En 2013, Bullock *et al.* (2013) rapportaient déjà une partie de cette littérature Européenne.

Les paragraphes suivants analysent plus particulièrement les publications et rapports institutionnels, en France et en Europe, considérés pertinents par le groupe de travail dans le cadre de la présente expertise (cf. paragraphes 4.2.1 et 4.2.2).

4.2.1 En France

En France, les travaux d'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie, menés depuis une vingtaine d'année en régions Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes, sont particulièrement d'intérêt et pertinents dans le cadre de la présente expertise. Ce sont des données précieuses permettant d'estimer l'impact de l'ambroisie sur la santé de la population à l'échelle d'une région – impact exprimé en terme de prévalence de l'allergie à l'ambroisie. Il s'agit également d'un outil nécessaire à la conduite des actions de terrains pour empêcher la propagation de la plante dans les zones proches encore épargnées. Les différentes méthodologies mises en place sont robustes et offrent de nombreuses perspectives d'amélioration.

4.2.1.1 Enquêtes téléphoniques réalisées en Rhône-Alpes

En 1999, grâce à une enquête téléphonique, le Centre Rhône-Alpes d'Épidémiologie et de Prévention Sanitaire (CAREPS) avait estimé que 8,5% de la population de la région Rhône-Alpes était allergique à l'ambroisie. En 2004, puis en 2014, des enquêtes téléphoniques similaires ont été menées pour mettre à jour ces chiffres de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie ; les résultats ont également été comparés afin d'estimer l'évolution de cette prévalence au cours du temps, en lien avec la présence de la plante. Une analyse critique des méthodes et résultats de ces deux mises à jour a été effectuée et est décrite ci-dessous. Les résultats présentés ici ont été sélectionnés pour les besoins de la présente expertise. L'ensemble des résultats est disponible dans les rapports originaux (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014, CARESP 2005).

Méthodes

Trois zones ont été définies sur la région Rhône-Alpes permettant d'estimer l'exposition potentielle de la population au pollen d'ambroisie dans chacune : zone fortement exposée, zone moyennement exposée, et zone nouvellement ou peu exposée. En 2004, ces zones étaient définies sur la base des comptes polliniques annuels du pollen d'ambroisie (somme des niveaux journaliers mesurés en stations) et la présence de l'ambroisie sur le territoire (ponctuelle vs. envahissante). En 2014, la définition évolue pour considérer le nombre de jours annuel présentant un RAEP ≥ 3 (≥ 45 jours par an, 5-25 jours par an, et < 5 jours par an pour les zones fortement exposées, moyenne exposées, et nouvellement ou peu exposées, respectivement). Bien que les critères soient différents, il existe un recoupement important entre les zones définies en 2004 et celles définies en 2014 ; 80% des communes considérées « fortement exposées » en 2004 l'étaient également en 2014. De plus, il existe une corrélation

forte entre comptes polliniques annuels du pollen d'ambroisie et le nombre de jours annuel présentant un RAEP ≥ 3 .

Les méthodologies d'enquêtes appliquées en 2004 et 2014 sont très similaires, reprenant celle choisie initialement en 1999. L'adoption d'une approche par foyers pour la sélection de l'échantillon a permis d'obtenir une population d'étude bien représentative de la population générale sur les critères de l'âge et de la catégorie socio-professionnelle du chef de famille, par commune et par zone d'exposition à l'ambroisie (voir plus bas). Les jeunes (de 18 à 29 ans) et les non-actifs (femmes au foyer et autres) étaient sous représentés dans l'échantillon sélectionné en 2004. Le questionnaire a été administré par téléphone, par des techniciens formés, à un membre du foyer (personne ou membre de référence) répondant pour lui-même et les autres membres. Dans les deux enquêtes, les personnes de référence les plus représentées sont les retraités et les plus de 60 ans.

Les questionnaires utilisés en 2004 et 2014 sont également très similaires. En 2004, celui-ci avait été administré tardivement à la population d'étude, en novembre et décembre, en raison de la longueur inhabituelle de la saison pollinique – les enquêteurs ont préféré attendre la baisse significative des niveaux de pollens pour éviter tout biais de déclaration. En 2014, le questionnaire avait été administré en septembre 2014, à la toute fin de la saison pollinique. Les questions posées sont d'abord générales sur l'allergie, sans mention de l'ambroisie, pour éviter de biaiser les déclarations ou le taux de réponse ; les questions plus spécifiques à l'ambroisie et à son allergie sont subsidiaires (Tableau 15). Malgré ces précautions, un biais de sélection de la population répondante ne peut pas être exclu, les personnes allergiques ou personnes proches d'allergiques ayant pu répondre plus volontiers à l'enquête.

Les réponses aux questionnaires ont permis aux enquêteurs de définir les cas allergiques à l'ambroisie. Trois définitions ont été considérées et témoignent d'un gradient de la vraisemblance de l'allergie chez un individu : cas certain, cas probable, ou cas suspecté (Tableau 15). En 2014, la déclaration de symptômes typiques de l'allergie sur le mois de juillet a été ajoutée, en plus d'août et septembre, à la définition des cas (certains, probables, et suspectés). Ce nombre de cas a permis de calculer la prévalence (%) de l'allergie à l'ambroisie dans la population d'étude (représentative de la population générale régionale) selon les zones d'exposition.

Tableau 15. Méthodes des deux enquêtes téléphoniques menées en région Rhône-Alpes en 2004 et 2014 (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014, CARESP 2005)

	2004	2014
N	2406 questionnaires familiaux remplis, 6 509 individus	2 502 foyers interrogés, 7 024 individus
Questions sur l'allergie (par individu du foyer)	<p>1/ Présence de symptômes parmi : nez (bouché, qui coule, qui pique, éternuements), yeux (rouges, qui piquent, qui pleurent), oreilles qui grattent, toux sèche ou gorge qui gratte, asthme ou sifflement dans la poitrine, essoufflement ou gêne respiratoire. <i>Si présence de symptômes, alors questions suivantes détaillées.</i></p> <p>2/ Fréquence dans les 12 derniers mois ? Toute l'année, toute l'année mais plus important certains mois, certains mois seulement. Si certains mois, alors en détail : de janvier à décembre. Si août ou septembre alors :</p> <p>2.3/ D'autres symptômes ? oui, non, ne sait pas. Si oui lesquels parmi : atteinte cutanée, otite, sinusite, autre.</p> <p>2.5/ Consultation pour ces symptômes ? oui plusieurs fois, oui une fois, non, ne sait pas.</p> <p>2.6/ médicament pour ces symptômes ? oui, non, ne sait pas. Si oui : après consultation, sur conseils pharmacie, propre initiative.</p> <p>2.8/ Nécessité arrêt de travail ou modification des activités ? oui, non, ne sait pas.</p> <p>2.9/ Présence des symptômes depuis N années.</p> <p>2.10/ Présence des symptômes ? Tous les ans, uniquement certaines années, première fois.</p> <p>3/ Cet individu est-il atteint de rhume de foins ou rhinite allergique ou allergie respiratoire ? Oui, non, ne sait pas. Si oui : allergie pollen d'arbre ou allergie pollen graminées ou allergie pollen d'ambroisie ou poils d'animaux ou poussières de maison ou moisissures ou autres ou ne sait pas. Si oui : confirmation par tests biologiques ? oui, non, ne sait pas.</p>	<p>1/ Présence de symptômes dans les 12 derniers mois parmi : nez bouché ou qui coule, yeux qui piquent, toux sèche ou gorge qui gratte, gêne respiratoire (asthme, difficulté à respirer, sifflements dans la poitrine, essoufflement), aucun.</p> <p>2/ Quels mois de l'année ? De janvier à décembre, ou ne sait pas. <i>Si présence de symptômes en juillet, août, ou septembre, alors questions suivantes détaillées.</i></p> <p>3/ Consultation pour ces symptômes ? oui plus d'une fois, oui une fois, non, ne sait pas.</p> <p>4/ Prise de médicament pour ces symptômes ? Oui sur prescription, oui sur conseil pharmacie, oui sans conseil prof de santé, non, ne sait pas.</p> <p>5/ Autres symptômes expérimentés ? Atteinte cutanée, otite, sinusite, autre symptôme, non, ne sait pas.</p> <p>6/ Nécessité d'un arrêt de travail ? Oui, non, ne sait pas. Si oui, nombre de jours ? N ou ne sait pas.</p> <p>7/ Fréquence des symptômes ? tous les ans, uniquement certaines années, première fois cette année, ne sait pas. Si plusieurs années, nombre d'année depuis apparition des symptômes ? N ou ne sait pas.</p> <p>8/ Personne atteinte d'une allergie ? Oui pollen d'arbre, oui pollen de graminées, oui pollen d'ambroisie, oui poils d'animaux, oui poussières de maison ou acariens, oui allergie alimentaire, oui autre, non, je ne sais pas.</p> <p>9/ Si allergie pollen d'ambroisie, confirmation tests biologiques ? Oui, non, ne sait pas.</p>

	2004	2014
Définition des cas	<p>Cas certains si :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déclarant symptômes en août et/ou septembre et confirmation allergologique • Test biologique ou cutané positif pour ambroisie avec ou sans symptômes (cas biologiques) <p>Cas probables si :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déclarant symptômes en août et/ou septembre depuis au moins 2 ans et se déclarant allergiques, mais sans confirmation allergologique <p>Cas suspecté si :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déclarant symptômes en août et/ou septembre mais ne se déclarent pas allergiques (nouveaux cas si apparition des symptômes cette année) • Déclarant symptômes en août et/ou septembre, confirmation allergologique pour autres pollens, mais ne citant pas l'ambroisie 	<p>Cas certains si :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Symptômes en juillet, août, et/ou septembre avec confirmation allergologique • Test biologique ou cutané positif pour ambroisie avec ou sans symptômes <p>Cas probables si :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déclarant symptômes juillet, août, et/ou septembre depuis au moins 2 ans • Se déclarant allergiques à l'ambroisie sans confirmation allergologique <p>Cas suspectés si :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déclarant symptômes en juillet, août, et/ou septembre mais ne se déclarant pas allergiques • Déclarant symptômes en juillet, août et/ou septembre, se déclarant allergique à d'autres pollens que l'ambroisie avec confirmation allergologique

Résultats

La prévalence de l'allergie à l'ambroisie a été estimée à 9,2% en 2004 et 13,3% en 2014, tous types de cas confondus et toutes zones (Tableau 16). Il existe une grande variabilité de la prévalence selon la définition d'intérêt et selon les zones. La différence entre les années 2004 et 2014 s'explique grandement par la hausse des cas en zones fortement exposées, et notamment des cas considérés probables pour lesquels la proportion dans la population est passée de 1,9% à 9,3%. Le nombre de cas certains a lui aussi augmenté en zones fortement exposées, mais dans une moindre mesure (de 4,2% à 7,1%). Toujours dans les zones fortement exposées, en 2004, 42% des cas totaux étaient considérés suspectés et les cas considérés probables n'en représentaient que 18%. En 2014, la tendance s'inverse : 44% des cas totaux étaient considérés probables et seulement 22% étaient classés suspectés.

Tableau 16. Synthèse des résultats d'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie en Rhône-Alpes en 2004 et 2014 (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014, CARESP 2005)

	2004 (N=6 509 individus)				2014 (N=7 024 individus)			
	Forte exposition N=3 311	Moyenne exposition N=1 602	Faible exposition N=1 596	Toutes zones	Forte exposition N=2 546	Moyenne exposition N=3 242	Faible exposition N=1 236	Toutes zones
Tous cas N (% total)	350 (10,6%)	139 (8,7%)	113 (7,1%)	602 (9,2%)	534 (21,0%)	289 (8,9%)	114 (9,2%)	937 (13,3%)
Certains N (% cas) [% total]	140 (40,0%) [4,2%]	33 (23,7%) [2,1%]	24 (21,2%) [1,5%]	197 (32,7%) [3,0%]	181 (33,9%) [7,1%]	37 (12,8%) [1,1%]	11 (9,6%) [0,9%]	229 (24,4%) [3,3%]
Probables N (% cas) [% total]	63 (18,0%) [1,9%]	11 (7,9%) [0,7%]	7 (6,2%) [0,4%]	81 (13,5%) [1,2%]	236 (44,2%) [9,3%]	46 (15,9%) [1,4%]	6 (5,3%) [0,5%]	288 (30,7%) [4,1%]
Suspectés N (% cas) [% total]	147 (42,0%) [4,4%]	95 (68,3%) [5,9%]	82 (72,6%) [5,1%]	324 (53,8%) [5,0%]	117 (21,9%) [4,6%]	206 (71,3%) [6,4%]	97 (85,1%) [7,8%]	420 (44,8%) [6,0%]

Estimations centrales.

En 2004, 27% des cas certains et probables avaient entre 40 et 59 ans et 14% d'entre eux avaient plus de 60 ans. En 2014, des proportions similaires étaient observées (25% et 20%, respectivement). Cependant, cette répartition est très hétérogène selon les zones d'exposition. En 2014, les personnes de plus de 45 ans représentaient 45% des cas probables et certains en zones fortement exposée alors que les jeunes de moins de 25 ans représentaient 50% des cas certains ou probables en zones nouvellement ou peu exposées.

En 2004, 32% des cas allergiques à l'ambroisie déclaraient un asthme. La même année, 70% des cas certains ou probables déclaraient avoir consulté au moins une fois un médecin pour leur allergie, toutes zones confondues ; cette proportion passait à 57% en 2014. Les cas allergiques certains et probables étaient cependant plus nombreux (>75%) à consulter un médecin dans les zones moyennement exposées et les zones nouvellement ou peu exposées. Toutes zones confondues en 2014, les deux tiers (67%) des cas certains ou probables avaient déclaré prendre un traitement médicamenteux pour leur allergie suite à une prescription médicale.

Discussion

La prévalence de l'allergie à l'ambroisie a augmenté de 4% dans la région Rhône-Alpes entre 2004 et 2014, passant de 9% à 13%. Une augmentation moindre était observée entre l'enquête de 1999 et l'enquête de 2004. Cette progression peut, d'une part, être rapportée à la propagation de la plante dans la région, amenant une plus grande proportion de la population

à être en contact avec les pollens d'ambroisie, ou avec des niveaux plus élevés de ces pollens. Elle peut, d'autre part, être liée à l'évolution naturelle de l'allergie dans la population (de la sensibilisation allergique vers l'apparition des symptômes).

Augmentation au cours du temps

Cette augmentation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie s'observe plus spécifiquement pour les cas considérés certains et probables et ce uniquement dans les zones fortement exposées, avec une prévalence passant de 6,1% en 2004 à 16,4% en 2014 – alors que la proportion de cas suspectés reste stable. D'abord, et comme évoqué précédemment, cette augmentation de la prévalence en zones fortement exposées témoigne de l'évolution naturelle de l'allergie, de l'étape de sensibilisation allergique vers l'apparition des symptômes. La hausse des niveaux de pollens dans l'air ambiant au cours du temps ainsi que la hausse des pics journaliers (avec un RAEP \geq 3) dans ces zones sont des agents causaux, et potentiellement aggravants, de ce phénomène. L'augmentation des cas certains et probables pourrait également être liée à la progression de la connaissance de l'ambroisie par les professionnels de santé et la population dans les zones fortement exposées. De fait, les professionnels de santé pourraient être plus enclins, en 2014, à pratiquer des tests pour identifier une éventuelle sensibilisation allergique ou diagnostiquer plus fréquemment l'allergie à l'ambroisie. Soutenant cette hypothèse, la proportion de cas suspectés n'a fait que légèrement augmenter entre 2004 et 2014 dans les zones moins concernées par l'ambroisie (moyennement et nouvellement ou peu exposées). Les cas suspectés représentent des individus sans confirmation allergologique (pas encore en tout cas) ou déclarant des symptômes depuis peu. Dans ces zones, les cas suspectés représentent près de 70% de l'ensemble des cas, ce qui est cohérent avec une connaissance moindre de la plante et de ces effets sur la santé. Enfin, l'augmentation si brusque des cas certains et probables pourrait en partie être un artefact résultant de différences dans les questionnaires en 2004 et 2014, notamment l'inclusion des symptômes présents en juillet (très tôt dans la saison pollinique de l'ambroisie) ou la période choisie pour l'enquête. Des individus allergiques aux pollens de graminées, pour lesquels la saison se termine en juillet, pourraient avoir été inclus par erreur dans les cas (probables et suspectés) allergiques à l'ambroisie en 2014. Il est peu probable que l'ajout du mois de juillet permette de capturer des réels cas supplémentaires, étant donné l'importance des mois déjà inclus en termes de comptes polliniques et de risque allergique. En 2004, le questionnaire a été administré tardivement, du 5 novembre au 23 décembre, en raison d'une saison pollinique longue. En 2014, la saison pollinique a été courte avec des niveaux anormalement élevés ; le questionnaire a été administré entre le 9 et le 18 septembre, juste avant la fin de la saison – le 20 septembre. Le délai plus long en 2004 a pu induire un biais de mémoire chez les répondants, au profit d'une sous-déclaration des symptômes allergiques. À l'opposé, la proximité de l'enquête avec la rentrée en 2014 a pu induire un biais de déclaration chez les répondants, au profit d'une sur-déclaration des symptômes, notamment chez les jeunes – certains symptômes de viroses ORL pouvant être confondus avec ceux de la rhinite allergique.

Définition des cas

La définition des cas certains inclut des individus se déclarant sensibilisés à l'ambroisie dont les symptômes peuvent exister toute l'année ou la majorité de l'année sans spécificité unique à la saison pollinique de l'ambroisie. Ces individus sont regroupés avec les cas sensibilisés présentant une spécificité des symptômes ce qui introduit une hétérogénéité clinique dans l'estimation finale de la prévalence de l'allergie et une surestimation du nombre de cas. La déclaration de la sensibilisation allergique étant subsidiaire à celle de symptômes, aucun individu n'est considéré comme cas certain s'il ne présente pas de symptômes du tout. Dans une zone historiquement infestée par l'ambroisie telle que la région Rhône-Alpes, le taux de sensibilisation allergique attendu est élevé. Cette sensibilisation allergique à l'ambroisie est un facteur de risque majeur de la rhinite allergique et de l'asthme, mais ne présente pas la même pertinence clinique. La description de ces cas « biologiques » avait été faite en 2004 (où 17% des cas certains étaient « biologiques ») mais n'a pas été maintenue dans l'analyse de 2014 ; il aurait été intéressant d'approfondir cette distinction. De manière générale, une validation des

définitions utilisées serait à envisager pour vérifier que les cas identifiés sont bien allergiques à l'ambroisie, et ainsi soutenir les résultats obtenus.

L'asthme est un des « symptômes » considérés dans la définition des cas (tous types) allergiques à l'ambroisie. Les pollens peuvent en effet déclencher des symptômes typiques de l'asthme ou des crises d'asthme chez les individus asthmatiques allergiques. Cependant, la définition des cas ne permet pas de différencier les individus asthmatiques allergiques à l'ambroisie des individus asthmatiques. En effet, des symptômes d'asthme peuvent survenir à tout moment de l'année, y compris pendant la saison pollinique de l'ambroisie, sans que ceux-ci soient provoqués par les pollens d'ambroisie. Ce phénomène a pu induire une surestimation du nombre d'individus allergiques à l'ambroisie. Néanmoins, cette surestimation du nombre d'individus allergiques à l'ambroisie est plutôt attendue dans le groupe des cas suspectés (sans confirmation) ou dans les zones peu infestées par l'ambroisie (connaissance moindre de la plante). Des questions standardisées sur l'asthme auraient pu être ajoutées dans l'enquête pour aider à discriminer ces cas (Pekkanen *et al.* 2005).

Forces et limites

Ces études menées en Rhône-Alpes présentent de nombreux points positifs qu'il est important de souligner. Elles fournissent des estimations de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie sur un territoire régional à partir de données collectées dans une population jugée représentative de la population générale régionale. Les enquêtes téléphoniques ont été menées par un institut qualifié. La méthodologie choisie est classique et pertinente et a été reproduite autant que possible à 10 ans d'intervalle. Les questionnaires ont été développés pour les besoins spécifiques de l'estimation de la prévalence. Les cas allergiques à l'ambroisie ont été identifiés sur la base de la saisonnalité des symptômes ce qui, en l'absence de questions standardisées pour l'ambroisie, est une approche pertinente. Plusieurs définitions des cas allergiques ont été considérées, reflétant un certain gradient de probabilité et offrant une mesure de l'incertitude.

De nombreux efforts ont été faits pour diminuer au mieux les biais tout au long de l'étude. L'enquête a été présentée aux répondants comme portant sur l'allergie de manière générale, sans mention directe de l'ambroisie, afin de minimiser le biais de déclaration. Il est néanmoins difficile d'exclure la possibilité que les individus allergiques ou proches d'allergiques aient pu répondre plus volontiers. De même, il est difficile d'exclure la possibilité que le membre référent, répondant pour tous les membres du foyer, ait pu sous-déclarer (biais de mémoire) ou sur-déclarer (biais de déclaration) certaines informations. En raison de la difficulté à obtenir un échantillon parfaitement représentatif de la population générale régionale, les résultats de 2004 ont été pondérés sur l'âge et la catégorie socio-professionnelle ; les résultats ainsi pondérés ne modifiaient pas les conclusions. En 2014, l'échantillon sélectionné était plus large pour essayer d'améliorer sa représentativité.

Conclusions

L'augmentation observée de la prévalence entre 2004 et 2014 en région Rhône-Alpes est attendue et vraisemblable en lien avec la propagation de la plante, l'augmentation des niveaux de pollens dans l'air ambiant, et l'évolution naturelle de la sensibilisation allergique vers l'apparition des symptômes. L'amplitude de cette augmentation est cependant incertaine en raison des différences méthodologiques relevées entre les enquêtes. Il apparaît pertinent de suivre l'évolution de cette prévalence au cours du temps sur cette zone afin de la mettre en relation avec des indicateurs d'exposition de la population au pollen d'ambroisie et d'en apprendre plus sur l'histoire naturelle de l'allergie à l'ambroisie.

4.2.1.2 Données médico-économiques en Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes

Les données de remboursement des soins de la sécurité sociale sont exploitées depuis 2009 dans la région Rhône-Alpes par l'Observatoire Régional de Santé (ORS). Une description et une quantification de l'impact sanitaire de l'allergie à l'ambroisie a ainsi été possible, en identifiant les individus allergiques sur la base de leurs remboursements de médicaments

durant la saison pollinique. Une analyse critique des méthodes et résultats des études menées en 2012, 2013, 2014 et 2017 a été menée. L'ensemble des résultats est disponible dans les rapports originaux (Bolamperti *et al.* 2018, Gelas 2013, 2015).

Méthodes

Identification des cas

Dans la base de données, un individu était considéré allergique à l'ambroisie s'il avait eu au moins un remboursement de médicament dit « traceur » de l'allergie pendant la période de pollinisation de la plante (de juillet à octobre) (Tableau 17). Le nombre d'individus considérés allergiques à l'ambroisie a été agrégé par commune ou par canton puis département de la zone d'intérêt (Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes). Jusqu'en 2014, deux types de cas étaient distingués : les individus fortement présumés allergiques (au moins 1 médicament traceur remboursé sur la période juillet-octobre mais pas sur la période novembre-décembre) et les individus potentiellement allergiques (au moins 1 médicament traceur remboursé sur la période juillet-octobre ainsi que sur la période novembre-décembre). La population totale des allergiques consiste en la somme de ces deux groupes. Cette distinction a été abandonnée en 2017.

Tableau 17. Tableau comparatif des méthodologies appliquées dans les analyses de données médico-administratives menées en Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes

	2012	2013 et 2014	2017
Zone	Région Rhône-Alpes	Région Rhône-Alpes	Région Auvergne-Rhône-Alpes
Régime	Régime général	Régime général, industrie électricité et gaz, et régime agricole	Régime général, indépendants, régime agricole, et régimes spéciaux
Population	Individus de 6 à 64 ans		Individus de 6 à 74 ans
Période d'intérêt	8 juillet - 20 octobre	8 juillet - 21 octobre	9 juillet - 21 octobre
Médicaments traceurs	Comprimés, solutions nasales (en suspension ou non), collyres, solutions buvables	Comprimés, solutions nasales (en suspension ou non), collyres, solutions buvables	Classes thérapeutiques
Définition de la population allergique à l'ambroisie	<p>Population fortement présumée allergique à l'ambroisie : individus avec ≥ 1 remboursement de médicament traceur pendant la période d'intérêt <u>et</u> 0 remboursement de médicament traceur en novembre et décembre.</p> <p>Population allergique totale : population fortement présumée allergique à l'ambroisie + individus potentiellement allergiques à l'ambroisie (ayant ≥ 1 remboursement de médicament traceur pendant la période d'intérêt <u>et</u> ≥ 1 remboursement de médicament traceur en novembre et décembre)</p>		Population allergique totale : individus ayant reçu ≥ 1 remboursement de médicament traceur pendant la période d'intérêt.
Échelle	Par canton de la région d'intérêt		Par communes de la région d'intérêt

Ont été considérés « traceurs » les médicaments antiallergiques présentant un pic significatif de remboursement sur le mois de septembre. Cette liste, lorsqu'elle a été initiée, a été revue par un panel de professionnels de santé. Elle a ensuite évolué d'année en année, avec des ajouts réguliers. En 2012, 2013, et 2014, les médicaments traceurs étaient décrits sur la base de leurs codes CIP (Code Identifiant de Présentation) – code à 7 chiffres délivré avec l'autorisation de mise sur le marché. En 2017, les médicaments traceurs étaient décrits sur la base des codes ATC (Anatomique Thérapeutique Chimique) – système de classification des médicaments selon leur organe cible et leurs propriétés thérapeutique, pharmacologique, et chimique – ce qui rend difficile la comparaison de cette liste avec celles des années précédentes. Une classe ATC inclut notamment de multiples médicaments alors que les codes CIP identifient chaque médicament individuellement.

Consommation de soins

L'ensemble des soins remboursés aux individus identifiés allergiques à l'ambroisie a été indiqué dans le cadre d'une analyse des coûts associés à l'impact sanitaire de l'ambroisie (cf. paragraphes 5.2.1).

Données environnementales

Les comptes polliniques annuels du pollen d'ambroisie issus des 15 capteurs du RNSA sur la région ont été mis à disposition de l'ORS pour les années 2012 à 2014. Une interpolation spatiale de ces données ponctuelles a été effectuée sur tout le territoire Rhônealpin et a permis la création de cartes des concentrations annuelles. Il est à noter que cette interpolation ne prend pas en compte le relief ou les conditions météorologiques de la zone. En 2017, sur le territoire de la nouvelle région Auvergne-Rhône-Alpes, c'est Atmo Auvergne-Rhône-Alpes qui s'est chargée de spatialiser la donnée du nombre de jours où le RAEP ≥ 3 (Guillaud 2017). Il est à noter que ces données n'ont pas été mises en relation directe avec les données de prévalence de l'allergie à l'ambroisie.

Résultats

En 2012, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie en Rhône-Alpes était estimée entre 4,2% et 5,3%, selon la définition des cas considérée (Tableau 18). Au niveau cantonal, la prévalence pouvait atteindre 8,6%. En 2013 et 2014, les chiffres correspondants étaient très similaires, respectivement de 3,9% à 5,1% et de 3,5% à 4,7%, avec un maximum cantonal de 7,8% et 8,6%. En 2017, sur la région Auvergne-Rhône-Alpes, l'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie atteignait 10,1% – de 2,4% à 37,3% au niveau communal. Une forte variabilité géographique était observée sur toutes les années d'études, la Drôme et la Haute-Savoie étant les départements comptant le plus et le moins d'individus allergiques à l'ambroisie, respectivement.

En 2013 et en 2014, dans les départements les plus infestés, le nombre de remboursements de médicaments « traceurs » des individus identifiés allergiques augmentait de manière continue à partir de la semaine 33 (autour du 15 août ; avant cette date, nombre de remboursement stable) jusqu'à atteindre un facteur 2 à la semaine 36 (début septembre), avant de retrouver sa valeur initiale en semaine 42 (mi-octobre). Les départements les moins infestés par l'ambroisie ne présentaient pas de fluctuations des remboursements : Savoie, Haute-Savoie, Ain, et Loire. Les résultats étaient similaires pour l'année 2012. Une telle analyse n'a pas été conduite en 2017.

En 2017, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie était estimée à 12,2% chez les enfants de 6 à 9 ans, en baisse jusqu'à la tranche d'âge des 20 à 24 ans (6,8%). La prévalence augmentait ensuite de manière continue, de 25-30 ans à 70-74 ans (14,5%). Cette tendance était observée dans tous les départements, y compris les départements les moins infestés par l'ambroisie. Une telle analyse n'avait pas été conduite les années précédentes.

Tableau 18. Comparaison des résultats obtenus dans les analyses de données médico-administratives menées en Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes

	2012	2013	2014	2017
Population « fortement présumée allergique »	4,2% des bénéficiaires (5,6% en Drôme, 2,8% en Haute Savoie, maximum de 7% au niveau cantonal).	3,9% des bénéficiaires (5,3% dans la Drôme, 2,7% en Haute Savoie, maximum de 7,3% au niveau cantonal)	3,5% des bénéficiaires (4,9% dans la Drôme, 2,3% en Haute Savoie, maximum de 6,6% au niveau cantonal)	-
Population « allergique » totale	5,3% des bénéficiaires (6,8% dans la Drôme, 3,5% en Haute Savoie, maximum de 8,6% au niveau cantonal)	5,1% des bénéficiaires (6,5% dans la Drôme, 3,5% en Haute Savoie, maximum de 8,6% au niveau cantonal)	4,7% des bénéficiaires (6,1% dans la Drôme, 3,1% en Haute Savoie, maximum de 7,8% au niveau cantonal)	10,1% des bénéficiaires (11,7% dans la Drôme, 7,8% en Haute Savoie, de 2,4% à 37,3% au niveau communal)

Synthèse des méthodes disponible dans le Tableau 17.

Discussion

L'analyse des données de remboursement dans la région Rhône-Alpes, puis la région Auvergne-Rhône-Alpes, permet d'estimer la prévalence de l'allergie à l'ambroisie à une échelle fine (cantons et communes). Entre 4,7% (2014) et 10,1% (2017) des bénéficiaires seraient ainsi allergiques à l'ambroisie sur ces territoires, avec de fortes disparités locales. Les bases de données médico-administratives sont exhaustives, fiables et considérées représentative de la population régionale des bénéficiaires. Cependant, les résultats doivent être interprétés à la lumière de certaines limites et incertitudes. L'augmentation de la prévalence (en %) de l'allergie à l'ambroisie observée entre 2012-2014 et 2017 peut refléter une réelle augmentation du nombre de cas allergiques dans la population (en lien avec la propagation de la plante ou la marche allergique) mais peut également être due aux évolutions méthodologiques.

Définition de la population allergique

Les individus allergiques à l'ambroisie ont été identifiés en couplant les remboursements (médicaments « traceurs » de l'allergie) à une période de temps (de juillet à octobre, saison pollinique de l'ambroisie). Dans le cadre de l'allergie à l'ambroisie, cette approche semble la plus pertinente mais le choix des médicaments « traceurs » et de la période de temps peut être discuté, notamment à cause de l'absence de définition standardisée. L'absence de définition validée rend indispensable l'utilisation d'indicateurs de l'incertitude *via* la conduite d'analyse de sensibilité ou l'utilisation de critères multiples et complémentaires, par exemple.

Les médicaments dits « traceurs » de l'allergie ont été sélectionnés *a priori* car ils présentaient un pic de remboursement sur le mois de septembre. Cette liste a été revue et adaptée par un panel d'experts pour n'inclure que les médicaments les plus pertinents pour l'allergie. Dans la littérature existante utilisant de telles bases de données, les médicaments considérés comme marqueurs de la rhinite allergique sont les antihistaminiques (par voie nasale ou *per os*) et les corticoïdes en spray nasal (cf. paragraphe 4.1.10.2) ; les médicaments « traceurs » en 2012, 2013, et 2014 sont cohérents avec cette littérature. En 2017, la classe ATC R03 a été ajoutée à la liste des médicaments traceurs. Ces médicaments, destinés aux maladies obstructives des voies respiratoires telles que l'asthme, ne sont pas indiqués dans le traitement de la rhinite allergique selon les recommandations internationales (cf. paragraphe 4.1.7) et ne sont jamais considérés dans la littérature cherchant à identifier des individus allergiques sur la base des

médicaments (cf. paragraphe 4.1.10.2). Ces médicaments, incluant corticoïdes inhalés et bronchodilatateurs inhalés d'action rapide, sont par contre inclus dans les critères identifiant les individus asthmatiques dans les bases de données médico-administratives (Osborne *et al.* 1995, Pont *et al.* 2002, Prosser, Carleton, et Smith 2008). Leur fréquence est également considérée car, malgré leurs indications thérapeutiques claires, la moitié des dispensations de médicaments antiasthmatiques serait destinée à des sujets non asthmatiques (Schmiedl *et al.* 2014, Weidinger, Nilsson, et Lindblad 2014). Les médicaments « traceurs » considérés en 2017 pourrait ainsi capturer une partie de la population asthmatique sans lien avec l'allergie à l'ambroisie, ce qui mènerait à une surestimation du nombre de cas allergiques. Le pic de remboursement qui peut être observé en septembre pour la classe thérapeutique R03 est probablement lié au retour des vacances et à la rentrée des classes. La rentrée des classes est également propice aux viroses, communes chez les enfants, pour lesquels certains médicaments similaires à ceux de l'allergie peuvent être prescrits. L'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie chez les plus jeunes sur la base de ces médicaments pourrait également mener à une surestimation du nombre de cas ; les résultats sont donc à interpréter avec précaution. Ces hypothèses, pourraient en partie expliquer l'augmentation importante (facteur 2) de la prévalence observée entre les années 2012-2014 et 2017. Il aurait été intéressant de mener une analyse de sensibilité excluant les médicaments antiasthmatiques des médicaments « traceurs » en 2017 et/ou de conserver la distinction des cas allergiques à l'ambroisie (population fortement présumée allergique et population probablement allergique) pour donner une indication de l'incertitude autour des définitions choisies et des résultats correspondants.

De par la nature des données utilisées, l'existence et le développement de l'auto médication n'est pas prise en compte dans les analyses menées de 2012 à 2017. La rhinite allergique est fortement concernée par le phénomène (cf. paragraphe 4.1.7), ce qui laisse penser que les résultats obtenus sous-estiment grandement la prévalence réelle de l'allergie à l'ambroisie sur la région. Ces cas allergiques non identifiés par l'analyse des données de remboursements sont probablement les moins sévères ou les moins persistants, ou encore des cas nouvellement allergiques présentant des symptômes depuis peu. Le déremboursement de certains médicaments antiallergiques au cours du temps pourrait également biaiser les résultats vers une sous-estimation. Enfin, il ne peut être exclu que certaines personnes se sachant allergiques à l'ambroisie aient acheté leurs médicaments en amont de la période de temps considérée pour la définition des cas (de juillet à octobre) ; mais la sous-estimation associée est probablement négligeable.

La période de temps considérée pour identifier les cas allergiques s'étend de juillet à octobre. Les premiers grains de pollens d'ambroisie s'observent en effet dès le mois de juillet en Auvergne-Rhône-Alpes. Localement, des pollens de graminées peuvent également être mesurés dans l'air ambiant en juillet ce qui mènerait certains allergiques aux graminées à être identifiés comme allergiques à l'ambroisie. Des analyses de sensibilité auraient pu être menées sur le choix de la période de temps : détaillée plus finement, définie plus courte, prenant en compte les jours avec un RAEP ≥ 3 ou reprenant l'évolution hebdomadaire des remboursements de médicaments « traceurs » observés en 2013 et 2014. En effet, le nombre de remboursements de médicaments « traceurs » augmentait clairement à partir de la semaine 33 (mi-août) pour revenir à la normale en semaine 42 (mi-octobre), et cela uniquement dans les départements les plus infestés par l'ambroisie. Réduire la période de temps et la centrer autour du pic de la saison pollinique permettrait sans doute une identification plus précise des cas allergiques à l'ambroisie. De même, adapter la période de temps à l'échelle du département (en fonction de la saison pollinique, de l'infestation de la plante, des autres pollens, etc.) semble être une perspective intéressante dans cet objectif. Enfin, les pollens d'armoise présents dans l'air ambiant à la même période que ceux d'ambroisie sont également une source de biais potentiel. Cependant, leur potentiel allergisant étant bien inférieur à celui des pollens d'ambroisie, la surestimation du nombre de cas qui en découlerait est supposée minime.

Des individus avec une rhinite allergique saisonnière à un autre pollen, une rhinite allergique *per* annuelle uniquement, ou un asthme (non lié au pollen d'ambroisie ou non allergique) ont tout à fait pu être inclus dans les populations considérées allergiques à l'ambroisie, ce qui occasionnerait une surestimation de la prévalence réelle. Les deux définitions des cas évoquées en 2012, 2013, et 2014 (A et B, voir méthodes) permettait une distinction entre rhinite allergique saisonnière (remboursement uniquement en juillet-octobre, cas fortement présumés allergiques à l'ambroisie) et rhinite allergique *per* annuelle (remboursement en juillet-octobre et en novembre-décembre, cas probablement allergiques à l'ambroisie). Cette méthode est cependant grossière et peu fiable et occasionne une sous-estimation : il est tout à fait possible que des individus allergiques à l'ambroisie aient une rhinite allergique *per* annuelle concomitante. Seule une comparaison de ces critères avec un indicateur robuste de l'allergie à l'ambroisie (évaluation clinique individuelle, questionnaire détaillé, mesure de la sensibilisation allergique...) permettrait de connaître quels individus sont réellement inclus dans cette population.

Caractéristique des cas

La répartition de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie par tranches d'âge effectuée en 2017 ne correspond pas à ce qui aurait été attendu. En effet, bien que l'allergie au pollen puisse apparaître dès 5 ans, la prévalence la plus élevée s'observe généralement chez les jeunes adultes (cf. paragraphe 4.1.1). Or, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie la plus basse est obtenue pour les 20-24 ans, presque deux fois inférieure à celle des 6-9 ans. Cette chute des remboursements de médicaments antiallergiques chez les jeunes adultes pourrait être liée à la banalisation de la maladie à cet âge, avec peu de consultations et l'utilisation de l'auto médication ; la prévalence est probablement sous-estimée dans cette tranche d'âge. La forte prévalence chez les enfants <15 ans pourrait quant à elle être associée à un biais de classement dû aux viroses de rentrée ou à l'inclusion des médicaments anti asthmatiques ; elle serait donc surestimée dans cette tranche d'âge. L'augmentation graduelle de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie jusqu'au 70-84 ans reflèterait en partie l'apparition observée de la maladie à des âges tardifs, en comparaison des autres pollens (cf. paragraphe 4.1.1). Cependant, cette augmentation pourrait également être liée à une meilleure prise en charge avec l'âge (plus de consultations, plus de médicaments remboursés) ou un impact de l'allergie sur la qualité de vie plus important– nécessitant consultation et prise de médicaments. Finalement, il est étonnant que la répartition de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie par âge soit la même dans tous les départements de l'Auvergne-Rhône-Alpes, mêmes les moins infestés par la plante. Bien que différent, ce résultat s'oppose à la distinction claire de temporalité des remboursements de médicaments « traceurs » observée en 2013 et 2014 entre les départements les plus et moins infestés.

Conclusions

Les estimations de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie sur la base des remboursements de médicaments sont pertinentes dans une optique de suivi de cette prévalence au cours du temps. L'amplitude de l'augmentation observée entre les années 2015 et 2017 est peu informative en raison des différences méthodologiques entre les deux analyses. Néanmoins, les chiffres obtenus sur l'année 2017 sont cohérents avec les résultats de l'enquête téléphonique menée en 2014 sur le territoire de la région Rhône-Alpes. Il apparaît intéressant de reproduire ces analyses médico-administratives dans le futur en adoptant un cadre méthodologique fixe et en y ajoutant des analyses de sensibilité, permettant d'améliorer la confiance et la robustesse des résultats.

4.2.2 En Europe

Plusieurs projets européens ont vu le jour pour faire le point sur et documenter les conséquences sanitaires (entre autres) de l'ambroisie ; on peut citer notamment le projet *Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe* mené entre 2010 et 2013 (Bullock *et al.* 2013), le projet ATOPICA (*Atopic diseases in changing climate, land use and air quality*) mené entre 2011 et 2015, et le projet SMARTER (*Sustainable*

management of Ambrosia artemisiifolia across Europe) mené entre 2013 et 2016. Ces deux derniers projets sont particulièrement d'intérêt dans le cadre de la présente expertise puisqu'ils vont tous deux plus loin que la simple revue bibliographique en proposant des estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuilles d'armoise à l'échelle de l'Europe. Les travaux correspondants, de Lake *et al.* (2017) et de Schaffner *et al.* (2020), sont analysés en détails dans la suite de ce chapitre (paragraphe 4.2.2.1 et 4.2.2.2).

4.2.2.1 Travaux réalisés par Lake *et al.* (2017)

De manière générale, le climat est connu pour affecter le calendrier et les saisons polliniques ainsi que la croissance des plantes ; et le niveau de dioxyde d'azote dans l'atmosphère peut modifier la production de pollen. Ainsi, le changement climatique aura certainement un impact important sur l'exposition des populations au pollen et est susceptible d'affecter la santé humaine, par le biais de l'allergie. Un des objectifs du projet européen ATOPICA était de quantifier l'impact du changement climatique sur l'allergie au pollen chez l'Homme, en prenant le cas de l'allergie au pollen d'ambroisie. L'analyse d'impact sanitaire correspondante, conduite par Lake *et al.* (2017), se concentre sur la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie comme indicateur des conséquences du changement climatique sur la santé humaine et s'intéresse à deux périodes de temps : actuelle et future. La sensibilisation allergique est d'intérêt pour les auteurs car elle constitue un facteur de risque majeur de la rhinite allergique et de l'asthme.

Méthodes

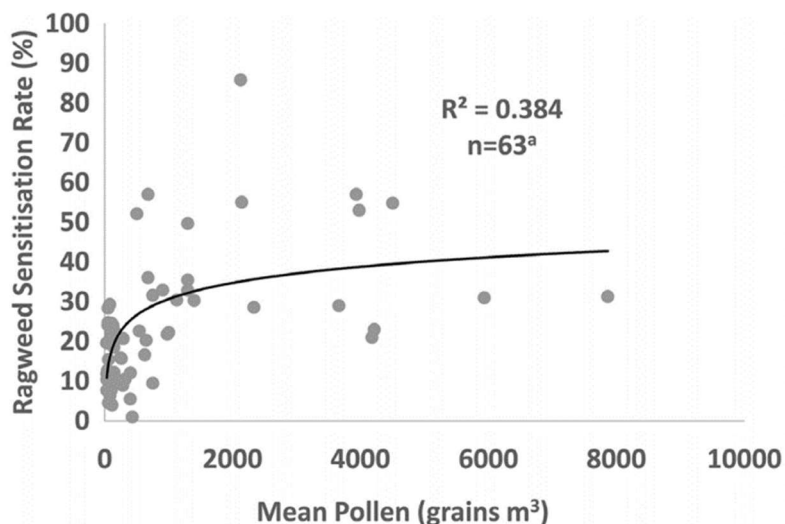
La méthode mise en œuvre repose sur la modélisation des niveaux actuels et futurs de pollens d'ambroisie dans l'air ambiant en Europe, considérés comme indicateur d'exposition de la population au pollen d'ambroisie, puis sur l'application d'une relation exposition-risque à ces données. L'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie résultante s'exprime en prévalence (% ou N) de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie en Europe (i.e. la proportion ou le nombre d'individus sensibilisés à l'ambroisie).

Niveaux actuels et futurs des pollens d'ambroisie en Europe

Les auteurs ont développé une chaîne de modélisation permettant la prédiction des pollens d'ambroisie sur deux périodes : 1986-2005 (période « actuelle » disposant de mesures) et 2041-2060 (période « future » utilisant des scénarisations à long terme) (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015). Ce système exploite un modèle écologique de prolifération de l'ambroisie (cf. chapitre 3.3.2.3) et un modèle météorologique à l'échelle régionale (WRF, développé par le *National Center for Atmospheric Research*). Deux modèles de chimie-transport, CHIMERE et RegCM, ont ensuite été utilisés pour modéliser la dispersion des pollens. Deux scénarios climatiques RCP (*Representative Concentration Pathway*) ont été considérés dans les prédictions à l'horizon 2060, tous deux basés sur des hypothèses concernant les trajectoires des émissions de gaz à effet de serre (cf. paragraphe 3.3.4.4). Dans le scénario RCP8,5, les concentrations en gaz à effet de serre ne cessent d'augmenter tandis que le scénario RCP4,5 est considéré modéré – les concentrations en CO₂ augmentent puis se stabilisent. La modification de l'occupation des sols a également été prise en compte dans les analyses en suivant les scénarios CMIP5 (*coupled model intercomparison project*). Les prédictions des niveaux futurs de pollens dans l'air ambiant considèrent également différents scénarios de propagation de la plante : rapide et lent – le scénario modéré correspondant à la simulation de référence. Dans ce dernier, le flux de graines est inversement proportionnel au carré de la distance tandis que les scénarios rapide et lent considèrent une proportionnalité altérée (comme proposé par Richter *et al.* (2013). Au total, les auteurs disposaient de deux modélisations des niveaux journaliers actuels de pollens d'ambroisie (période 1986-2005 selon les modèles CHIMERE et RegCM) et de 12 modélisations des niveaux journaliers futurs (période 2041-2060 selon les modèles CHIMERE et RegCM et les différentes scénarisations). Ces données journalières, disponibles sur une grille de 50 km pour toute l'Europe, ont été additionnées pour obtenir des comptes totaux annuels modélisés.

Construction d'une relation exposition-risque

Une relation exposition-risque décrivant le taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie en fonction des niveaux de pollens d'ambroisie (totaux annuels) a été construite par les auteurs, en mettant en commun les données de plusieurs publications, identifiées par une revue de la littérature. L'utilisation d'une unique étude multicentrique a été écartée en raison du manque potentiel de représentativité des données vis-à-vis de la population générale cible. Plusieurs moteurs de recherche ont été utilisés pour identifier les publications disposant de données d'intérêt : Web of Science, Medline, BIOSIS, the Cochrane library, OpenGrey, and Google Scholar. Les mots clés considérés incluaient les notions de risque sanitaire (d'intérêt pour les auteurs : immunologie, allergie, atopie, sensibilisation, tests cutanés, et immunoglobuline-E) et d'exposition (pollen, aéro allergènes, allergènes) sans que le mot ambroisie ne soit mentionné directement. Au total, 1 923 publications ont été identifiées par la recherche ; 1 873 publications ont été exclues car la sensibilisation allergique à l'ambroisie n'y était pas rapportée ou les populations d'études n'étaient pas Européennes. Les données de 50 publications ont été considérées a priori d'intérêt par les auteurs pour la construction de la relation exposition-risque. Ont été exclues : les publications publiées avant 1993, les publications examinant une population restreinte (<50 participants), et les publications examinant une population très spécifique (par exemple, les personnes âgées institutionnalisées ou les patients allergiques à d'autres adventices). Après relecture intégrale et extraction des données quantitatives et qualitatives, 35 publications ont été retenues, incluant des taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie pour 66 localisations dans 20 pays d'Europe. Quand une publication rapportait plusieurs taux (à plusieurs dates ou à plusieurs âges), seule la donnée quantitative « de base » ou celle de la population globale a été incluse. Chacune des 66 valeurs spécifiques à une localisation a été mise en correspondance (à partir des coordonnées géographiques) avec les niveaux annuels moyens de pollen d'ambroisie modélisés sur la période 1986-2005. Trois points ont été exclus à ce stade car ils présentaient des concentrations trop basses (<10 grains/m³ par an). Les auteurs ont ensuite utilisé un modèle linéaire généralisés pour évaluer la forme de la relation entre ce risque (taux de sensibilisation allergique) et cette exposition (niveaux annuels moyens) en ajustant sur le type de population (population générale ou population de patients en visite à l'hôpital) (Figure 91). Le modèle s'ajuste cependant mal aux données (R^2 ajusté = 0,38).



Les taux de sensibilisation allergique issus de 35 publications sont inclus, correspondant à 63 localisations en Europe. La ligne noire représente le modèle le plus proche des données : $\text{taux de sensibilisation allergique} = \alpha \cdot \ln(\text{nombre total moyen annuel de grains/m}^3) + \beta$. (α (indicateur population générale vs. patients) où α [intervalle de confiance à 95%] = 5,55 [3,66 ; 8,04] et β = 9,35 [1,94 ; 16,76].

Figure 91. Relation exposition-risque décrivant le taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie (en %) en fonction des niveaux de pollens d'ambroisie (nombre total de grains par m³ par an) (Lake et al. 2017)

Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe

Les paramètres issus du modèle (Figure 91) ont été appliqués aux modélisations disponibles des niveaux actuels et futurs de pollens d'ambroisie pour obtenir une estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe – exprimé en % de la population sensibilisée. Les données ainsi obtenues, sur une grille de 50 km, ont été agrégées par « régions » de 800 000 à 3 000 000 habitants selon la nomenclature des unités territoriales statistiques (NUTS2) de la Commission Européenne (Eurostat 2018). Dans les pays non membres, c'est le découpage DIVA GIS²³ qui a été utilisé. Les informations démographiques récentes contenues dans ces bases de données ont été exploitées afin d'obtenir, à partir du %, une estimation du nombre de personnes sensibilisées. Pour la période 2041-2060, les projections de l'évolution de la population de la Banque mondiale ont été utilisées. Au total, 40 pays sont inclus dans l'analyse (28 pays membres de l'Union Européenne et 12 pays non-membres).

Seule une proportion des personnes sensibilisées à l'ambroisie présente ou présentera un jour des symptômes cliniques après contact avec le pollen d'ambroisie. Burbach *et al.* (2009) ont fourni des estimations de cette proportion, spécifiquement pour l'ambroisie, dans différents pays européens grâce à la disponibilité simultanée de données de sensibilisation allergique et de questionnaires. Les valeurs obtenues par Burbach *et al.* fluctuent de 43,6% à 100% selon les pays européens avec une moyenne à 75,9% (50% en France). Ces estimations nationales moyennes ont été appliquées au nombre d'individus sensibilisés à l'ambroisie obtenu précédemment pour donner une approximation du nombre d'individus présentant des symptômes allergiques en lien avec l'ambroisie (c'est-à-dire, une sensibilisation allergique avec pertinence clinique).

Tout au long de l'analyse, les auteurs fournissent des estimations hautes et basses encadrant l'estimation moyenne de l'impact sanitaire. Ces bornes sont issues de l'application directe de la relation exposition-risque (*via* l'intervalle de confiance autour des paramètres) et de l'utilisation des deux modèles CHIMERE et regCM.

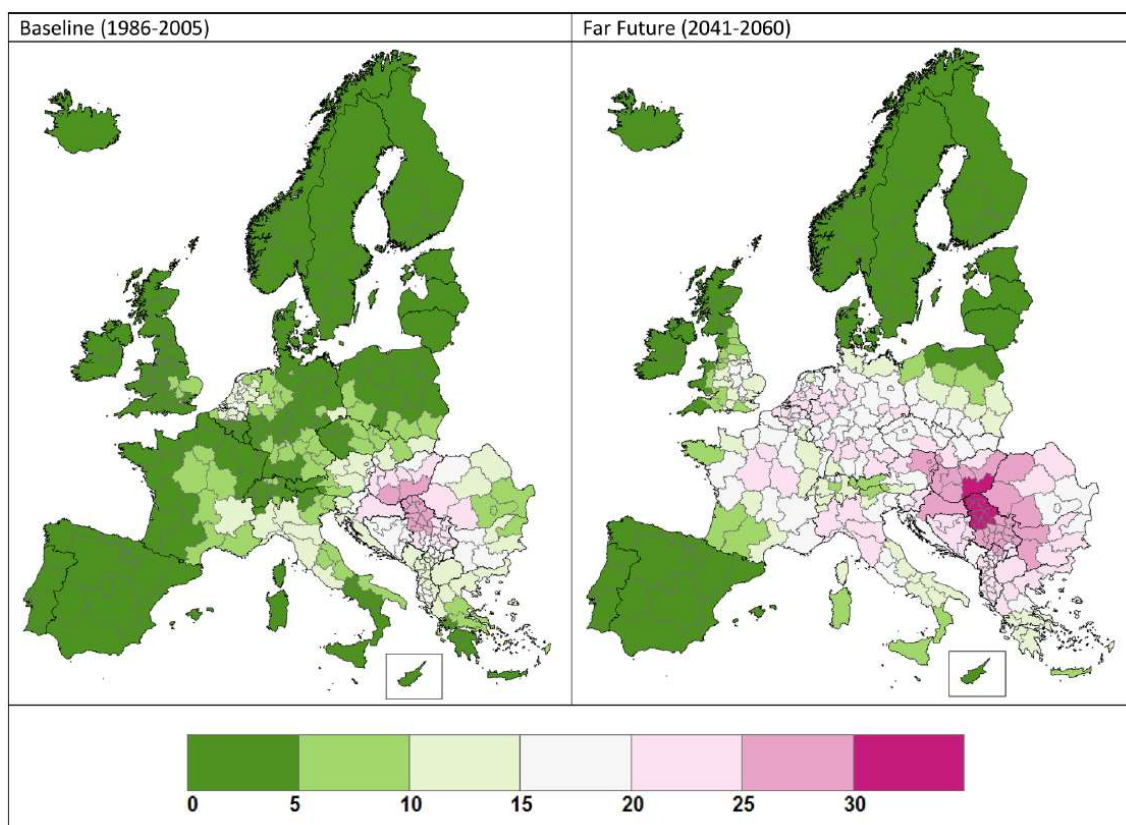
Résultats

Actuellement, environ 32,6 millions de personnes seraient sensibilisées à l'ambroisie en Europe (entre 26,9 et 38,3 millions en considérant les estimations des modèles CHIMERE et regCM, respectivement). Après application d'un facteur décrivant la pertinence clinique de la sensibilisation allergique, 22 361 000 personnes actuellement sensibilisées à l'ambroisie présenteraient également des symptômes allergiques dans l'Europe des 28 – dont 1 616 000 en France.

La sensibilisation allergique à l'ambroisie concernerait presque 77 millions de personnes (entre 67,8 et 85,8 millions) à l'horizon 2060 en raison de la propagation de la plante dans des zones aujourd'hui épargnées et de l'augmentation attendue des niveaux de pollens dans l'air. Presque tous les pays d'Europe seraient concernés (sauf la Scandinavie, les terres baltiques, l'Espagne, le Portugal, et l'Irlande). En France, en 2041-2060, 10 716 000 personnes en moyenne (de 8 849 000 à 12 582 000) seraient sensibilisées à l'ambroisie selon le scénario de propagation « référence », trois fois plus que pour la période actuelle, représentant ainsi 20 à 25% de la population dans certaines régions aujourd'hui peu ou pas infestées par l'ambroisie (Figure 92).

Une grande hétérogénéité des résultats est observée selon le modèle de dispersion des pollens considéré (CHIMERE ou regCM) et le scénario de propagation de la plante considéré (lent, référence, rapide). Les estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie obtenues avec regCM sont de 27 à 39% supérieures à celles obtenues avec CHIMERE tant pour la période actuelle que future. Ces différences sont maximales en Europe du Nord et de l'Ouest. En

²³ DIVA-GIS est un programme informatique gratuit pour la cartographie et l'analyse de données géographiques. Téléchargement et documentation disponibles sur <https://www.diva-gis.org/>.



Estimations moyennes des modèles CHIMERE et regCM. La période future considère le scénario de changement climatique RCP4,5 et le scénario de propagation de référence.

Figure 92. Prévalence (%) estimée de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie en Europe pour la période actuelle (à gauche) et la période future (à droite) (Lake et al. 2017)

France, 2 256 000 personnes seraient aujourd'hui sensibilisées à l'ambroisie d'après les niveaux modélisés par CHIMERE tandis que 4 210 000 personnes seraient sensibilisées à l'ambroisie d'après regCM. Les bornes autour de ces estimations sont très larges (e.g., de 41 000 à 6 228 000 dans le cas de CHIMERE) en raison de l'incertitude importante autour de la relation exposition-risque. Le scénario de propagation lente mène à des estimations de l'impact sanitaire futur deux fois inférieures à celles obtenues avec le scénario de propagation rapide – e.g., en France, estimations respectives de 4 480 000 à 7 498 000 et de 14 066 000 à 17 225 000 personnes sensibilisées. Le choix du scénario de changement climatique (RCP4,5 ou RCP8,5) n'impacte quant à lui que peu les estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie sur la période 2041-2060, avec des différences faibles (~5%) entre les résultats associés aux deux modèles de dispersion des pollens.

Discussion

Les travaux de Lake et al. (2017) fournissent une estimation de la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en Europe, considérée impact sanitaire majeur de la plante. Actuellement, environ 32,6 millions de personnes seraient sensibilisées à l'ambroisie en Europe. Un doublement, voire un triplement, de ce nombre est prédit d'ici 2060 pour tous les scénarios considérés. À cet horizon, presque tous les pays d'Europe seraient concernés par cette problématique sanitaire, à cause de la propagation prédite de la plante dans des zones aujourd'hui peu ou pas infestées. L'impact majeur du scénario de propagation lent (optimiste) sur la prévalence future de la sensibilisation allergique souligne l'importance du contrôle et de la gestion de la plante. Lake et al., au sein du projet ATOPICA, sont les premiers à modéliser, et ce de manière globale, les impacts potentiels du changement climatique sur la propagation de l'ambroisie en Europe, sur la production et la dispersion de ses pollens, et sur les conséquences sanitaires associées. Les sources d'incertitudes sont cependant

nombreuses en lien avec la relation exposition-risque, la modélisation de la distribution et de la propagation de l'ambroisie, la modélisation des niveaux de pollens dans l'air ambiant, et l'utilisation de scénarios prédictifs.

Choix de l'indicateur d'impact sanitaire

La sensibilisation allergique, choisie par les auteurs comme indicateur de l'impact sanitaire de l'ambroisie, est bien une conséquence directe de l'exposition à un allergène et constitue un facteur de risque majeur dans l'apparition de la rhinite allergique et de l'asthme. De plus, il existe aujourd'hui des outils standardisés pour mesurer et définir la sensibilisation allergique, facilitant ainsi la collecte et mise en commun des données de la littérature scientifique. Cet indicateur ne témoigne cependant pas d'une pertinence clinique systématique pour les individus concernés. En effet, certaines personnes sensibilisées à l'ambroisie ne présentent pas de manifestations cliniques (symptômes de rhinite ou asthme), ne nécessitant donc aucune prise en charge et n'impliquant pas de perte de qualité de vie. Les chiffres proposés peuvent ainsi probablement être considérés comme une estimation haute de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe.

Pour se rapprocher au mieux d'un impact considéré cliniquement pertinent, Lake *et al.* ont estimé la proportion et le nombre de personnes présentant des symptômes allergiques en lien avec l'ambroisie. Une telle analyse de sensibilité est pertinente mais la méthode présente des limites et des incertitudes. Les facteurs appliqués aux estimations nationales de la prévalence de la sensibilisation allergique sont issus de la publication de Burbach *et al.* (2009), qui fournit la proportion d'occurrence simultanée de la sensibilisation allergique et des symptômes dans 14 pays Européens pour différents allergènes, dont les pollens d'ambroisie. Les populations sur lesquelles se basent ces proportions n'ont pas été recrutées de la même manière dans tous les pays et elles ne sont pas toujours représentatives des populations nationales générales, à cause de l'inclusion plus fréquente de patients allergiques dans certaines zones ou du nombre limité de localisations (une seule ville pour la France par exemple). Enfin, la distribution des résultats observée au sein des pays Européens (par exemple, en France, de 18% à 82% des individus sensibilisés au pollen d'ambroisie présenteraient des symptômes associés) n'a pas été retranscrite dans l'analyse de Lake *et al.*, qui n'exploite que la valeur moyenne (par exemple, en France, 50%).

Relation dose-réponse

La relation exposition-risque construite par les auteurs s'est basée sur la collecte de données publiées sur la prévalence de la sensibilisation allergique en Europe. La revue de la littérature conduite était systématique, portait sur plusieurs moteurs de recherche, et incluait des notions générales (sensibilisation, allergie, pollen) sans spécification de l'ambroisie, incluant ainsi un corpus large de publications. La sélection des publications d'intérêt pour la construction de la relation a été menée en double lecture ; la collecte des données suivait une grille descriptive harmonisée. Les publications anciennes (<1993), disposant de données peu spécifiques (sensibilisation allergique à l'ambroisie non examinée seule), ou n'examinant pas de populations Européennes ont été exclues. La mesure de la sensibilisation allergique en populations répond aujourd'hui à des standards internationaux, facilitant la mise en commun des données collectées – issues de différentes publications et différentes localisations. Toutes les populations d'études ont été considérées d'intérêt, assimilées « population générale » ou composées de patients atopiques (déjà sensibilisés à d'autres allergènes), permettant ainsi d'inclure un maximum de données ; la relation mathématique entre l'exposition et le risque prend en compte cette hétérogénéité grâce à un facteur d'ajustement.

Malgré ces nombreux éléments positifs, plusieurs limites et incertitudes sont à noter en lien avec la relation exposition-risque. Les données quantitatives sur la sensibilisation allergique à l'ambroisie collectées dans la littérature proviennent en partie de populations de « patients », déjà sensibilisés ou déjà symptomatiques, non représentatifs de la population générale. De plus, ces données ont été mises en correspondance avec des valeurs d'exposition issues de la modélisation des niveaux moyens annuels sur 1986-2005 ; ces dernières ne sont donc pas spécifiques aux données de santé ou à leur période de recueil. Cette mise en correspondance

implique deux indicateurs définis sur des échelles spatiales différentes – des données de santé souvent disponibles à l'échelle d'un territoire et des données d'exposition disponibles sur une grille continue – sans détails méthodologiques sur l'échelle choisie. Aussi, le niveau moyen annuel considéré n'est pas précisé (CHIMERE, regCM, ou la moyenne des deux). Enfin, le modèle mathématique utilisé pour décrire la relation exposition-risque, bien que décrit comme « le mieux adapté » (statistiquement), s'ajuste tout de même mal aux données ($R^2=0,38$) et engendre un intervalle de confiance large autour du paramètre du modèle, en lien avec la forte hétérogénéité des données.

Modélisation des niveaux de pollens dans l'air

L'utilisation des deux modèles, CHIMERE et RegCM, amène à des estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe bien différentes, permettant ainsi d'indiquer une partie des incertitudes autour de ces estimations. Les incertitudes associées à l'utilisation propre des modèles de dispersion s'ajoutent aux incertitudes déjà générées lors de la modélisation de leur donnée d'entrée *i.e.* la cartographie de la présence de la plante sur la base de modèles écologiques (cf. paragraphe 3.3.2.3). Ces derniers sont particulièrement incertains, même pour la période actuelle, et aucune indication de cette incertitude autour de l'impact sanitaire n'est disponible dans la publication de Lake *et al.* (2017). De manière générale, les prédictions à l'horizon 2041-2060 pour la distribution de la plante et les niveaux de pollens – et par conséquent, pour l'impact sanitaire qui en découle – sont à considérer avec précaution en raison des larges incertitudes liées à l'utilisation de scénarios prospectifs (cf. paragraphe 3.3.4.4).

Autres facteurs influençant l'estimation de l'impact sanitaire

L'évolution de l'allergénicité du pollen d'ambroisie au cours du temps en lien avec le changement climatique, bien que très pertinente dans une optique de calcul d'impact futur, est difficile à mesurer et est encore mal connue – raison pour laquelle elle n'a pas pu être intégrée à l'analyse. Les niveaux de CO₂ et d'ozone dans l'air, et la fréquence des sécheresses sont en effet connus pour modifier l'allergénicité des pollens d'ambroisie. L'impact sanitaire de l'ambroisie est influencé par des caractéristiques individuelles, telles que la génétique, l'âge, les antécédents, ou l'historique d'exposition, qu'il est difficile de prendre en compte dans les estimations d'impact à l'échelle populationnelle. Il est de plus impossible de présumer que l'impact de ces caractéristiques, tant individuelles qu'environnementales, sur l'allergie à l'ambroisie reste le même sur les populations futures.

Conclusions

Les estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe réalisées dans le cadre du projet ATOPICA indiquent que la prévalence de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie concernerait aujourd'hui 33 millions d'individus en Europe. D'ici 2060, 77 millions d'individus seraient sensibilisés à l'ambroisie. Les plus fortes augmentations sont prédites dans les pays où la sensibilisation allergique est actuellement peu fréquente ou très localisée. L'impact sanitaire futur de l'ambroisie est fortement dépendant de la vitesse de propagation de l'espèce dans les zones aujourd'hui peu ou pas infestées. Ce résultat souligne l'importance des mesures de lutte et de gestion qui sont ou seront mises en place contre l'ambroisie sur les territoires.

4.2.2.2 Travaux réalisés par Schaffner *et al.* (2020)

Les estimations quantitatives de l'impact sanitaire (et des coûts associés) de l'ambroisie à feuille d'armoise sont peu nombreuses dans la littérature et se concentrent le plus souvent sur des zones ou régions spécifiques. Et une augmentation de cet impact est attendue à l'horizon 2060 en Europe (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015, Lake *et al.* 2017, Sun *et al.* 2017). Dans ce contexte, Schaffner *et al.* (2020) ont modélisé l'impact sanitaire actuel de l'ambroisie en

Europe ainsi que son évolution supposée après introduction du coléoptère *O. Communa*²⁴. Les auteurs ont ainsi pu estimer les bénéfices d'une telle méthode de lutte en termes de nombre d'individus sensibilisés à l'ambroisie, de nombre d'individus allergiques à l'ambroisie, et de coûts associés à cette allergie. Cependant, seule l'estimation de l'impact sanitaire actuel de l'ambroisie a fait l'objet d'une analyse critique dans le cadre de la présente expertise.

Méthodes

L'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie repose sur la création d'une cartographie de la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en Europe, sur la base de données de la littérature. Ces résultats sur l'Europe ont été confrontés, dans une optique de validation, aux données issues des analyses médico-économiques faites en région Rhône-Alpes sur la période 2007 à 2015.

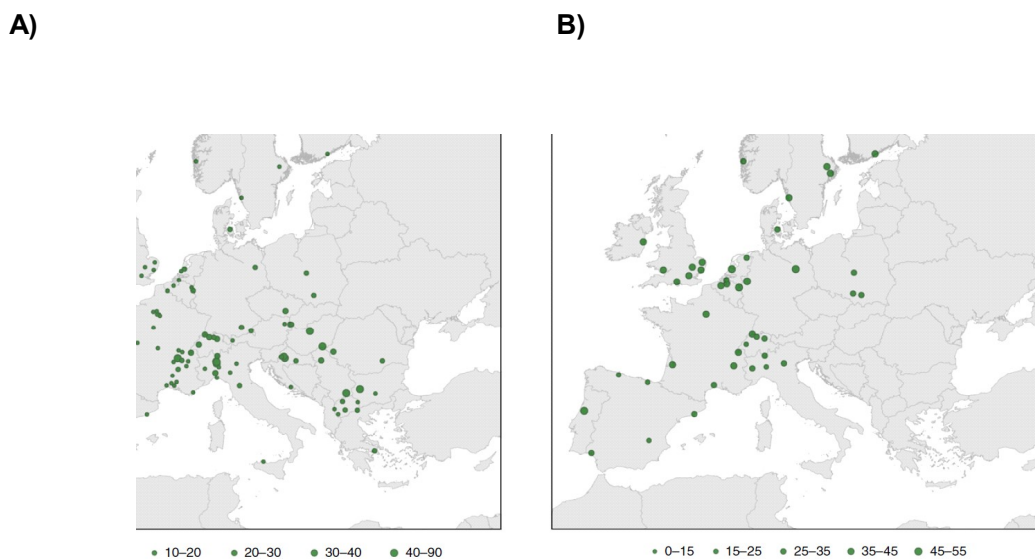
Cartographie de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en Europe

Une revue de la littérature a été conduite pour collecter un ensemble de données quantitatives de prévalence (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie. Seules les publications publiées après 2000 et utilisant des tests cutanés ou biologiques (dosage des IgE spécifiques) ont été considérées d'intérêt. Seules les publications examinant des populations européennes ont été incluses. Les processus de recherche et de sélection ne sont cependant pas détaillés dans l'article.

Des données descriptives de la sensibilisation allergique (en %, pour tous types d'allergènes) en population générale ont été extraites de quatre publications, regroupant 50 localisations dans 16 pays Européens. Une autre sélection a permis d'identifier 30 publications, examinant 102 localisations dans 22 pays Européens, disposant de résultats descriptifs sur le taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie dans des populations de « patients » déjà sensibilisés à tous types allergènes – non représentatives de la population générale. À chaque donnée quantitative (%) a été associée une coordonnée géographique (longitude, latitude) correspondante à une localisation « centrale », telle que le chef-lieu d'une région ou l'hôpital dans lequel les populations étaient recrutées ou testées (Figure 93).

Une interpolation spatiale a ensuite permis de modéliser la répartition géographique continue de la sensibilisation allergique en population générale et de la sensibilisation allergique à l'ambroisie chez des « patients » déjà sensibilisés, à partir des informations ponctuelles contenues dans les deux bases de données géo référencées obtenues. Un maillage de 10 x 10 km a été appliqué. La méthode d'interpolation exacte utilisée par les auteurs n'est cependant pas décrite ; et aucun indicateur de l'incertitude n'a été considéré à cette étape. Les deux cartographies obtenues (sensibilisation allergique en population générale et sensibilisation allergique à l'ambroisie dans la population déjà sensibilisée) couvrent les 27 pays membres de l'Union Européenne et les pays tiers limitrophes – 42 pays en tout. Finalement, un taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie dans la population générale européenne a été calculé en multipliant, pour chaque maille, le taux de sensibilisation allergique (tous types d'allergènes) dans la population générale à celui de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans la population déjà sensibilisée. En multipliant le taux ainsi obtenu par le nombre d'habitant dans chaque maille de 10 x 10 km, une estimation chiffrée du nombre d'individus sensibilisés à l'ambroisie a pu être obtenue (Center for International Earth Science Information Network 2016).

²⁴ Cette analyse se base notamment sur les données empiriques collectées après l'introduction involontaire du coléoptère dans le Nord de l'Italie.



La taille des points indique les taux de sensibilisation. A) sensibilisation allergique (tous allergènes) en population générale. B) sensibilisation allergique à l'ambroisie dans une population déjà sensibilisée.

Figure 93. Répartition géographique des données quantitatives des taux de sensibilisation allergique (en %) en Europe dans la population générale (A) et les populations de « patients » (B) (Schaffner *et al.* 2020)

Seule une proportion des personnes sensibilisées à l'ambroisie présente ou présentera un jour des symptômes cliniques après contact avec le pollen d'ambroisie. De manière similaire à ce qui avait été proposé par Lake *et al.* (2017) (cf. paragraphe 4.2.2.1), Schaffner *et al.* (2020) ont multiplié, sur chaque maille, le taux de sensibilisation allergique à l'ambroisie dans la population européenne par un facteur fixe estimé par Burbach *et al.* (2009) dans différents pays Européens, estimant ainsi la proportion de la population sensibilisée à l'ambroisie présentant des symptômes allergiques.

Comparaison avec le nombre d'individus allergiques à l'ambroisie en région Rhône-Alpes

Dans une optique de validation des méthodes et résultats, Schaffner *et al.* (2020) ont comparé, à l'échelle de la région Rhône-Alpes, l'estimation précédente de la sensibilisation allergique à l'ambroisie avec pertinence clinique à l'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie issue des analyses médico-économiques sur la région Rhône-Alpes (cf. paragraphe 4.2.1.2). Brièvement, les individus allergiques à l'ambroisie dans 313 localités en Rhône Alpes ont été identifiés en couplant les remboursements de médicaments (« traceurs » de l'allergie) à la saison pollinique (de juillet à octobre) sur les années calendaires de 2007 à 2015. La prévalence moyenne ainsi dérivée a été mise en relation avec le nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m³ disponible à la même échelle et sur la même période, issus de l'interpolation spatiale des comptes polliniques de 62 stations de mesure en France (Figure 94). Le modèle mathématique décrivant au mieux cette relation (exposition-risque) est de la forme : $\log(\text{nombre d'individus allergiques à l'ambroisie pour } 10\,000) = 0,84 \cdot \log(\text{nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m}^3)$. L'absence de coordonnée à l'origine est cohérente avec l'hypothèse de causalité entre l'exposition et le risque. Selon les auteurs, le modèle de régression présenté s'ajuste bien aux données et explique une part « significative » de variabilité, mais aucune information chiffrée n'est fournie. Cette relation exposition-risque a finalement été appliquée aux niveaux de pollens d'ambroisie dans l'air ambiant prédits après introduction de *O. Communa* en Europe afin de décrire les bénéfices sanitaires attendus (exprimés comme une diminution relative du nombre d'individus allergiques) de cet agent de lutte biologique – résultats non décrits dans le présent rapport.

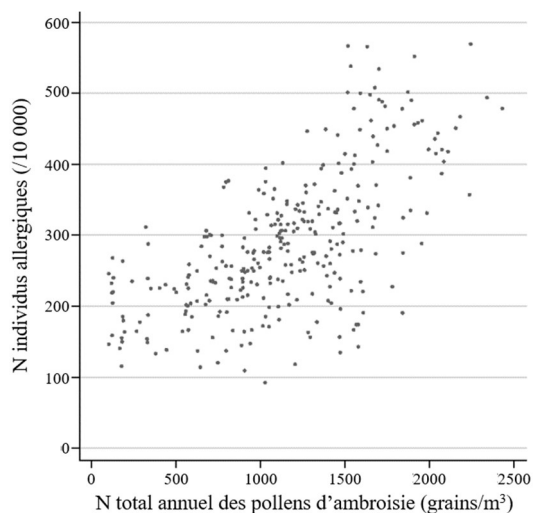


Figure 94. Relation entre la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie et le nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m³ dans 313 localités de la région Rhône-Alpes (Schaffner et al. 2020)

Un point = une localité. Prévalence estimée d'après l'analyse des remboursements de médicaments « traceurs » de l'allergie à l'ambroisie. Nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m³ issue de l'interpolation spatiale des comptes polliniques de 62 stations de mesures en France. Valeurs moyennes sur la période 2007-2015. Relation : $\log(y) = 0,84.\log(x)$; $p < 0,01$.

Résultats

La cartographie du taux (en %) de sensibilisation allergique à l'ambroisie estimé dans la population européenne est visible en Figure 95. Au total, 23 174 000 individus seraient ainsi sensibilisés à l'ambroisie en Europe (et 1 325 000 en France), avec une prévalence atteignant 30-35% dans les zones les plus infestées – en Europe de l'Est et en France.

La proportion de personnes sensibilisées à l'ambroisie qui ressentiraient des symptômes cliniques après contact avec le pollen d'ambroisie s'élèverait à 68%, soit 15 813 000 personnes en Europe. Cette prévalence de la sensibilisation allergique avec symptômes cliniques a été estimée à 807 000 personnes en France ; plus particulièrement, 3,2% (déviations standard : 2,2) de la population en (ancienne) région Rhône-Alpes serait ainsi considéré allergique à l'ambroisie. Ce chiffre est similaire à la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie selon l'analyse des remboursements de médicaments traceurs sur la même région entre 2007 et 2015 – 2,9% (1,0).

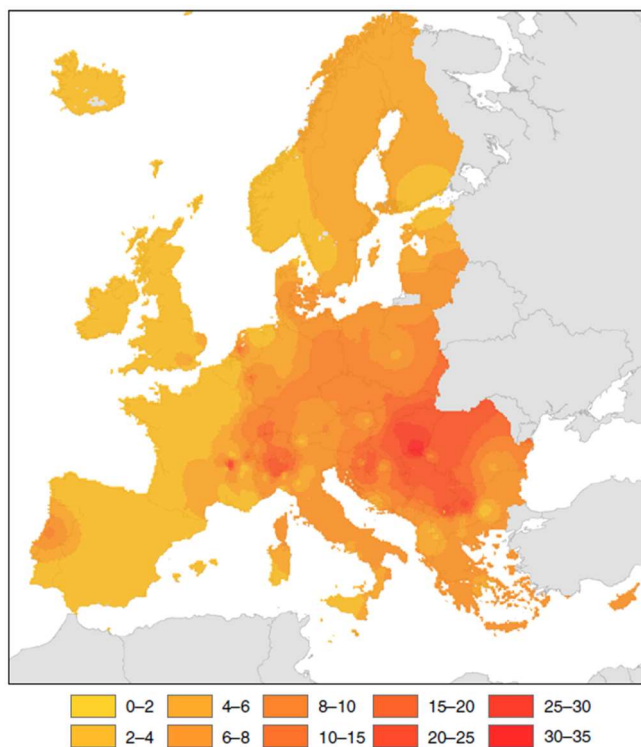


Figure 95. Cartographie de la prévalence estimée de la sensibilisation allergique (en %) à l'ambroisie dans la population européenne (Schaffner et al. 2020)

Obtenu à partir de l'interpolation spatiale des données de la littérature géo référencées. Maillage 10 km par 10 km. Voir méthodes pour plus de détails.

Discussion

Les travaux de Schaffner *et al.* (2020) fournissent une estimation de la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en Europe. Aujourd'hui, environ 23,2 millions de personnes seraient ainsi sensibilisées à l'ambroisie en Europe et 15,8 millions y seraient allergiques selon une analyse secondaire. Bien que les méthodes mises en place présentent des avantages, les résultats doivent être interprétés à la lumière de certaines limites et incertitudes. Enfin, les chiffres obtenus par Schaffner *et al.* (2020) sont inférieurs à ceux dérivés par Lake *et al.* (2017) pour le même domaine d'étude – entre 26,9 et 38,3 millions de personnes (cf. paragraphe 4.2.2.1). L'hétérogénéité de ces résultats s'explique par les différentes données collectées et méthodes employées.

L'interpolation spatiale de bases de données géo référencées a permis à Schaffner *et al.* (2020) d'obtenir une cartographie à fine échelle (10 km) de la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en Europe. Les estimations obtenues sont considérées représentatives de la population générale européenne, grâce à la combinaison de deux bases de données – l'une décrivant la sensibilisation allergique en population générale, l'autre décrivant la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans une population déjà sensibilisée. Ces spécificités (échelle spatiale fine et représentativité accrue) soutiennent la pertinence des résultats obtenus. Elles expliquent également la différence observée avec les résultats de Lake *et al.* (2017), qui ont été obtenus sur une large échelle et à partir de données issues, en grande partie, de populations de « patients » (cf. paragraphe 4.2.2.1). Néanmoins, et contrairement à Lake *et al.*, aucune indication de l'incertitude ou de la variabilité n'est donnée par Schaffner *et al.* (2020) autour des estimations de l'impact sanitaire. La performance et la robustesse de l'interpolation spatiale sont très probablement moindres dans les régions d'Europe ne disposant pas de données quantitatives, notamment en Europe de l'Est pour la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en population déjà sensibilisée (Figure 93).

Les auteurs ont choisi la sensibilisation allergique à l'ambroisie comme indicateur de l'impact sanitaire de l'ambroisie. Cet indicateur constitue bien une conséquence sanitaire directe de l'exposition au pollen d'ambroisie et est un facteur de risque connu de la rhinite allergique et de l'asthme. De plus, il existe aujourd'hui des outils standardisés pour mesurer et définir la sensibilisation allergique, facilitant ainsi la collecte et mise en commun des données de la littérature scientifique. Cependant, cet indicateur ne témoigne pas d'une pertinence clinique systématique pour les individus concernés ; certaines personnes sensibilisées à l'ambroisie ne présentent aucune manifestation clinique (symptômes), ne nécessitant donc aucune prise en charge et n'impliquant pas de perte de qualité de vie. Les chiffres proposés par Schaffner *et al.* (2020) doivent ainsi être considérés comme une estimation haute de l'impact sanitaire de l'ambroisie, incluant des personnes sensibilisées mais pas toujours symptomatiques.

Dans une analyse secondaire, Schaffner *et al.* (2020) ont tenté de se rapprocher d'un impact sanitaire considéré « cliniquement pertinent » en estimant la prévalence de la sensibilisation allergique avec présence de symptômes (~allergie à l'ambroisie). Ils ont appliqué, à leurs estimations, un facteur fixe (par pays) décrivant la proportion d'individus présentant des symptômes en lien avec l'ambroisie dans la population sensibilisée à l'ambroisie. Une telle analyse est pertinente mais la méthode présente des limites. Tout d'abord, les facteurs appliqués sont issus d'une unique publication, de Burbach *et al.* (2009), fournissant une proportion d'occurrence simultanée de la sensibilisation allergique et de symptômes allergiques dans 14 pays Européens pour différents allergènes, dont les pollens d'ambroisie. Les populations examinées n'ont pas été recrutées de la même manière dans tous les pays et, de plus, elles ne sont pas toujours représentatives des populations nationales générales – à cause de l'inclusion plus fréquente de patients allergiques dans certaines zones ou du nombre limité de localisations (une seule ville en France, par exemple). Enfin, la variabilité des résultats observée au sein des pays Européens n'a pas été retranscrite dans l'analyse, qui n'exploite que la valeur moyenne ; par exemple, selon Burbach *et al.* (2009) en France, de

18% à 82% des individus sensibilisés au pollen d'ambroisie présenteraient des symptômes associés mais seule la moyenne, 50%, a été utilisée par Schaffner *et al.*

Au vu des limites de cette analyse secondaire, Schaffner *et al.* (2020) ont cherché à valider les résultats obtenus en les comparant à ceux des analyses médico-économiques menées entre 2007 et 2015 en région Rhône-Alpes (cf. paragraphe 4.2.1.2). Sur ce territoire, les deux sources de données donnent en effet des estimations similaires de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie, soutenant l'approche choisie et renforçant les résultats obtenus. Cependant, cette « validation » en région Rhône-Alpes ne garantit pas la précision ou la robustesse des résultats de Schaffner *et al.* (2020) sur d'autres régions et pays d'Europe, avec des niveaux d'infestation différents et des populations aux caractéristiques différentes (âge, sexe, etc.). La représentativité des données disponibles en région Rhône-Alpes par rapport à la population générale d'autres régions ou pays ne peut pas être confirmée. Les limites et incertitudes inhérentes à ces données restent également présentes, notamment une potentielle sur ou sous-estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie. Enfin, là encore, seules les valeurs moyennes ont été considérées lors de la comparaison ; il aurait pu être pertinent d'examiner l'influence des différentes incertitudes présentes tout au long des analyses sur la précision et la robustesse de ces résultats.

Les estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe réalisées par Schaffner *et al.* dans le cadre du projet SMARTER indiquent que la prévalence de la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie concernerait aujourd'hui 23,2 millions d'individus en Europe. Les prévalences les plus élevées coïncident avec les zones les plus infestées par la plante. Ces résultats contribuent à la littérature scientifique évaluant l'impact sanitaire de l'ambroisie à grande échelle.

4.3 Conclusions

De manière générale, la rhinite allergique au pollen reste une maladie chronique banalisée (sous diagnostiquée et sous traitée) malgré l'impact important observé sur la qualité de vie des malades. Dans le futur, le développement des traitements dits étiologiques (désensibilisation allergique) permettrait une prise en charge précoce, efficace et simple.

L'allergie associée au pollen d'ambroisie présente certaines spécificités en comparaison de l'allergie à d'autres pollens, notamment un âge de début plus tardif et, potentiellement, un contrôle plus difficile. Cette particularité de la marche allergique pourrait être liée à l'introduction « récente » de l'ambroisie dans nos régions— par opposition aux graminées, plantes natives. La difficulté à contrôler les symptômes est vraisemblablement liée au fort potentiel allergisant des pollens d'ambroisie : quelques grains suffisent à provoquer des symptômes chez les personnes allergiques.

De nombreux outils sont aujourd'hui utilisés à grande échelle pour identifier les individus allergiques : tests cutanés, questionnaires standardisés, base de données médico-administratives, et parfois une combinaison de ceux-ci. Il n'existe aujourd'hui aucun questionnaire standardisé ni aucune définition médico-administrative validée pour l'allergie à l'ambroisie. La littérature scientifique a néanmoins souvent recours à des questionnaires très détaillés (sur la saisonnalité et les déclencheurs des symptômes) dans le cas de populations d'études réduites. La sensibilisation allergique est quant à elle mesurée dans de larges populations.

Les travaux menés par les ORS et ARS en Auvergne-Rhône-Alpes, région française la plus infestée, permettent d'estimer localement l'impact sanitaire des pollens d'ambroisie et sont un outil précieux et nécessaire à la prise de conscience et à la mise en place d'action de terrain. Jusqu'à 13% de la population régionale totale serait allergique à l'ambroisie, mais une grande variabilité géographique est observée (jusqu'à un facteur 3). Les méthodes et données utilisées (enquêtes téléphoniques et analyse des données de remboursements avec de multiples définitions des cas) sont variées, sont pertinentes en termes cliniques et

épidémiologiques, offrent une indication de l'incertitude intéressante, et possèdent de nombreuses perspectives d'amélioration.

Deux analyses d'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise en Europe ont récemment été menées : l'une par Lake *et al.* (2017) au sein du projet ATOPICA, l'autre par Schaffner *et al.* (2020) au sein du projet SMARTER. Pour le même domaine d'étude, les impacts estimés sont très hétérogènes : 32,6 millions de personnes sensibilisées à l'ambroisie selon Lake *et al.* et 23,2 millions de personnes sensibilisées à l'ambroisie selon Schaffner *et al.* La sensibilisation allergique a été considérée d'intérêt par les auteurs car elle est la première étape de la marche allergique et un facteur de risque majeur de l'allergie. Cependant, de telles estimations n'ont que peu de pertinence clinique.

La prévalence de l'allergie à l'ambroisie a été estimée localement et à plus large échelle en Europe. Aujourd'hui, entre 4,5 et 40,0% des populations en zones infestées seraient allergiques à l'ambroisie (et jusqu'à 60% y seraient sensibilisés). Dans le futur, il est très vraisemblable que cette prévalence augmente en raison de la propagation prédite de la plante dans des zones aujourd'hui non infestées – exposant de nouvelles populations à ce pollen. La modification de l'allergénicité du pollen d'ambroisie dans le futur et/ou la modification de la production de pollen par la plante (tous deux en lien avec des cofacteurs extrinsèques : pollution atmosphérique et conditions climatiques) pourraient jouer un rôle dans l'évolution de cette prévalence. Les estimations, bien qu'incertaines, prévoient une multiplication du nombre de cas par 2,5 d'ici 2060.

5. État de l'art relatif aux aspects économiques associés aux impacts de l'ambroisie à feuille d'armoïse

Le présent chapitre a pour objectif de présenter les méthodes et données d'ordre économique permettant de valoriser les impacts présentés lors du chapitre précédent. La nature des coûts et la manière de les valoriser sont significativement influencées par le point de vue considéré au sein de l'analyse économique. Il peut ainsi s'agir des coûts supportés par un individu malade, par l'organisme d'assurance maladie, par une entreprise, ou bien par la société dans son ensemble. Dans le cas présent, l'ambroisie est susceptible d'avoir de multiples impacts sur des acteurs sensiblement différents. Dans la perspective d'adopter une vision large sur le plan économique^{25,26}, il est retenu par le groupe de travail le choix de procéder à l'expression des coûts quelle que soit la nature de l'acteur. Au regard des enjeux associés à cette expertise, une attention particulière a été portée sur les dimensions économiques en lien avec les conséquences sanitaires de l'ambroisie.

Étant donné le large spectre d'acteurs concernés impliquant des coûts de nature variée, le groupe de travail ne procédera pas à la somme des coûts, mais réalisera une quantification par poste de coûts à l'instar de la démarche de l'Institut national du cancer (INCa) concernant les coûts du cancer en France (Amalric 2007). En outre, l'addition des coûts peut parfois revêtir un risque de double compte, notamment associé à la méthode de monétarisation de certains postes.

Enfin, il est à noter que la valorisation des coûts ne porte que sur ceux générés durant une année donnée. De fait, aucune actualisation des coûts n'est réalisée dans le cadre de cette expertise.

5.1 Approches mobilisables pour l'estimation des coûts imputables à l'ambroisie

L'estimation des coûts des impacts générés par l'ambroisie peut se concrétiser au travers de différentes méthodologies, témoignant de diverses réalités. D'une part, dans une optique comptable, il est possible de ne considérer que les coûts au regard de leur valorisation marchande dans la mesure où celle-ci existe. Cette approche « financière » peut être dépassée par une vision économique au travers du coût d'opportunité.

5.1.1 Approche financière

L'approche financière recherche une valorisation en attribuant une valeur monétaire à des postes de coût au travers des transactions financières établies sur un marché. Dans une optique financière, en économie de la santé, deux types de coûts sont distingués : des coûts directs, tels que la prise en charge des soins, et des coûts indirects, tels que les pertes de production. En France, les coûts directs couvrent toutes les ressources utilisées pour et directement attribuables à une action de soins de santé. Ils sont séparés en coûts directs

²⁵ En fonction du point de vue adopté, le périmètre des coûts peut varier. Le rapport sénatorial de (Husson et Aïchi 2015) relatif à la pollution de l'air rappelait en 2015 que se contenter de mesurer l'impact sanitaire de la pollution de l'air en termes de produit intérieur brut [=dépenses] constituerait une approche restrictive, qui ne conduirait à prendre en compte qu'un seul aspect du coût (le coût pour les finances publiques) et donc à exclure une grande partie du coût supporté par la société.

²⁶ HAS. 2011. Guide méthodologique - choix méthodologiques pour l'évaluation économique à la HAS : Haute Autorité de Santé. Recommandation 2 : le choix de la perspective.

médicaux et coûts directs non médicaux. Les coûts directs médicaux comprennent les coûts résultants du traitement ou de la maladie (Clément, Barnay, et LePen 2011).

Dans l'optique d'une estimation du coût de l'ambroisie, il est important de prendre en considération les conséquences financières au-delà de la santé humaine, notamment au travers des impacts dans le domaine agro-environnemental, dans la mesure où des relations causales existent. Plus spécifiquement dans le domaine agricole, les coûts considérés concernent principalement les pertes de rendement et les dépenses de gestion (lutte et gestion en post-récolte).

5.1.2 Approche économique

La valeur financière d'un bien est généralement fixée au travers des transactions financières réalisées sur un marché. L'approche financière se base sur la logique marchande de l'entreprise qui commercialise – par exemple les traitements. Tant que le prix qu'elle peut recevoir d'un traitement est supérieur à son coût de fabrication (éventuellement en considérant des coûts et des recettes actualisées sur plusieurs années de financement), le traitement vaut la peine d'être produit.

L'approche économique se place dans le contexte de la collectivité gérant un bien public (par exemple, la santé publique). Pour connaître le bénéfice apporté par un traitement, il faut alors prendre en compte son impact sur chaque citoyen. Celui-ci peut, en principe, être monétarisé *via* la notion de disposition à payer (DAP), c'est-à-dire le montant maximal qu'une personne serait prête à payer pour obtenir le traitement. Cette DAP est connue par introspection mais est privée et ne peut être connue aisément d'un tiers. Différents individus ont, pour un certain bien, des DAP différentes en fonction d'un grand nombre de facteurs, dont principalement les préférences individuelles, les besoins temporaires, les revenus, les prix d'autres biens et la répartition des richesses. Certainement, la DAP peut être nulle pour les personnes qui ne sont pas allergiques, mais d'autant plus grande que la personne souffre de l'allergie. Le bénéfice social d'un traitement est donc la somme des DAP des gens qui prennent le traitement. C'est celui-ci qui constitue la valeur économique.

La différence entre la DAP et le prix payé pour un bien représente le surplus du consommateur. Les économistes font l'hypothèse que pour tout bien, étant donné une certaine distribution des richesses (y compris les revenus) et un certain système de prix, chaque individu est doté d'une DAP pour chaque bien ou service – marchand ou non-marchand. La demande pour un bien ou service, marchand ou non marchand, est l'ensemble des DAP.

La Figure 96 illustre, sur le plan conceptuel, le lien entre les approches financière et économique. De manière générale, les valeurs économique et financière sont plutôt complémentaires que substituts. Si le prix était nul, la recette du producteur disparaîtrait et le

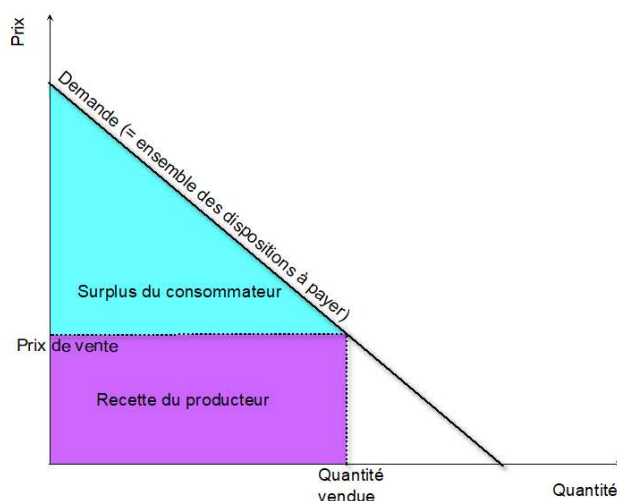


Figure 96. Schématisation du surplus du consommateur et du producteur

La demande est représentée sous la forme d'une droite, mais ce pourrait être n'importe quelle courbe tant que la pente est négative, puisque par construction, elle résulte de l'arrangement d'un grand nombre de dispositions à payer, de la plus grande à la plus petite.

surplus du consommateur couvrirait tout le triangle sous la demande. La DAP n'est pas mesurée directement par le marché et peut exister en dehors de tout marché. Contrairement à la valeur financière, il est donc possible de parler de valeur économique de biens et services non-marchands, comme par exemple la qualité de vie ou les plans d'action de lutte contre l'ambroisie.

Plusieurs méthodes existent pour estimer la DAP. Les approches relevant de méthodes de préférences déclarées (notamment les évaluations contingentes) sont les plus fréquemment mobilisées. En pratique, un scénario est construit pour décrire l'ensemble des informations nécessaires à l'individu pour que sa déclaration traduise ce qui pourrait résulter pour lui d'un choix effectif face à une transaction sur un marché (Luchini 2002). Ces méthodes sont applicables au secteur de la santé comme au domaine environnemental. Leur description sort du cadre de ce rapport, mais il faut souligner qu'aucune n'a été appliquée au cas spécifique de l'ambroisie.

Au contraire, dans le cas de l'agriculture envisagé ci-dessous, les valeurs sont associées à une production, et s'inscrivent donc dans une logique financière. En calculant ce que l'exploitation agricole aurait gagné s'il n'y avait pas d'ambroisie, il est possible d'exprimer le coût pour l'entreprise sous forme d'un manque à gagner.

5.1.3 Approche mobilisée

L'approche économique, plus satisfaisante sur un plan théorique rencontre comme principal écueil la disponibilité de données, notamment relatives à la disposition à payer. Dans le cadre des présents travaux, l'approche financière est plus praticable (Tableau 19). Certains éléments de l'approche économique peuvent cependant être estimés sur base de la littérature, notamment médico-économique. *In fine*, les calculs économiques présentés dans le chapitre pourront s'appuyer sur les deux types d'approches.

Tableau 19. Typologie des impacts, des coûts et des approches mobilisables en matière de monétarisation

		Coût considéré	Approche économique	Approche financière	
Impacts de l'ambroisie	Santé humaine	Prise en charge	✓	✓	
		Pertes de production	✓	✓	
		Qualité de vie	✓	✗	
		Choix de localisation	✓	✗	
		Entourage du malade - empathie	✓	✗	
	Population exposée et non allergique - Valeur du risque	✓	✗		
	Agriculture*	Pertes de rendement		✓	
		Coût de gestion		✓	
		Choix culturels sous optimaux		✓	
	Faune et flore sauvages	Pertes de services écosystémiques	✓	✗	

* La dichotomie entre l'approche financière et l'approche économique n'est plus opérante du fait de l'étude de l'impact de l'ambroisie sur une activité de production, visible au travers de valeurs marchandes

Il est à noter que l'ambroisie représente également un coût pour la société au travers des dispositifs de surveillance et de gestion. Ceux-ci visent à limiter les impacts repris dans le tableau ci-dessus ; ce point sera détaillé plus avant.

5.2 Estimation des coûts en lien avec l'allergie à l'ambroisie

5.2.1 Coûts de la prise en charge

Au sens de l'organisation mondiale de la santé (OMS), la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement une absence de maladie ou d'infirmité (OMS 1946). Lorsque la santé est détériorée, il est nécessaire de recourir à des soins. Plusieurs acteurs peuvent alors être impliqués à des échelles différentes dans le processus (Figure 97). Comme le rappelle l'INCa, l'estimation des coûts des catégories « autres fournisseurs » et « proches » est complexe au regard de la faiblesse des données disponibles (Amalric 2007). Dans le présent exercice, il sera toujours question des soins et traitements dispensés par le corps médical.

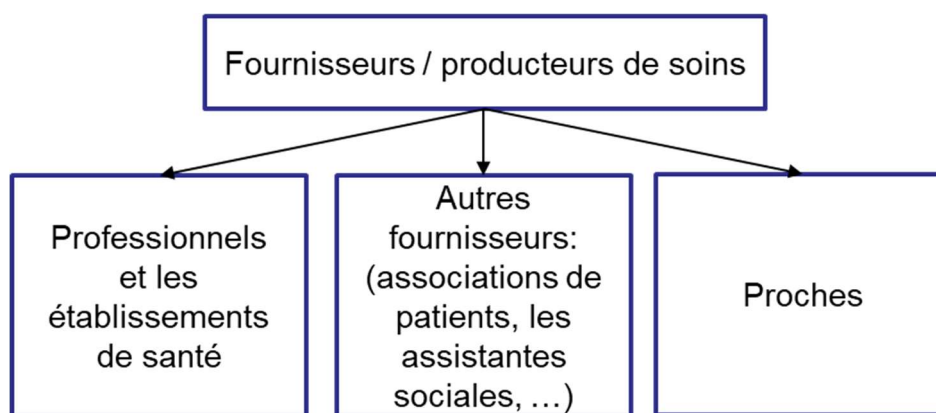


Figure 97. Typologie des producteurs de soins

5.2.1.1 Approche financière

Dans le cas de l'allergie à l'ambroisie, la démarche la plus aboutie en matière d'étude des coûts des soins est développée dans une série de rapports diligentée par l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes auprès de l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes. La Figure 98 illustre de manière synthétique la méthodologie adoptée la plus récente (en 2017), cette dernière ayant évolué au cours du temps.

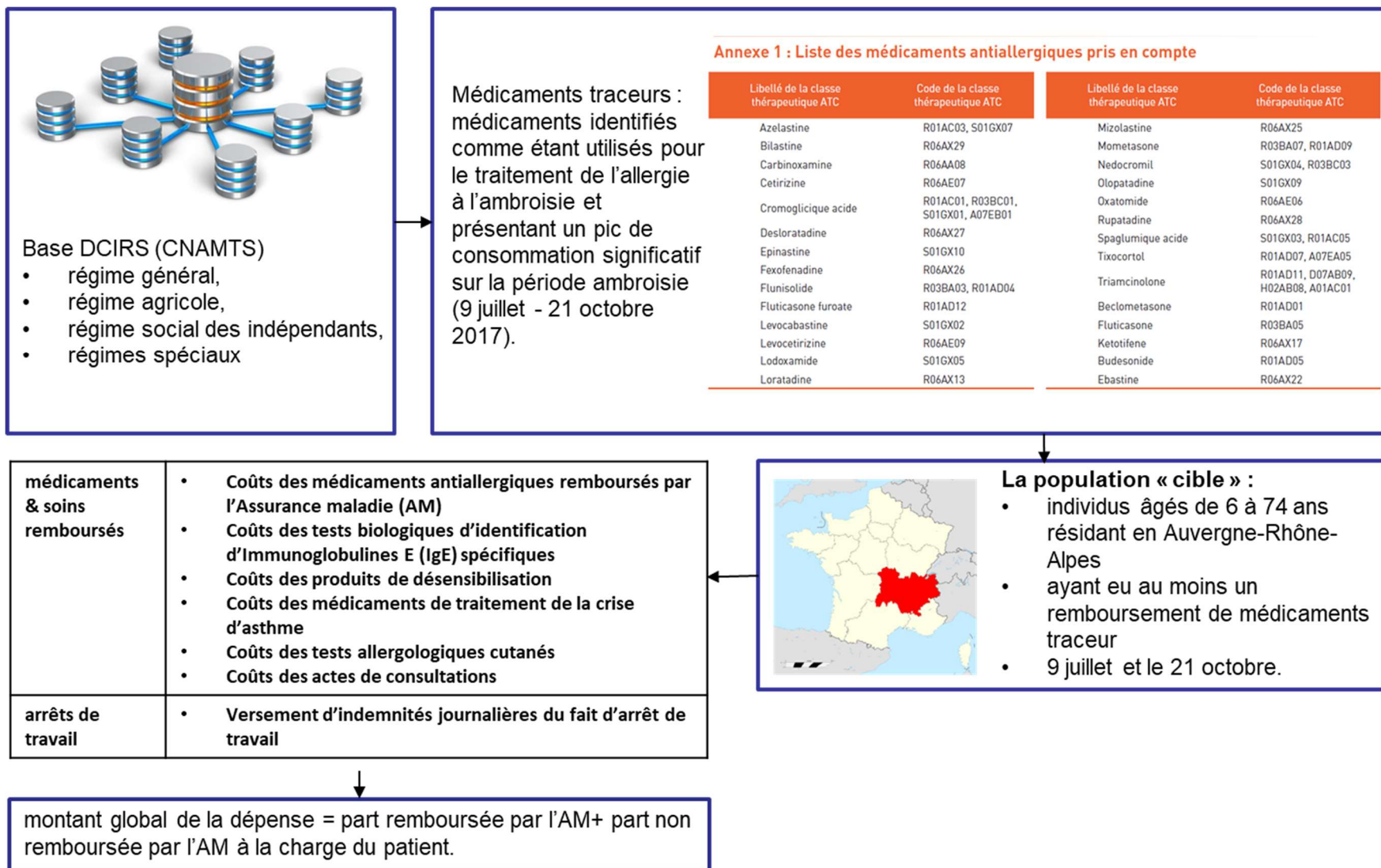


Figure 98. Méthode d'estimation des coûts de l'allergie à l'ambroisie en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017 (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018)

À l'échelle de la région, le coût global de la consommation de soins (incluant les arrêts de travail) relative à l'allergie à l'ambroisie est estimé à plus de 40,6 millions d'euros en 2017 (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018). Cette valorisation correspond au montant global de la dépense, incluant la part remboursée par l'Assurance Maladie et la part non remboursée à la charge du patient. La répartition de la charge financière par type de coûts est indiquée en Figure 99.

Un coût moyen par individu allergique pris en charge a été établi à l'échelle de plusieurs strates administratives (Figure 100). Il a été estimé à 61,6€ à l'échelle régionale en 2017. Les variations observées, et dont la significativité statistique mériterait d'être étudiée, peuvent être imputables aux stratégies thérapeutiques développées à l'échelle départementale (Figure 101). Dans une vision plus resserrée excluant les arrêts maladies, le coût moyen par personne allergique prise en charge serait de 61,6 x (1-0,14) soit environ 53€ (en 2017).

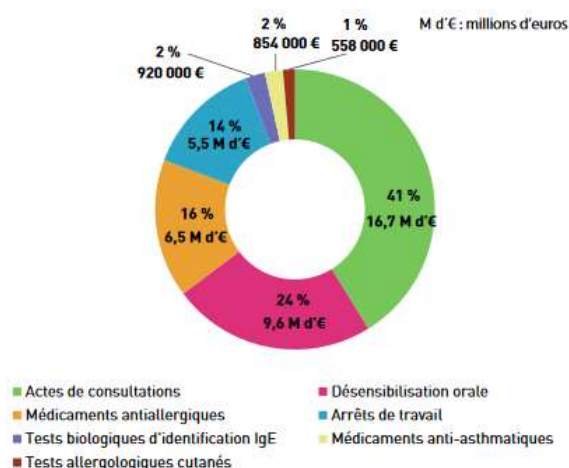


Figure 99. Répartition du coût total estimé de l'allergie à l'ambroisie par type de coût en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017 (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018)

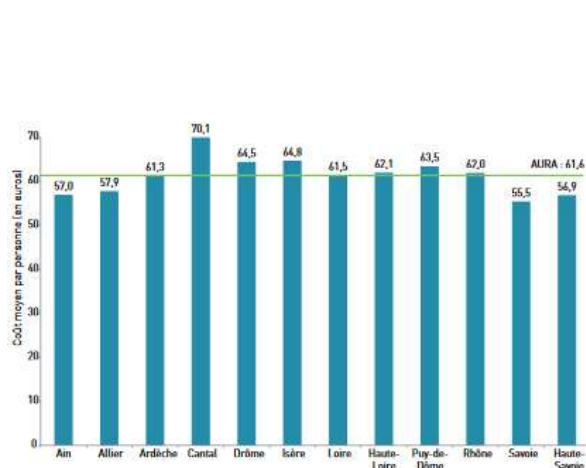


Figure 100. Coût moyen par personne ayant consommé des soins remboursés en lien avec l'allergie à l'ambroisie par département en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017

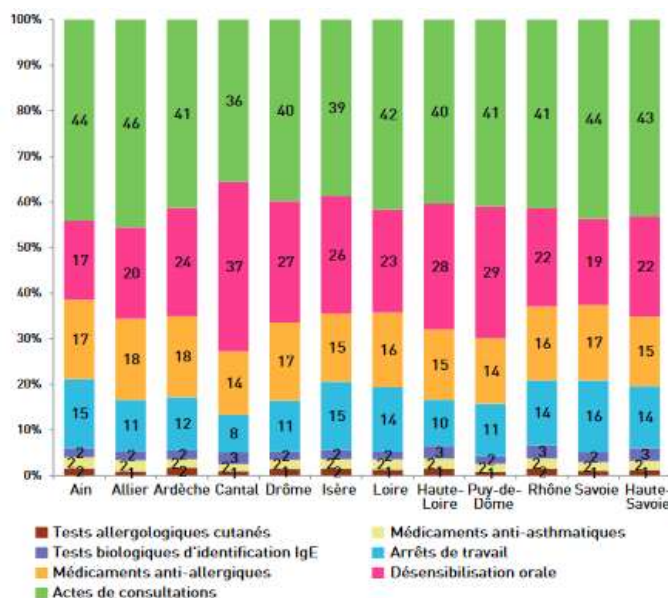


Figure 101. Répartition du coût total estimé de l'allergie à l'ambroisie par type de coût et par département en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017

5.2.1.2 Approche économique

Dans le cadre d'une approche économique, il est nécessaire de tenir compte des éléments suivants :

1. Le prix des traitements en France est largement subventionné, ce qui éloigne la valeur financière de la valeur du marché comme illustré dans la Figure 102. Le prix des traitements en France, et dans de nombreux pays, est négocié entre le producteur et l'État ; il ne reflète le coût de fabrication que dans la mesure où il lui est sans doute supérieur²⁷.
2. Il ne fait pas forcément sens de ne considérer que le prix du traitement. Il faudrait considérer une notion élargie incluant le coût de déplacement à la pharmacie, le coût du service médical (consultation ou autre) et le coût caché lié à la prise en charge par un tiers de personne affectée (mineur, personne âgée), *i.e.* prendre en considération l'ensemble des coûts afférents à la stratégie thérapeutique.
3. Un traitement médical n'est pas parfait, au sens où il ne permet pas à chacun de retrouver un parfait état de bien-être, et ne peut donc pas être considéré comme une solution idéale comme le serait l'absence d'exposition aux pollens d'ambroisie après une éradication de la plante. Cette imperfection se traduit par une perte de bien-être. La valeur économique comprendrait celui-ci (cf. paragraphe 5.2.3).

Sur le premier point, l'objectif de la subvention du traitement est de le rendre accessible au plus grand nombre, en réduisant significativement le prix de vente. Cependant, la subvention va au producteur et ne tient pas compte de la disposition à payer du consommateur ; elle fragilise donc le lien entre valeurs économique et financière (Figure 102).

La subvention peut fonctionner de diverses manières. Pour simplifier, supposons qu'elle prenne la forme d'un montant par unité vendue. Le producteur négocie (avec l'État) un prix de vente au public et reçoit pour chaque unité vendue ce prix de vente plus le montant de la subvention. Cela aboutit à une valeur financière correspondant au rectangle, y compris la partie qui recouvre le triangle du surplus du consommateur.

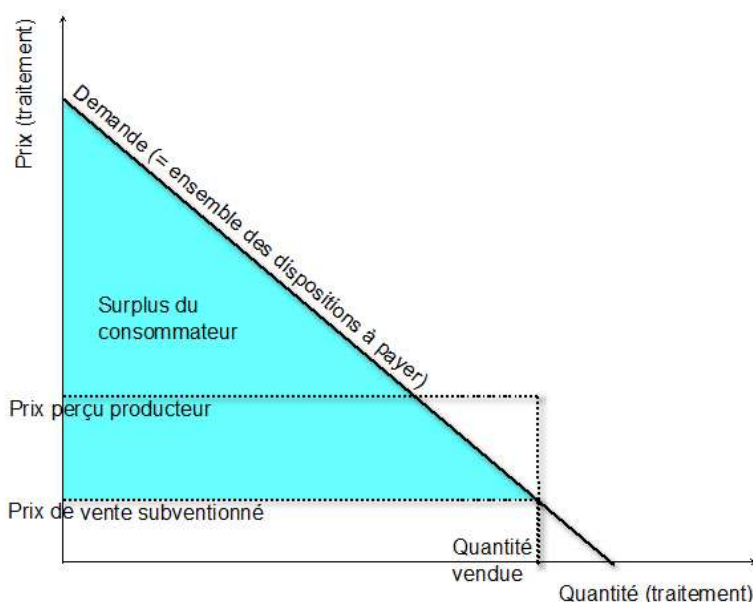


Figure 102. Effet de la subvention

²⁷ Même ce point est incertain car chaque producteur fabrique de nombreux médicaments et pourrait négocier un prix très faible pour un traitement en particulier dans une logique d'obtenir des prix négociés meilleurs sur d'autres traitements.

S'il n'y avait pas de subvention, il faudrait ajouter le surplus du consommateur à la recette du producteur (produit du prix par la quantité vendue) pour trouver la valeur économique du traitement (si on ne tient pas compte des coûts de fabrication). Avec la subvention, il est possible de constater qu'une partie de celle-ci recouvre le surplus du consommateur ; il n'est donc pas possible de les sommer. De plus, une partie de la subvention ne recouvre pas le surplus du consommateur. Il s'agit donc d'un coût additionnel pour la collectivité qui vient s'ajouter au coût de l'ambroisie.

5.2.1.3 Positionnement du groupe de travail

L'approche développée par l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes est une vision limitée des coûts, qui ne prend en considération qu'une partie de la valeur financière attribuée aux traitements – puisqu'elle ne considère que les remboursements de traitements et pas l'ensemble des coûts annexes. Dans ce cadre elle constitue une estimation basse des coûts financiers. Il est toutefois à rappeler que les médicaments traceurs retenus par l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes ne sont pas spécifiques de l'allergie à l'ambroisie comme indiqué dans le chapitre 4. L'ORS présente dans son rapport les limites de ses propres estimations des coûts des traitements liés à l'ambroisie. Celles-ci sont diverses mais pointent vers une estimation raisonnable des coûts des traitements liés à l'ambroisie dans un sens strict, sans aucun coût annexe.

L'approche ORS est bien plus précise que les rares alternatives dans la littérature. Bullock *et al.* (2013) présentent un intervalle « à dire d'experts » qui recouvre le chiffre de l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes, mais reste très variable d'un pays européen à l'autre. Schaffner *et al.* (2020) reprennent les données de Bullock *et al.* (2013) et de l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes sans y ajouter d'estimation propre sur les plans économique et financier.

Dans le cadre d'une approche financière, l'estimation de l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes apparaît comme la plus robuste et adaptée pour une généralisation à l'échelle nationale. En pratique, pour monétariser le coût de la prise en charge de l'allergie à l'ambroisie à l'échelle populationnelle, le procédé suivant est proposé :

$$\text{Coût de la prise en charge annuel} = n \times 53\text{€}$$

Avec :

- n : nombre d'individus allergiques à l'ambroisie ;
- 53€ : coût moyen individuel de la prise en charge des soins sur une année en € courant de 2017.

Il est ainsi fait l'hypothèse que le coût moyen de prise en charge reste le même quel que soit le niveau des concentrations de pollens. Aucune mesure d'incertitude statistique (tel qu'un intervalle de confiance) n'est disponible sur ces chiffres. Par ailleurs, ce coût moyen ne permet pas d'intégrer la part de l'automédication, non visible au travers des bases de données de remboursement de l'Assurance Maladie et difficilement estimable.

Il n'existe pas dans la littérature d'estimation de la disposition à payer pour l'ensemble des stratégies thérapeutiques en lien avec les conséquences sanitaires de l'ambroisie.

5.2.2 Coûts de la perte de production

Un travailleur malade du fait d'une allergie à l'ambroisie peut générer deux types de pertes économiques au travers de son activité productive, variable en fonction des conséquences de la pathologie :

- Le travailleur peut être absent de son poste de travail, ce qui peut entraîner une perte de production ;
- Le travailleur peut être présent à son poste de travail, mais avec une capacité de production réduite au regard de son état de santé. Il s'agit donc là d'une baisse de productivité qui se traduit in fine par une perte de production.

5.2.2.1 Approche financière

Plusieurs approches existent pour estimer une perte de production et de productivité comme le souligne le Cercle des économistes de la santé (Clément, Barnay, et LePen 2011) :

- Dans la méthode du capital humain, l'impact de la maladie et de sa prise en charge est valorisé par la mesure du nombre d'heures de travail perdues multipliées par le salaire brut augmenté des cotisations sociales employeur (Drummond et al. 2015). Cette évaluation des pertes de production ne concerne que le secteur salarié, dans lequel la rémunération du facteur travail peut être mesurée de façon isolée (Sultan-Taïeb, Tessier, et Béjean 2009). L'impact de la maladie est alors le même quel que soit le secteur d'activité. Cette méthode est critiquée car fait l'hypothèse que nous sommes en situation de plein emploi et que la perte d'une journée de travail a un impact proportionnel et mécanique sur la production.
- La méthode des coûts de friction pallie le manque de réalisme de la méthode du capital humain en étudiant de façon empirique ces ajustements. L'absentéisme d'un individu ne se traduit pas nécessairement par une baisse de la production : lorsque son absence est de courte durée, un ajustement de la productivité des autres travailleurs ou le rattrapage de son travail par l'employé à son retour peut empêcher une baisse de la productivité ou de la production. Il peut toutefois exister une période d'ajustement au cours de laquelle l'employé ne sera pas remplacé, c'est le temps qu'il faut à l'employeur pour procéder aux ajustements nécessaires pour combler l'absence d'un travailleur. La méthode des coûts de friction évalue ce laps de temps et les baisses de productivité et de production qui en découlent.
- Ce poste de coûts peut également être intégré dans la mesure de la disposition à payer d'un individu.

Ces méthodes impliquent des données différentes, parfois complexes à obtenir. Il est à noter que la méthode des coûts de friction apparait comme la plus satisfaisante d'un point de vue théorique mais nécessite un travail complexe pour obtenir un résultat quantifié.

Dans cette logique financière, l'ORS Rhône-Alpes estime, grâce à une enquête téléphonique en 2014, que les arrêts de travail ou absences scolaires consécutifs aux symptômes de l'allergie restent rares (28 personnes soit 5% des cas certains ou probables) et surviennent quasiment tous en zone très exposée (21 cas sur 28) (Anzivino, Marant-Micallef, et Sonko 2014). En 2018, sur les bases de données de remboursements, 14% des dépenses résidaient dans la prise en charge des arrêts de travail (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018). Il est à noter que la période de pollinisation intervient pour partie sur la période des congés estivaux. Ainsi une partie des salariés allergiques à l'ambroisie n'occupe pas son poste de travail, minimisant de fait le coût de prise en charge des arrêts de travail en lien avec une allergie à l'ambroisie.

Bullock *et al.* (2013) discutent les impacts sur la force de travail basée sur une perte de production (selon l'hypothèse que l'allergie cause une baisse de la force de travail dans chaque pays de l'Union Européenne), des scénarios sur le nombre d'allergiques dans la population active (de 0,1% à 0,5% pour la France) et une durée des épisodes allergiques. Ils estiment une perte de production de 1,5% à 5,0% par travailleur allergique à l'ambroisie.

5.2.2.2 Approche économique

L'allergie se traduit par une productivité réduite pouvant aller jusqu'à des jours d'absence. En France, une baisse de productivité ou un arrêt maladie n'implique pas un coût pour la majorité des travailleurs (salariés) au-delà des jours de carence. Ils peuvent être plus conséquent pour d'autres (artisans, professions libérales soit environ 11% de la population active selon l'Insee). Par conséquent, pour les non-salariés, on peut argumenter que la DAP pour éviter une crise d'allergie à l'ambroisie comprendrait cette perte de productivité alors que pour les salariés ça ne serait pas le cas puisqu'ils continuent à percevoir leur salaire.

La DAP étant le produit d'enquête, il est en principe possible d'estimer la DAP associée à chaque impact de l'ambroisie du Tableau 19. En pratique, il est cependant difficile de morceler ainsi la DAP car il s'agit de demander à chaque personne enquêtée de bien séparer chaque motif qu'elle peut avoir pour une DAP. Par exemple, si l'enquête vise l'estimation de la DAP pour un traitement, il n'est pas simple de savoir si la personne qui répond va inclure ou non le fait que le traitement lui permettra d'éviter une baisse de productivité. Il faudrait donc le préciser dans la question posée, qui risque alors de devenir plus compliquée et plus artificielle²⁸.

5.2.2.3 Positionnement du groupe de travail

Il est peu probable que les entreprises subissent effectivement une perte de production car le marché du travail anticipe l'absence d'employés dans un sens statistique. Pour les entreprises suffisamment grandes, l'organisation du travail tient naturellement compte de l'impact d'un certain taux d'absentéisme (moyen, par période) et engage une force de travail, souvent interne, qui compense cet absentéisme. Pour des entreprises plus petites, le recours aux agences d'intérim est possible, voire systématique.

En première approximation, au regard du fait que la société française n'est pas au plein emploi, elle ne subit pas de perte de production liée à l'allergie à l'ambroisie hors les cas indiqués ci-dessus : artisans, professions libérales, personnes au foyer... (de manière générale, les personnes qui ne peuvent pas facilement être remplacées). Il est alors possible d'envisager que le coût de l'ambroisie sur le marché de l'emploi est effectivement mesuré par les dépenses de sécurité sociale associées, pour les personnes salariées. Celles-ci sont essentiellement des coûts de friction : les frais qu'il est collectivement nécessaire d'engager pour un remplacement temporaire. Le rapport des ARS et ORS serait donc une bonne estimation sur ce point. Il est à noter ici que la DAP pour éviter un jour de travail peut être nulle pour les salariés, mais les coûts de friction restent comptabilisés dans la valeur économique.

Le coût moyen associé à la prise en charge des arrêts de travail est donc de : $61,6 \times 0,14 = 8,6\text{€}$ par individu allergique.

La comptabilisation des pertes de production pour les non-salariés est beaucoup plus complexe et pourrait en principe s'obtenir par le biais d'enquêtes spécifiques sur la DAP.

5.2.3 Coûts de la perte de qualité de vie

De nombreuses méthodes ont été créées afin de caractériser un état de santé, notamment au travers de questionnaires standardisés génériques (tels que l'EQ-5D-3L ou le SF-36) ou spécifiques à une pathologie – les questionnaires standardisés RQLQ (*Rhino-conjunctivitis Quality of Life Questionnaire*) et AQLQ (*Asthma Quality of Life Questionnaire*) peuvent être mentionnés dans le cas de la rhino conjonctivite et de l'asthme. Cet état de santé peut alors être traduit en préférence pour l'individu. Schématiquement, l'utilité associée à une qualité de vie est notée dans un intervalle compris entre 0, correspondant à un décès, et 1 lorsqu'un individu possède une parfaite santé. Ce raisonnement peut s'appliquer dans des contextes de mortalité tout comme de morbidité. La combinaison de ces situations peut conduire à la détermination d'un indicateur sanitaire. En économie de la santé, le QALY (pour *quality-adjusted life year* traduit en français par « année de vie pondérée par la qualité ») est utilisé alors que le DALY (pour *disability adjusted life years*, traduit en français par « années de vie ajustées sur l'incapacité ») est privilégié pour témoigner du poids d'un fardeau sanitaire à une

²⁸ Une décomposition d'une DAP en différentes composantes reste une approche possible. Elle peut être réalisée soit *via* les méthodes des choix discrets (*Discrete Choice Experiment*) qui permettent une évaluation d'un panier de caractéristiques, soit par l'évaluation contingente, grâce à des questions de debriefing *ex post* sur les différentes composantes auxquelles l'individu a pensé lorsqu'il a donné sa DAP pour l'ensemble du bien.

échelle populationnelle (Figure 103). Ces deux indicateurs sont toutefois complémentaires (Figure 104).

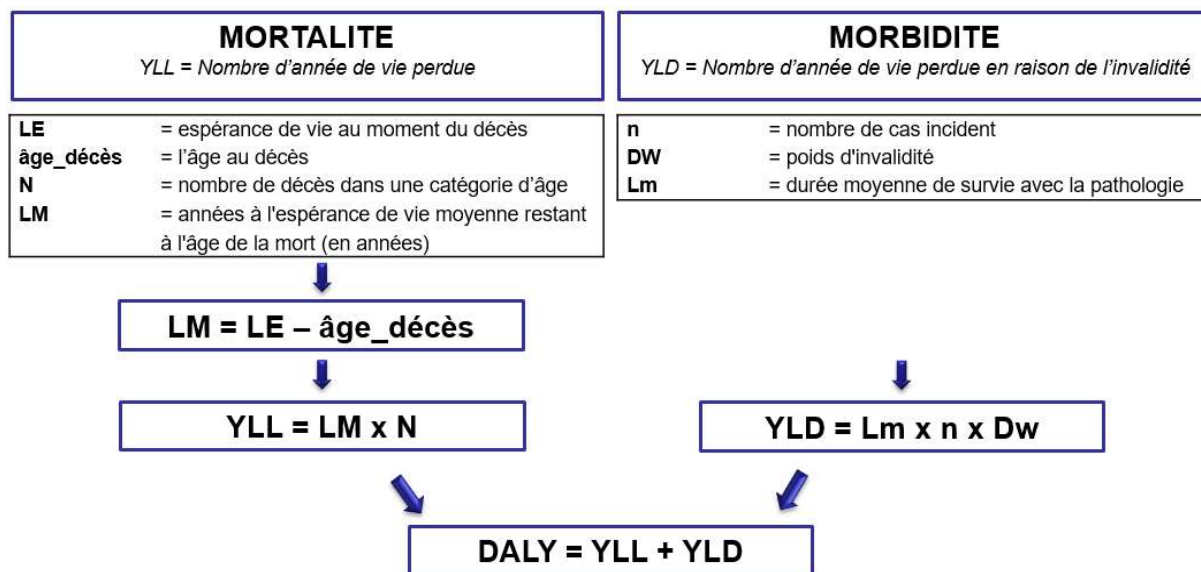


Figure 103. Démarche calculatoire des *Disability Adjusted Life Years* (DALYs)

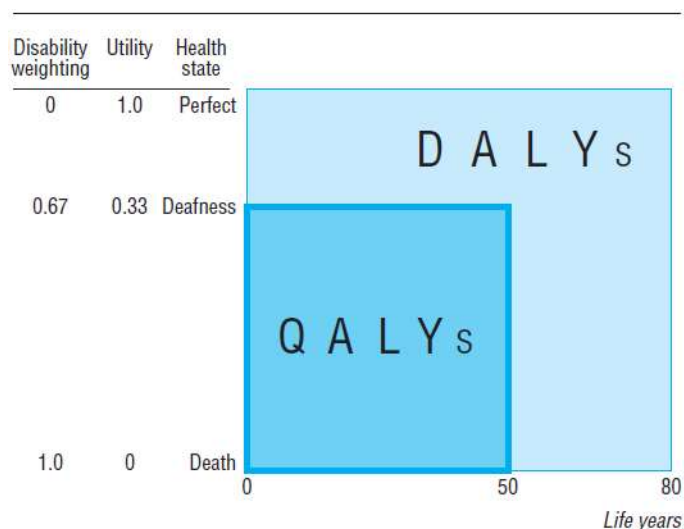


Figure 104. Complémentarité des DALYs et des QALYs (Arnesen et Nord 1999)

Dans le cas de la perte de qualité de vie, le choix du poids de l'invalidité associé à un état de santé est un aspect particulièrement important dans une optique calculatoire. Il n'existe pas de valeur de référence au sein de la littérature faisant consensus. La rhinite allergique n'est pas reprise dans le *Global Burden of Disease (Global Burden of Disease Collaborative Network 2018, Vos et GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators 2017)*²⁹.

²⁹ Le *Global Burden of Disease 2016*, coordonné par l'*Institute for Health Metrics and Evaluation*, estime le fardeau sanitaire de différentes pathologies pour 195 pays et territoires. Les poids de l'incapacité, qui représentent l'ampleur de la perte de santé associée à des résultats de santé spécifiques, sont utilisés pour calculer les années vécues avec une incapacité (YLD) pour une population donnée. Les poids sont mesurés sur une échelle de 0 à 1, où 0 correspond à un état de pleine santé et 1 à la mort. Cet ensemble de données fournit les pondérations d'incapacité pour les 235 états de santé uniques utilisés pour estimer les résultats de santé non fatals pour l'étude

Face au défaut d'un chiffre consensuel, il est présenté une illustration sur la base de Canonica, Poulsen, et Vestenbaek (2007), essai clinique évaluant l'efficacité d'un traitement immunologique pour la rhino conjonctivite causée par les pollens d'herbacées (vs. groupe placebo traité de façon symptomatique). Il y est fait état d'un QALY de 0,9492 pour le groupe traité de façon symptomatique. La perte de qualité de vie résiduelle serait donc de $1 - 0,9492 = 0,0508$, le poids de la maladie sans traitement est plus important. De multiples études existent sur ce sujet, il serait nécessaire de les compiler pour estimer le poids moyen de la maladie. Bullock *et al.* (2013) reconnaissent la perte de qualité de vie, mais n'y assignent pas de valeur.

5.2.3.1 Approche financière

Il n'existe évidemment pas de marché de la vie humaine permettant la confrontation d'une offre et d'une demande dans l'objectif de fixer notamment un prix d'équilibre. Par essence, la monétarisation de l'utilité associée à un état de santé renvoi à une approche économique.

5.2.3.2 Approche économique

Des approches économiques ont été développées afin d'estimer la valeur statistique d'une vie ou d'une année de vie statistique. Pour rappel, la valeur économique d'un bien marchand est en générale fixée par l'intermédiaire d'un marché.

Comme l'indique le Collège des économistes de la santé dans sa recommandation n°17 (Lévy et de Pouvourville 2003), la valeur de la vie humaine peut se mesurer de deux façons : selon l'approche dite du capital humain (par le calcul du revenu *per capita* actualisé sur l'espérance de vie de la population française) et selon l'approche de la théorie du bien-être (par la valorisation faite par les individus des années de vie gagnées).

Il faut souligner que la qualité de vie est améliorée par le traitement. Par conséquent, la DAP pour un traitement particulier est nécessairement une partie de la DAP pour un retour à l'état de santé sans l'allergie à l'ambroisie. Ces DAP ne pourraient donc pas être sommées.

En France, pour l'investissement public, particulièrement dans le domaine du transport et du carbone, des valeurs tutélaires ont été fixées à la suite du rapport de la commission Quinet (Quinet 2013). Celles-ci sont des valeurs consensuelles et non des estimations statistiques au sens classique ; elles ne sont pas accompagnées d'intervalles de confiance. Elles proviennent d'une compilation interprétative de la littérature internationale qui prend certaines positions dont, entre autres, le taux d'actualisation à utiliser et le fait que la valeur soit présentée de manière inconditionnelle (sans référence à l'âge ou à d'autres facteurs sociodémographiques). Ces valeurs font référence pour certains investissements publics et semblent donc adéquates pour les présents travaux. La donnée de référence utilisée dans le cas présent est la valeur d'une année de vie en bonne santé (donc QALY=1), fixé à 115 000€ de 2010.

5.2.3.3 Positionnement du groupe de travail

L'allergie à l'ambroisie est couramment considérée comme invalidante par les individus concernés. La valorisation de la perte de qualité de vie apparait de fait comme indispensable dans l'estimation du coût de l'ambroisie lié à la santé. En pratique, afin de monétariser la perte de qualité de vie à l'échelle populationnelle, le procédé suivant est proposé :

$$\text{Valeur perte qualité de vie} = n \times \partial \times \frac{\beta}{365} \times 115\,000$$

Avec :

- n : le nombre d'individus allergiques à l'ambroisie ;
- ∂ : l'écart entre une qualité de vie optimale, égale à 1, et la qualité de vie présenté pour la pathologie d'intérêt (allergie à l'ambroisie) ;
- β : durée en jour de la pathologie d'intérêt (allergie à l'ambroisie).

5.2.4 Autres coûts

5.2.4.1 Population exposée et non allergique : valeur du risque

En général, l'existence d'un risque implique une DAP pour se prémunir du risque. Dans la mesure où chacun peut devenir allergique à l'ambroisie et qu'il semble que ce risque croît avec l'exposition, les personnes qui ne sont pas affectées par l'ambroisie sont également sources de valeurs économiques.

Dans le cas d'un risque accidentel classique, par exemple l'incendie, il existe un marché d'assurance. Mais le risque d'allergie est systémique (ce sont toujours les mêmes qui sont affectés au même moment) et difficile à identifier. Un marché d'assurance ne peut s'établir, il n'y a donc pas de valeur financière. Cependant, ça n'enlève pas l'existence d'une DAP et donc d'une valeur économique. S'il y avait un marché d'assurance pour se couvrir du risque d'allergie, les dépenses pourraient apparaître dans l'approche développée par l'ORS-ARS Auvergne-Rhône-Alpes. Le marché n'est qu'une forme de monétarisation du risque (partielle puisque le marché ne capture pas la totalité de la DAP).

5.2.4.2 Entourage du malade : la valeur de l'empathie

Des personnes non allergiques peuvent subir l'impact de l'allergie à l'ambroisie *via* leurs proches (enfants, parents...). Ce type de valeur est appelé « non-usage » dans d'autres contextes. Plusieurs cas de figure peuvent se présenter, en allant de coût directs subis (les parents doivent s'occuper d'un enfant allergique) à des coûts plus intangibles, liés à un sentiment d'altruisme ou d'empathie. À nouveau, il n'y a pas de valeur financière associée, mais la valeur économique est bien présente. En particulier, si l'on se place dans la perspective d'une politique publique, des personnes non affectées peuvent tout à fait être disposées à financer ou contribuer à une politique d'éradication de l'ambroisie. Des valeurs de non-usage ont été calculées dans beaucoup d'autres contextes³⁰. Souvent, il s'agit de chiffres numériquement faibles mais qui par définition concernent toute la population. L'impact total est donc généralement élevé.

5.2.4.3 Valeurs individuelles cachées : le choix de localisation

Les individus non-allergiques présentent également un coût de perte de qualité de vie, dans la mesure où la présence d'ambroisie peut conditionner des contraintes sur le choix d'un logement, d'une profession, dans la prise en charge d'un parent allergique, ou d'un loisir. Aussi, ces individus peuvent subir une perte de bien être, dont la contrepartie économique relèverait d'une DAP afin de se prémunir d'un risque. De telles DAP peuvent être estimées par les évaluations contingentes.

Les individus réagissent à des risques en achetant une assurance (couverture du risque) et réagissent à des affections en achetant un traitement ; il s'agit de réactions visibles et « traçables ». Ces personnes peuvent aussi réagir en prenant des décisions qui les mettent à l'abri de ces risques ou affections. Dans le cas de l'ambroisie, il s'agirait par exemple de déménager pour se relocaliser dans une région moins affectée ou d'éviter de venir habiter en Auvergne-Rhône-Alpes pour éviter le contact avec les pollens d'ambroisie.

³⁰ Voir, entre autres, *Environmental Valuation Reference Inventory* : <https://www.evri.ca/fr>

Contrairement à la valorisation des effets pour l'entourage (qui concernent beaucoup de monde mais de faibles valeurs individuelles), ce type de valeur cachée ne concerne que peu de monde mais est associée à une valeur possiblement importante.

Les choix de localisation peuvent aussi se manifester dans l'industrie touristique. Il est en effet concevable que des personnes allergiques éviteront de se déplacer dans les zones infestées. Cet impact est évoqué dans Bullock *et al.* (2013) mais aucun chiffrage n'est proposé.

Positionnement du groupe de travail

Dans la perspective de définir la valeur des impacts de l'ambroisie, ces différents postes de coûts sont d'intérêt. Actuellement il n'existe pas de DAP relative à l'allergie à l'ambroisie dans la littérature.

5.3 Estimation des coûts dans le domaine agro-environnemental

L'évaluation des impacts agro-environnementaux de l'ambroisie a fait l'objet d'une étude approfondie dans le rapport de Bullock *et al.* (2013). Les auteurs ont cherché à évaluer les impacts générés par l'ambroisie associés à la santé humaine, mais également à la santé animale, à la biodiversité, à l'agriculture ou encore aux environnements sauvages. Deux sources de données ont permis de structurer la réflexion des auteurs :

- Une revue de la littérature ;
- Un questionnaire adressé à des experts nationaux en Europe (Annexe 9).

Les principaux enseignements issus de Bullock *et al.* (2013) sont reportés ici.

5.3.1 Coûts dans le domaine agricole

L'ambroisie représente, dans de nombreux pays européens, une réelle préoccupation au regard de l'activité agricole. La France est particulièrement concernée du fait de la forte présence de la plante et de la place majeure de l'agriculture dans l'occupation du territoire. Cela se constate notamment dans les anciennes régions Rhône-Alpes, Poitou-Charentes, et Bourgogne.

Les impacts agricoles concernent principalement les cultures³¹ et peuvent être définis selon deux types : des impacts directs liés à l'activité productive et des impacts indirects (ou cachés) dus aux choix des exploitants. La dichotomie entre l'approche financière et l'approche économique n'est plus opérante dans ce cadre du fait de l'étude de l'impact de l'ambroisie sur une activité de production, visible au travers de valeurs marchandes³².

De nombreuses cultures sont impactées par la présence d'ambroisie, notamment les cultures de printemps : tournesol, sorgho, maïs, soja, pois et blé/orge d'hiver. Moins fréquemment, voire de manière anecdotique, d'autres cultures sont évoquées : betterave à sucre, tabac, citrouilles, haricots, rouges vigne, pomme de terre, carotte – selon l'audition de l'Observatoire des Ambrosies – FREDON France disponible en Annexe 7 et Bullock *et al.* (2013).

Les données du recueil d'expérience de gestion de l'ambroisie en milieu agricole indiquent que les agriculteurs participants ont, en moyenne, une parcelle sur trois (31%) touchée par l'ambroisie (Sevault, Le Levier, et Mottet 2019). La majorité des parcelles touchées (58%) sont envahies à moins de 10% par l'ambroisie. Il est à noter que ces données proviennent d'un nombre limité de répondants ; il convient donc de considérer ces informations avec précaution. Bullock *et al.* (2013) ont estimé que 4% des terres agricoles seraient concernées par la

³¹ L'EFSA indique que des animaux peuvent être allergiques au pollen d'ambroisie. Mais cet impact reste vraisemblablement mineur (EFSA 2010).

³² L'exploitant agricole, en tant que personne, est bien sûr susceptible d'exprimer des préférences et des DAP pour des impacts non marchands de l'ambroisie.

problématique de l'ambroisie en France. Cela ne préjuge pas des éventuelles disparités départementales. Les mêmes auteurs ont estimé le coût annuel de l'ambroisie dans le domaine agricole (perte de rendement et gestion de l'ambroisie par les agriculteurs) à environ 170 millions d'euros en France.

5.3.1.1 Pertes de rendement

En 2013, Bullock *et al.* indiquaient l'absence de données quantitatives robustes concernant les pertes de rendement par culture occasionnées par l'ambroisie. Au regard de niveaux d'infestation et des conditions pédoclimatiques très variables, ainsi que d'itinéraires techniques sensiblement différents, la transposition de données étrangères au cas français n'apparaît pas pertinente.

Selon l'analyse économique des espèces exotiques envahissantes en France menée par le Commissariat Général au Développement Durable, jusqu'à deux tiers de perte de rendement peuvent être observées sur le tournesol et jusqu'à un tiers sur le soja, le sorgho, et le pois (Wittmann et Flores-Ferrer 2015).

5.3.1.2 Coût de la gestion

Dans une enquête menée par l'Observatoire des Ambrosies auprès d'agriculteurs, les sondés indiquent différents postes de coûts en lien avec la gestion de l'ambroisie (Sevault, Le Levier, et Mottet 2019) : tri des graines (afin d'éviter le transport de graines dans le transport de produit agricole mais aussi par exigence de pureté du produit), incinération des freintes et désherbage manuel. Le coût attribuable à ces différentes pratiques est extrêmement variable, puisqu'il dépend du niveau d'infestation et de l'équipement à disposition. Bullock *et al.* (2013) avaient également identifié ce post de coût mais la diversité des pratiques et la rareté des données écartaient la possibilité d'un chiffrage précis.

5.3.1.3 Choix cultureux sous-optimaux

Dans la mesure où l'ambroisie n'affecte pas toutes les cultures de la même manière, les rapports de rentabilité des cultures s'en trouvent affectés. L'exploitant peut décider d'allouer ses terres à des cultures moins vulnérables à l'ambroisie au sens où la marge de la culture n'est pas autant impactée (voire à d'autres activités agricoles ou non agricoles, ou une déprise). Il est aisé de trouver des conseils de substitution de cultures de printemps (e.g., tournesol) par des cultures d'hiver (e.g., blé) dans une optique de lutte par une stratégie de rupture du cycle naturel de l'ambroisie³³. Ce « second » choix est nécessairement moins rentable pour l'exploitant puisque, sans l'ambroisie, ce dernier aurait préféré la première culture. Cette partie du coût agricole de l'ambroisie est donc difficilement visible et quantifiable. Il faudrait pouvoir connaître les choix qu'aurait faits l'exploitant en l'absence d'ambroisie, ce qui n'est pas une donnée normalement disponible. Cette dimension n'est pas considérée par Bullock *et al.* (2013).

5.3.2 Coûts dans le domaine environnemental

L'ambroisie peut impacter les écosystèmes et la faune. Il n'a pas été recensé d'étude permettant d'établir une quantification monétaire robuste, tant à cause des difficultés méthodologiques à estimer la valeur de services écosystémiques que par la faible documentation du niveau des impacts et de leur distribution à l'échelle du territoire. De manière qualitative, Bullock *et al.* (2013) listent les impacts potentiels de l'ambroisie sur les services écosystémiques (Tableau 20).

³³ Bien que la marge brute moyenne du blé (de l'ordre de 700€/ha) soit supérieure à celle du tournesol (550€/ha), si l'agriculteur avait choisi le tournesol pour une certaine parcelle, on peut supposer que c'est parce que c'était la culture la plus profitable dans ce contexte, ou à tout le moins une culture qui participe d'une rotation.

Tableau 20. Impacts potentiels de l'ambroisie sur les services écosystémiques (Bullock *et al.* 2013)

Service écosystémique	Impacts potentiels	Mécanismes potentiels
1. Nourriture (par exemple : poisson, gibier, fruit)	Oui (cultures, bétail)	
2. Eau (par exemple : de boisson, d'irrigation, de refroidissement)		Modification du couvert végétal
3. Matières premières (par exemple : fibres, bois, fourrage, engrais)	Oui (fourrage), peut-être (fibres)	
4. Ressources génétiques (par exemple : amélioration des cultures)		
5. Ressources médicinales (par exemple : produits biochimiques, organisme modèle)	Oui (si habitats affectés)	
6. Ressources ornementales (par exemple : plantes décoratives, animaux de compagnie, travail artisanal, mode)	Oui (animaux de compagnie), peut-être (travail des artisans, disponibilités des plantes)	
7. Réglementation de la qualité de l'air (par exemple : mesures des poussières ou produits chimiques)	Impacts sur la santé	
8. Régulation du climat (par exemple : piégeage du carbone, influence de la végétation sur les précipitations)		
9. Modération des phénomènes extrêmes (par exemple : protection contre les tempêtes, prévention des inondations)		
10. Régulation des écoulements d'eau (par exemple : drainage naturel, irrigation, prévention des sécheresses)		Modification du couvert végétal
11. Traitement des déchets (notamment assainissement de l'eau)		
12. Prévention de l'érosion		
13. Conservation de la formation et de la fertilisation des sols		
14. Pollinisation		
15. Maitrise biologique (par exemple : dispersion des semences, lutte contre les parasites et les maladies)		
16. Conservation du cycle de vie des espèces migratrices		Modification des habitats naturels
17. Conservation de la diversité génétique (protection du patrimoine génétique)	Oui (si concurrence directe)	
18. Esthétisme		
19. Loisirs et tourisme	Oui (accès limité en raison du risque d'exposition)	Modification des habitats naturels
20. Source d'inspiration (culture, art, design)		
21. Spiritualité	Oui (accès limité en raison du risque d'exposition)	
22. Développement cognitif	Oui (accès à l'apprentissage limité en raison du risque d'exposition)	Modification des habitats naturels

5.4 Les coûts de gestion pour les pouvoirs publics

5.4.1 Coûts de la surveillance et des actions de contrôle de l'ambroisie

Les informations communiquées par Bullock *et al.* (2013) s'appuient sur des travaux relatifs aux stratégies de lutte contre les espèces exotiques envahissantes (Shine *et al.* 2010) et s'inscrivent donc dans une optique dépassant le cas de l'ambroisie.

Shine *et al.* (2010) estiment les coûts de mise en œuvre d'un système d'information et d'alerte précoce au niveau de l'Union Européenne à environ 445 000€ par an par état membre, sur la base d'un sous-échantillon de six pays. 26 000€ supplémentaires par an et par état membre seraient nécessaires pour développer et maintenir une base de données nationale. Les systèmes d'information et d'alerte précoce nationaux indépendants nécessiteraient un budget moyen d'environ 1,35M€ par an et par état membre, sur la base d'un sous-échantillon de huit pays.

Le contrôle du commerce et des mouvements d'origine humaine des espèces exotiques envahissantes est essentiel pour contrôler leur propagation. La mise en place d'un cadre réglementaire de contrôle (i.e. des systèmes de permis d'exploitation soutenus par des conseils scientifiques appropriés et la réalisation d'un certain nombre d'inspections) coûterait entre 2 000€ et 1M€ par an et par état membre selon le niveau d'ambition et 115 000€ par an au niveau de l'Union Européenne pour la coordination et l'administration. Des dispositions devraient être prises pour surveiller et contrôler les espèces exotiques envahissantes introduites involontairement ; le coût (additionnel) associé a été estimé à 115 000€ par an au niveau de l'Union Européenne et environ 203 000€ par an et par État membre (Shine *et al.* 2010).

Les actions de surveillance nationales sont considérées complémentaires aux activités de surveillance et à la collecte de données au niveau de l'Union Européenne. Shine *et al.* (2010) estiment le coût de la mise en place d'un programme national de surveillance régulière à environ 150 000€ par état membre, sur la base des informations disponibles en Grande-Bretagne et en France. Plusieurs systèmes de surveillance existent déjà pour couvrir d'autres besoins législatifs et de recherche (directives Habitats et Oiseaux) et pourraient être adaptés pour inclure la surveillance des espèces exotiques envahissantes, conduisant à des économies de coûts grâce à des économies d'échelle. De plus, Shine *et al.* (2010) estiment que le financement national minimal prévu pour les actions de gestion se situe entre 30 000€ et 360 000€ par espèce par an et par état membre.

L'élaboration d'un plan d'action et de gestion au niveau de l'Union Européenne pour contrôler et gérer une espèce exotique envahissante est estimée à environ 42 000€ par espèce (Shine *et al.* 2010). Dans les cas où des activités nationales ou régionales plus détaillées sont nécessaires, les coûts d'élaboration de ces plans sont estimés entre 4 000€ et 30 000€ par plan de gestion.

5.4.2 Valeur économique d'un plan d'action

Les plans d'actions pour contrôler ou gérer une ou des espèces exotiques envahissantes ont des coûts, mais peuvent également générer des bénéfices. Chaque plan d'action va induire, s'il est efficace, une réduction des impacts de l'ambroisie principalement *via* une lutte directe contre la plante³⁴. Cette réduction des impacts est, par principe, *partielle* car elle n'éradiquera pas complètement l'ambroisie ou ses impacts. Dans certains cas, elle ne réduit même pas l'impact présent mais évite la propagation à de nouveaux territoires.

³⁴ Il est également possible de considérer que le soutien public à la recherche ou aux actions de recherche sont des plans d'action.

Par conséquent, les bénéfices générés par ces plans d'action ne peuvent être qu'une partie des coûts associés aux impacts de l'ambroisie. Il est donc fallacieux de mettre face à face d'une part les impacts totaux de l'ambroisie, comme présentés plus haut, et les coûts d'un plan d'action d'une réduction partielle de ces impacts. Il faudrait, idéalement, pour chaque plan d'action, être en mesure de calculer cette réduction partielle d'impacts et la monétariser pour pouvoir la comparer avec les coûts du plan d'action. Bien que difficile, cet exercice est appliqué dans d'autres domaines en France, dont les politiques d'emploi, mais aussi environnementales, comme en témoigne par exemple le guide méthodologique intitulé « Comment évaluer l'impact des politiques publiques ? » et édité par France Stratégie (Desplat et Ferracci 2016).

Enfin il est nécessaire de prendre en considération les actions d'arrachage / d'éradication / de lutte contre la prolifération de l'ambroisie dans une perspective dynamique. D'un point de vue économique, si une action est efficace et possède un coût au temps t , il faudrait être en mesure d'évaluer l'ensemble des bénéfices économiques qu'elle engendrerait en t , $t+1$, $t+2$..., donc les flux actualisés futurs des divers effets.

5.5 Conclusions

L'estimation du coût des impacts de l'ambroisie repose sur différentes approches méthodologiques : financière (basée sur le prix de marché) ou économique (basée sur la disposition à payer), et sur différents points de vue (individu malade, entourage du malade, Assurance Maladie, agriculteurs...).

Bien que plusieurs rapports institutionnels aient cherché à estimer le coût de l'ambroisie selon des approches diverses, l'ensemble des démarches employées reste perfectible. La principale difficulté réside dans l'incapacité d'alimenter ces modèles d'estimation par des données robustes tant en matière de quantification des impacts que de leur monétarisation.

Pour estimer le coût des impacts, les experts privilégient une optique sociétale, volontairement large, faisant écho aux recommandations du collège des économistes de la santé et du Sénat. Sur un plan méthodologique, cette approche, qualifiée d'économique, vise à s'appuyer sur la disposition à payer plutôt que sur les prix de marché afin d'estimer le coût des impacts de l'ambroisie.

Concernant la monétarisation des impacts sanitaires, l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes a développé l'approche financière la plus aboutie. Selon la dernière estimation réalisée, le coût global de la consommation de soins relative à l'allergie à l'ambroisie est estimé à plus de 40,6 millions d'euros en 2017 dans la région Auvergne-Rhône-Alpes. Cette vision reste cependant restrictive et ne prend en compte qu'une partie des coûts économiques.

L'ambroisie a également des conséquences économiques dans le domaine agricole. Sans pouvoir procéder à une quantification robuste des coûts, il faut noter que la présence d'ambroisie engendre une baisse des rendements, une hausse des coûts de gestion, et des choix culturels sous-optimaux.

6. Estimation et monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoïse en France métropolitaine

6.1 Introduction

6.1.1 Impact sanitaire

Évaluer l'impact sanitaire d'une exposition d'intérêt consiste en l'estimation quantitative d'un risque pour la santé (en termes de prévalence d'une pathologie ou nombre de décès de cause spécifique, par exemple) raisonnablement attribuable à cette exposition. Cette estimation constitue un outil précieux de sensibilisation du grand public et d'aide à la décision en permettant aux parties prenantes de choisir et de planifier des stratégies ou des mesures de gestion dans une optique de protection de la santé des populations. Une évaluation de l'impact sanitaire combine classiquement certaines étapes de l'évaluation des risques : la définition des relations dose-réponse, l'évaluation de l'exposition des populations et la caractérisation des risques sanitaires (InVS 2008, OMS Europe 2000). C'est la littérature issue de la recherche scientifique qui alimente le processus d'évaluation d'un impact sanitaire.

La littérature actuelle fournit de nombreux éléments à l'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe, *via* la description de la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie, généralement dans des populations de patients en allergologie, ou *via* l'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie, généralement par le biais de questionnaires non standardisés (cf. paragraphe 4.2). Ce dernier cas inclut souvent des populations locales ou régionales, souvent déjà concernées par la problématique de l'ambroisie – zones infestées. Au contraire, la sensibilisation allergique à l'ambroisie peut être examinée au sein de populations larges grâce à des outils standardisés simples à mettre en œuvre. Cependant, peu de travaux disposent d'une estimation concomitante de l'exposition au pollen d'ambroisie.

Cette littérature scientifique a d'ores et déjà été exploitée pour évaluer l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe, où la problématique de l'ambroisie est grandissante. Lake *et al.* (2017) ont combiné les données de 35 publications à une modélisation des niveaux annuels de pollens d'ambroisie pour élaborer une relation exposition-risque décrivant la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie et ainsi estimer l'impact sanitaire correspondant dans les régions administratives de l'Europe. Néanmoins, la relation exposition-risque développée par les auteurs montre des limites, tout comme l'évaluation de l'exposition qui a été exploitée (cf. paragraphe 4.2.2.1). Plus récemment, Schaffner *et al.* (2020) ont quant à eux créé des bases de données géo référencées incluant des informations quantitatives de prévalence de la sensibilisation allergique (tous allergènes et ambroisie) afin de procéder à une interpolation spatiale et ainsi cartographier la sensibilisation allergique à l'ambroisie en Europe (cf. paragraphe 4.2.2.2). Les chiffres de l'impact sanitaire de l'ambroisie (exprimé en nombre d'individus sensibilisés à l'ambroisie) obtenus par ces deux analyses sont très différents, reflétant l'hétérogénéité des méthodes mises en place et des données exploitées³⁵. Enfin, Lake *et al.* (2017) et Schaffner *et al.* (2020) ont choisi la sensibilisation allergique à l'ambroisie comme indicateur sanitaire prioritaire car elle est un facteur de risque majeur de la rhinite

³⁵ À titre d'exemple, 1 325 000 personnes seraient sensibilisées à l'ambroisie en France selon Schaffner *et al.* (2020) tandis que Lake *et al.* (2017) estiment ce chiffre à 3 233 000 individus (entre 2 256 000 et 4 210 000).

allergique et de l'asthme. Cependant, la sensibilisation allergique ne présente pas de pertinence clinique systématique (présence de symptômes) pour les individus concernés. Les auteurs ont certes tenté d'estimer la part des individus sensibilisés présentant des symptômes mais la méthode appliquée était simpliste (utilisation d'un facteur de pondération par pays).

Dans le cadre de la présente expertise, le groupe de travail a préféré privilégier la présence d'une allergie à l'ambroisie (ou de symptômes allergiques liés au pollen d'ambroisie) comme indicateur sanitaire d'intérêt. Ce dernier présente en effet une pertinence clinique systématique pour le malade, ce qui le rend particulièrement pertinent dans une optique de quantification de l'impact sanitaire et de monétarisation de cet impact.

Les travaux menés à l'échelle régionale par les ARS, ORS et Atmo Rhône-Alpes puis Auvergne-Rhône-Alpes sont ainsi particulièrement d'intérêt. Les enquêtes téléphoniques mises en place en 2004 et 2014 fournissent une estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie dans trois zones avec différents niveaux d'infestation par la plante (faible, moyen, et fort) (cf. paragraphe 4.2.1.1). Depuis 2007, l'analyse des remboursements de médicaments permet d'estimer cette prévalence sur une échelle bien plus fine (cantons puis communes) (cf. paragraphe 4.2.1.2). En parallèle de ces données de santé, l'Atmo a perfectionné une chaîne de modélisation permettant d'estimer, de manière robuste, les niveaux de pollens d'ambroisie dans l'air ambiant sur le territoire régional (cf. paragraphes 3.3.2.1 et 3.3.4.3). Schaffner *et al.* (2020) ont par ailleurs exploité une partie des données disponibles en région Rhône-Alpes entre 2007 et 2015 – à des fins de comparaison avec leurs estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie (cf. paragraphe 4.2.2.2). La relation exposition-risque ainsi créée utilise néanmoins des données anciennes et aucune indication chiffrée de la performance du modèle de régression et de l'incertitude n'est fournie.

Dans ce contexte, l'objectif de la présente analyse est d'estimer l'impact sanitaire actuel de l'ambroisie à feuille d'armoise, en termes de prévalence de l'allergie à l'ambroisie, dans les EPCI, départements et régions de France métropolitaine. Cette estimation repose sur l'élaboration de plusieurs relations exposition-risque et l'utilisation d'une évaluation existante de l'exposition des populations. Les données françaises disponibles à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes ont été exploitées. Des bornes d'estimation hautes et basses ont été dérivées pour témoigner des incertitudes associées à la méthode et aux données.

À des fins de comparaison avec la littérature proposant une estimation de l'impact sanitaire à l'échelle de l'Europe, une analyse secondaire a été menée pour estimer la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en France métropolitaine – en suivant le même cadre que l'analyse principale.

Contrairement à la demande initiale (cf. paragraphe 1.2), le groupe de travail a préféré ne pas estimer l'impact sanitaire futur de l'ambroisie selon différents scénarios de propagation. Les modélisations futures de l'exposition des populations au pollen présentent en effet de nombreuses limites liées aux modèles écologiques peu fiables et à l'absence de processus de calibration des sorties de modèles. Les incertitudes associées à leur utilisation dans une évaluation d'impact sanitaire (futur) sont donc nombreuses et difficilement quantifiables.

6.1.2 Coûts associés

Les éléments, tant méthodologiques qu'en matière de données qui ont été documentés dans le cadre de cette expertise, permettent d'envisager une traduction économique d'une partie des impacts sanitaires générés par la présence d'ambroisie sur un territoire. Un rappel important s'impose : le présent exercice ne vise pas à établir un coût global de l'ambroisie, mais à exprimer dans une métrique monétaire différentes conséquences. En effet l'estimation des coûts générés peut prendre des dimensions variées au regard des méthodes employées, des impacts considérés ou encore des points de vue adoptés (cf. paragraphe 5.1).

Par ailleurs l'estimation d'un coût économique n'est possible qu'à l'aune de critères devant être vérifiés :

- Disposer de données d'impact, qu'elles soient d'ordre sanitaire (nombre de cas prévalents, DALY) ou autre dans le cadre de l'ambroisie (par exemple, la perte de rendement pour une culture donnée au regard du niveau d'infestation). Il convient d'indiquer que la monétarisation ne prend sens que sur des données quantitatives d'impact pour lesquels un lien de causalité avec l'objet d'étude (ici l'ambroisie) est avéré. En outre, il est parfois nécessaire de disposer de données d'impact à des échelles géographiques fines, bien inférieures à l'échelle nationale. En effet, des approches probabilistes reposant sur la distribution d'un impact apporteront un regard plus éclairant qu'une vision déterministe basée sur un impact moyen.
- Disposer de valeurs économiques de référence. Dans le cadre de l'approche économique (cf. paragraphe 5.1.2), il s'agit de disposition à payer ; dans le cadre de l'approche financière (cf. paragraphe 5.1.1), cela repose sur un prix de marché.

La littérature économique sur les impacts de l'ambroisie s'avère relativement restreinte. Toutefois, plusieurs documents ont pu alimenter la réflexion du groupe de travail, notamment les travaux de Bullock *et al.* (2013) et ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes (2018).

6.2 Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France

6.2.1 Méthodes

La méthode appliquée dans la présente expertise reprend et adapte le cadre général précédemment utilisé par Lake *et al.* (2017) pour l'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe dans le cadre du projet ATOPICA (cf. paragraphe 4.2.2.1) (Figure 105). Cette méthode se fonde en partie sur les grands principes de l'évaluation d'impact sanitaire proposés par l'Organisation Mondiale de la Santé et Santé Publique France (InVS 2008, OMS Europe 2000).

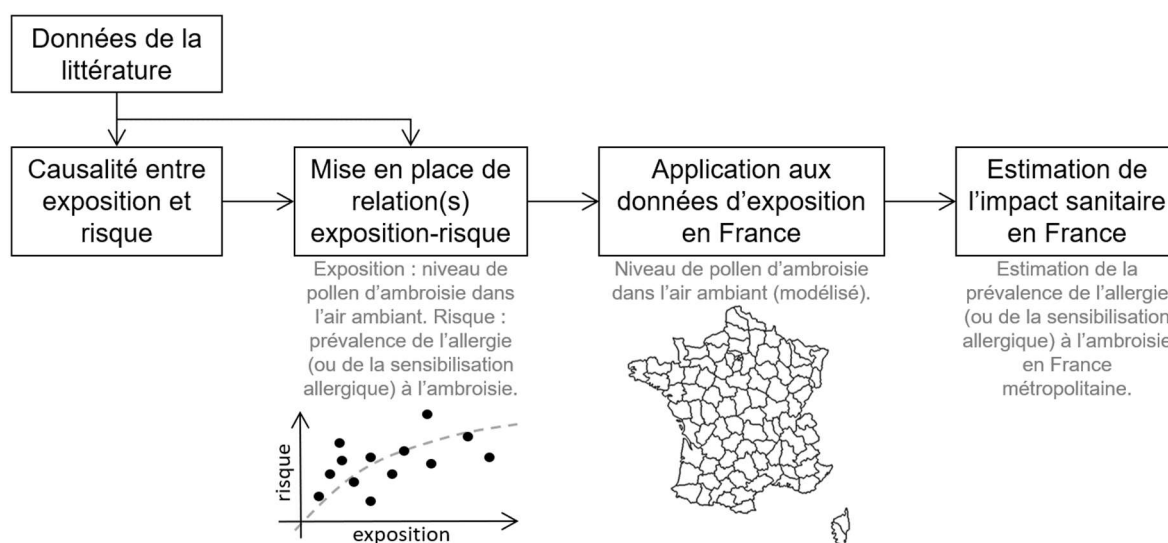


Figure 105. Cadre général d'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France métropolitaine appliqué dans la présente expertise

Les données nécessaires à l'application de cette méthode sont l'estimation de l'exposition dans la population cible et la disponibilité d'une relation exposition-risque. Les termes exposition et risque sont utilisés ici par soucis de simplification – car ils correspondent au vocabulaire habituel des évaluations d'impact sanitaire. Les données disponibles en population ne représentent en effet qu'une approximation de l'exposition à un polluant, souvent par le biais des concentrations dans l'air ambiant. Aussi, dans le cadre des présents travaux, ce n'est pas un risque statistique qui est mis en relation avec l'exposition, mais une prévalence (la proportion en % que représentent les individus malades au sein de la population générale).

Estimer l'impact d'une exposition d'intérêt sur un événement de santé suppose que les preuves scientifiques de la relation de causalité entre ces deux éléments sont suffisamment solides. Le lien de causalité entre l'exposition à un allergène, tel que les pollens d'ambroisie, et l'apparition de l'allergie, en termes de sensibilisation allergique ou de symptômes, est bien démontré, bien que la temporalité de cette marche allergique reste mal connue.

L'indicateur sanitaire d'intérêt dans les présents travaux est l'allergie à l'ambroisie, définie par la présence de symptômes allergiques. Ce choix repose sur plusieurs points. L'allergie à l'ambroisie présente tout d'abord une pertinence clinique directe en lien avec les symptômes et ainsi, le besoin potentiel de prise en charge, la perte de qualité de vie, et la perte de productivité. La disponibilité de telles données de prévalence en France, dans la région Auvergne-Rhône-Alpes (cf. paragraphe 4.2.1.2), soutient également l'utilisation de cet indicateur sanitaire. Enfin, la pertinence clinique qui lui est associée est particulièrement d'intérêt dans une optique d'estimation des coûts, tant pour l'individu que pour la société. Il est à noter que les précédentes estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie à l'échelle de l'Europe considéraient la sensibilisation allergique comme indicateur sanitaire d'intérêt (Lake *et al.* 2017, Schaffner *et al.* 2020). À des fins de comparaison avec cette littérature, la présente expertise inclut également une analyse de sensibilité considérant la sensibilisation allergique.

Les analyses et la gestion des données ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2020) et de plusieurs *packages* (Bivand, Pebesma, et Gomez-Rubio 2013, Hijmans 2020, Müller et Wickham 2020, Pierce 2019, Wickham 2016, Wickham *et al.* 2020).

6.2.1.1 Élaboration des relations exposition-risque

Niveaux modélisés de pollen d'ambroisie et allergie à l'ambroisie : données disponibles en Auvergne-Rhône-Alpes

La prévalence de l'allergie à l'ambroisie dérivée de l'analyse des bases de données médico-administratives en 2017 en Auvergne-Rhône-Alpes a été mise en relation avec la modélisation des niveaux ambiants du pollen d'ambroisie réalisée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur le même territoire et la même année.

Exposition

La chaîne de modélisation des niveaux journaliers du pollen d'ambroisie de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a fait l'objet d'une description dans le présent rapport (cf. paragraphes 3.3.2.1, 3.3.3 et 3.3.4.3 pour les cartographies de distribution de la plante, la paramétrisation des émissions, et la dispersion des pollens). À partir des niveaux journaliers ainsi modélisés, deux indicateurs d'exposition ont été dérivés : le nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie (grains/m³ sur une année) et le nombre de jour annuel avec ≥ 6 grains/m³, c'est-à-dire le nombre de jour avec un RAEP ≥ 3 en région Auvergne-Rhône-Alpes (cf. paragraphe 3.2.2.4). Le premier a été utilisé précédemment dans la littérature et représente un équivalent direct des comptes polliniques annuels issus des stations de mesure, tandis que le second capture une certaine pertinence clinique en incluant la notion de risque allergique. Ces deux indicateurs, initialement disponibles sur une grille de 5 x 5 km, ont été moyennés au sein des contours géographiques des 4 095 communes en Auvergne-Rhône-Alpes. Une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants a ensuite été effectuée pour les deux indicateurs d'exposition afin d'obtenir des valeurs moyennes d'exposition pour chacun des EPCI de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Risque

L'indicateur utilisé est la prévalence (en %, standardisée sur l'âge) de l'allergie à l'ambroisie en 2017 pour 3 513 communes en Auvergne-Rhône-Alpes, valeurs issues de l'exploitation des bases de données médico-administratives détaillée précédemment (cf. paragraphe 4.2.1.2). Brièvement, les individus âgés de 6 à 74 ans allergiques à l'ambroisie ont été identifiés en couplant les remboursements de médicaments dits « traceurs » de l'allergie à la saison pollinique (de juillet à octobre 2017). Une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants a

ensuite été effectuée afin d'obtenir une prévalence moyenne pour chacun des EPCI de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Généralités

Les contours géographiques des communes et des EPCI pour l'année 2017 proviennent de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (Insee). La donnée du nombre d'habitants par communes se base quant à elle sur le recensement 2014 ; les dernières valeurs actualisées (de 2019) ne pouvaient pas être utilisées en raison de la disparition ou de la fusion de certaines communes entre 2017 et 2019. Seuls les individus âgés de 6 à 74 ans ont été inclus dans la pondération sur le nombre d'habitants pour correspondre aux tranches d'âge du calcul de la prévalence. Les EPCI chevauchant les régions voisines n'ont été considérés dans la construction de la relation exposition-risque que si plus de la moitié des communes les composant faisait bien partie de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Aucune indication de la variabilité n'a été considérée à ce stade en raison du nombre de points limité dans certaines communes ou EPCI.

Au total, 175 EPCI en Auvergne-Rhône-Alpes disposaient à la fois de données pour les deux indicateurs d'exposition et pour l'indicateur de risque et ont donc été pris en compte dans l'élaboration de la relation exposition-risque.

Forme de la relation exposition-risque

L'association entre l'exposition (nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie ou nombre de jours avec ≥ 6 grains/m³) et le risque (prévalence de l'allergie à l'ambroisie en %) a été exprimée par deux modèles, log et log-log, générant ainsi quatre options de relations exposition-risque :

- Relation 1) : prévalence en % = $\alpha_1 \cdot \log(\text{nombre de grain total annuel})$;
- Relation 2) : $\log(\text{prévalence en \%}) = \alpha_2 \cdot \log(\text{nombre de grain total annuel})$;
- Relation 3) : prévalence en % = $\alpha_3 \cdot \log(\text{nombre de jours avec } \geq 6 \text{ grains/m}^3)$;
- Relation 4) : $\log(\text{prévalence en \%}) = \alpha_4 \cdot \log(\text{nombre de jours avec } \geq 6 \text{ grains/m}^3)$.

Les présents travaux considèrent ces quatre relations séparément. Il est en effet difficile de déterminer la « meilleure » option, tant en termes de plausibilité biologique qu'en terme statistique. Les modèles (log et log-log) ont tous les deux déjà été utilisés dans la littérature (Jäger 2000, Lake *et al.* 2017, Schaffner *et al.* 2020) et les deux indicateurs d'exposition semblent pertinents. L'utilisation de multiples relations fournit notamment une indication de l'incertitude supplémentaire à celle déjà fournie, de manière plus classique, par les intervalles de confiance des paramètres ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$). Enfin, les relations considérées passent toutes par l'origine, satisfaisant l'hypothèse de causalité entre l'exposition et le risque.

Niveaux ambiants mesurés de pollen d'ambroisie et sensibilisation allergique à l'ambroisie : données de la littérature

Collecte des données

Une revue de la littérature a été conduite pour collecter des données quantitatives de prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie associées à des données quantitatives d'exposition, tels que des comptes polliniques, dans l'objectif de développer une relation exposition-risque³⁶. Les équations de recherche utilisées dans PubMed et Scopus intégraient à la fois des mots clés liés à la notion de risque sanitaire (allergie, rhinite, sensibilisation allergique, etc.) et d'exposition (pollens) (Tableau 21). Au total, 1 053 publications ont pu être identifiées au 18 septembre 2019. Les publications suivantes ont été exclues : études

³⁶ Dans les précédents travaux estimant l'impact sanitaire de l'ambroisie en Europe, seules les données sur la sensibilisation allergique (risque) avaient été recherchées dans la littérature (Lake *et al.* 2017, Schaffner *et al.* 2020).

d'expérimentations animales, essais cliniques randomisés ou assimilés, études *in vitro*, et études expérimentales végétales. Les revues de la littérature ont également été exclues mais les références citées dans ces revues étaient vérifiées. Sur la base du titre et du résumé, 92 références ont été considérées comme pertinentes pour la construction de la relation exposition-risque (c'est-à-dire, disposant à la fois de données sur le risque et sur l'exposition). Cinq publications, préalablement connues du groupe de travail ou issues des revues de la littérature, ont été ajoutées à cette étape.

Tableau 21. Équations de recherche utilisées et nombre de résultats (au 18 septembre 2019)

	Equation	N
Scopus	(TITLE-ABS-KEY(ambrosia OR ragweed) OR INDEXTERMS(ambrosia)) AND (TITLE-ABS-KEY(pollinosis OR allergy OR allergies OR allergic OR asthma OR asthmatic* OR rhinitis OR sensitiz* OR sensitis* OR "hay fever" OR respiratory OR symptoms OR symptom)) AND (TITLE-ABS-KEY(pollen OR pollens) OR INDEXTERMS(pollen)) AND (TITLE-ABS-KEY(load OR loads OR concentration* OR levels* OR count OR counts))	1020
PubMed	(ambrosia[Title/Abstract] OR ragweed[Title/Abstract] OR ambrosia[MeSH]) AND (pollinosis[Title/Abstract] OR allergy[Title/Abstract] OR allergic[Title/Abstract] OR allergies[Title/Abstract] OR asthma[Title/Abstract] OR asthmatic*[Title/Abstract] OR rhinitis[Title/Abstract] OR sensitiz*[Title/Abstract] OR sensitis*[Title/Abstract] OR "hay fever"[Title/Abstract] OR respiratory[Title/Abstract] OR symptoms[Title/Abstract] OR symptom[Title/Abstract]) AND (pollen[Title/Abstract] OR pollens[Title/Abstract] OR pollen[MeSH]) AND (load[Title/Abstract] OR loads[Title/Abstract] OR concentration*[Title/Abstract] OR level*[Title/Abstract] OR count[Title/Abstract] OR counts[Title/Abstract])	450

Après lecture du texte intégral, 37 références ont été retenues comme potentiellement exploitables pour la construction de la relation exposition-risque représentant la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en fonction des niveaux de pollen d'ambroisie dans l'air ambiant. Pour chacune, une grille de lecture détaillée a été complétée : population d'étude, localisation, méthodes, et données quantitatives d'intérêt pour la construction de la relation. La sensibilisation allergique à l'ambroisie était mesurée de manière standardisée dans la majorité des publications, par un test cutané ou un dosage des IgE spécifiques. Bien que toujours spécifique au pollen d'ambroisie, une hétérogénéité importante était observée dans la présentation de l'indicateur « exposition » dans les publications : comptes totaux annuels, comptes journaliers moyens, pic saisonnier, etc. Le compte total annuel (somme des concentrations journalières) de pollen d'ambroisie a été sélectionné comme l'indicateur le plus pertinent pour la construction de la relation exposition-risque ; cette mesure était en effet rapportée par une majorité des publications et est actuellement disponible à grande échelle par le biais de stations de mesures ou de modélisations. Les résultats d'intérêt présentés sous forme de figures ont été transformés en données quantitatives utilisables. Certaines analyses utilisaient des capteurs peu performants, laissant présumer de la faible qualité des mesures obtenues ; ces données ont donc été écartées.

Finalement, 69 données quantitatives ont été extraites de 14 publications pour construire la relation exposition-risque présentant la prévalence (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en fonction du compte total annuel de pollens d'ambroisie (nombre de grains par m³ d'air par an) (Annexe 11). Les informations mutuellement exclusives sur plusieurs localisations, plusieurs populations ou plusieurs périodes de temps disponibles au sein d'une même publication ont été considérées séparément. Les publications examinaient majoritairement des populations européennes composées de « patients », dont la

sensibilisation allergique a été testée lors d'une consultation dans un service d'allergologie ou de pneumologie. Un tel groupe d'individus est non représentatif de la population générale, car déjà symptomatique ou déjà sensibilisé à d'autres allergènes.

Forme de la relation exposition-risque

L'association entre l'exposition (nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m³) et le risque (prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en %) a été exprimée par deux modèles, log et log-log, générant deux options de relations exposition-risque :

- Relation **S1** : prévalence de la sensibilisation allergique en % = $\alpha_{S1} \cdot \log(\text{nombre de grains total annuel})$;
- Relation **S2** : $\log(\text{prévalence de la sensibilisation allergique en \%}) = \alpha_{S2} \cdot \log(\text{nombre de grains total annuel})$.

Comme mentionné précédemment, les présents travaux considèrent ces deux relations en raison de la difficulté à déterminer la « meilleure » option, tant en termes de plausibilité biologique qu'en terme statistique. L'utilisation de multiples relations fournit une indication de l'incertitude supplémentaire à celle déjà fournie par les intervalles de confiance des paramètres (α_{S1} , α_{S2}). Les relations considérées passent toutes par l'origine, satisfaisant ainsi l'hypothèse de causalité entre l'exposition et le risque. Un ajustement sur le type de population d'étude (population générale ou population de patients), tel que proposé par Lake *et al.* (2017), ne modifiait que faiblement les performances statistiques des modèles et les valeurs des paramètres (résultats non présentés).

6.2.1.2 Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France

Pour estimer la prévalence de l'allergie sur l'ensemble du territoire métropolitain, les quatre relations exposition-risque décrites précédemment (1, 2, 3, 4) ont été appliquées aux niveaux de pollen d'ambroisie modélisés par le système SILAM sur la France métropolitaine pour la période 2005-2011, représentant une approximation de l'exposition des populations. Le même exercice a été mené avec les deux relations exposition-risque décrivant la sensibilisation allergique à l'ambroisie (S1, S2).

Au vu des éléments évoqués précédemment (cf. paragraphe 3.3.4), SILAM et Cosmo-Art ont été identifiés comme les modèles fournissant les cartographies des niveaux de pollens d'ambroisie les plus pertinentes et robustes à l'heure actuelle dans une optique d'évaluation de l'impact sanitaire. Le groupe de travail a pu avoir accès aux données SILAM, mises à disposition par le *Finnish Meteorology Institute* (FMI), mais les données Cosmo-Art n'ont pas pu être partagées.

Indicateur de l'exposition des populations au pollen d'ambroisie : niveaux de pollen d'ambroisie modélisés par SILAM en France

La chaîne de modélisation des niveaux de pollen d'ambroisie réalisée par Prank *et al.* (2013) a fait l'objet d'une description détaillée dans le présent rapport. Brièvement, le modèle de dispersion SILAM a été utilisé pour modéliser les concentrations journalières de pollen d'ambroisie dans l'air en Europe sur la période 2005-2011 (cf. paragraphe 3.3.4.2). La paramétrisation des émissions exploitée est tirée des travaux de Helbig *et al.* (2004) (cf. paragraphe 3.3.3). La distribution de la présence d'ambroisie utilisée comme données d'entrées dans le modèle SILAM est tirée des sorties du modèle écologique développé précédemment par Bullock *et al.* (2013) (cf. paragraphe 3.3.2.3). Les modélisations brutes résultantes sur la France, disponibles sur une maille d'environ 22 km, ont été récupérées pour les besoins des présents travaux.

À partir de ces niveaux journaliers bruts modélisés, le nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie a été calculé (somme des niveaux journaliers, en grains/m³) pour chaque année de 2005 à 2011. Cet indicateur d'exposition, créé à partir des données brutes, a ensuite été calibré sur la base des comptes polliniques annuels des pollens d'ambroisie mesurés par le RNSA en stations pour les mêmes années. Les stations opérationnelles pendant toute la

saison pollinique de l'ambroisie pour au moins une année ont été incluses, soit 372 mesures (stations x années) disponibles. Chaque mesure a été mise en correspondance (sur la base des coordonnées géographiques) avec un niveau total annuel en grains/m³ modélisé par SILAM – obtenu après une interpolation spatiale des quatre points plus proches voisins de la station de mesure. Le paramètre du modèle linéaire reliant ces deux valeurs (mesure = 0,45777 x modélisation) a été utilisé comme facteur de calibration des niveaux totaux annuels modélisés par SILAM pour la France. L'erreur quadratique moyenne passe de 350 à 94 grains/m³ après le processus de calibration. Le nombre de jours dans l'année avec ≥6 grains de pollen par m³ a finalement été calculé à partir des niveaux totaux annuels ainsi calibrés.

Ces deux indicateurs calibrés de l'exposition des populations au pollen d'ambroisie sont disponibles pour les sept années calendaires de 2005 à 2011 ; une moyenne annuelle sur la période 2005-2011 a également été dérivée. Initialement disponible sur une grille d'environ 22 km, les valeurs des deux indicateurs ont été moyennées au sein des contours géographiques (de 2017) de 35 287 communes de France métropolitaine³⁷. Les valeurs minimales et maximales au sein des communes ont également été collectées afin de fournir une indication de l'incertitude. Il est à noter que 75% des communes ne se superposaient qu'à 1, 2, ou 3 points de la grille SILAM. Dans le cas des communes de petite surface dont les contours n'incluaient aucun point de la grille, une interpolation spatiale des quatre points voisins a été considérée – sans indication de l'incertitude. Une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants a ensuite été calculée pour chacun des indicateurs et « bornes » afin d'obtenir des valeurs moyennes, minimum et maximum d'exposition au sein de 1 244 EPCI de France métropolitaine³⁸.

Application des relations exposition-risque

L'application des paramètres des quatre relations exposition-risque aux indicateurs d'exposition de la population permet de quantifier la prévalence (en %) de l'allergie à l'ambroisie en France métropolitaine – i.e. estimer l'impact sanitaire de la plante. Chaque EPCI dispose de deux indicateurs d'exposition de la population (nombre total de grains de pollen d'ambroisie par m³ et nombre de jours avec ≥6 grains de pollen par m³) prenant trois valeurs (moyenne, minimum, maximum) sur huit périodes de temps (sept années calendaires de 2005 à 2011 et période 2005-2011). Les paramètres (centraux et bornes inférieure et supérieure) des relations exposition-risque ont été appliqués aux indicateurs d'exposition correspondants. Les résultats quantitatifs obtenus, exprimés en %, ont ensuite été combinés au nombre d'habitants par EPCI (selon recensement 2014) pour estimer le nombre d'individus allergiques à l'ambroisie dans chaque EPCI. Le même exercice a été mené avec les deux relations exposition-risque décrivant la sensibilisation allergique à l'ambroisie.

Les différentes quantifications résultantes fournissent un ordre de grandeur de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France, capturant un ensemble d'incertitudes liées aux estimations de l'exposition et du risque. Ces estimations de l'impact sanitaire sont indépendantes. Les résultats par EPCI (en %) issus de l'application des différentes relations exposition-risque sont présentés séparément. Pour plus de visibilité, les estimations moyennes (issues de l'application des paramètres centraux sur les indicateurs d'exposition moyens par période de temps) sont encadrées des estimations minimales et maximales. Les estimations de l'impact sanitaire aux échelles plus larges (départementale, régionale, et nationale) ont été dérivées par le biais d'une moyenne pondérée sur le nombre d'habitant par EPCI.

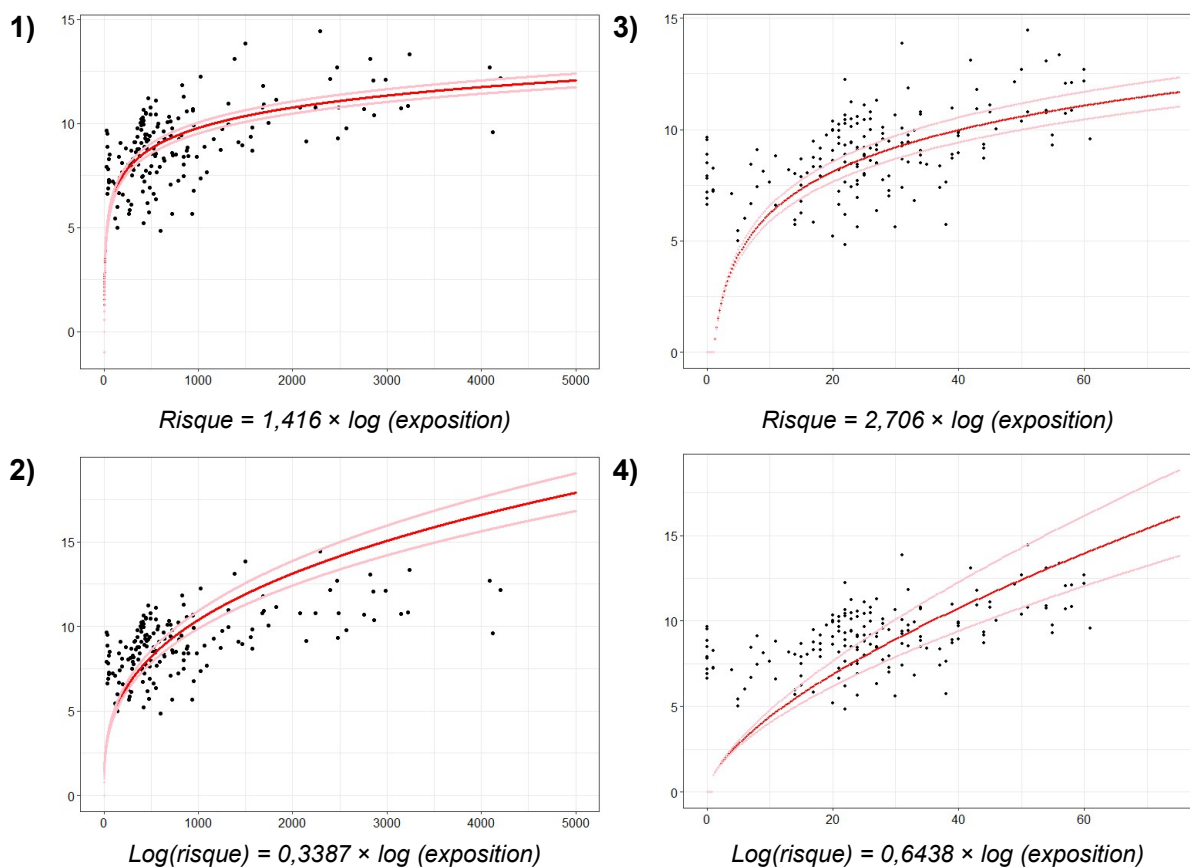
³⁷ Communes en 2017 : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/decoupage-administratif-communal-francais-issu-d-openstreetmap/>

³⁸ EPCI en 2017 : <https://www.collectivites-locales.gouv.fr/cartographie-des-epci-a-fiscalite-propre-recensement-de-la-population-en-2014> ; <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2525755?sommaire=2525768>

6.2.2 Résultats

6.2.2.1 Relations exposition-risque

Les quatre relations exposition-risque (1, 2, 3, et 4) issues des données Françaises exprimant la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie sont visibles en Figure 106. Les modèles s'ajustent aux données de manière similaire, avec des R^2 très élevés – de 0,88 à 0,98. L'erreur quadratique moyenne la plus petite (1,28) s'observe pour la relation 1) considérant une exposition exprimée en nombre total annuel de grains/m³. Aux très faibles valeurs d'exposition, la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (selon remboursements de médicaments) est toujours au-dessus des courbes des modèles.



En ordonnée, risque : prévalence estimée (%) de l'allergie à l'ambroisie (selon remboursements de médicaments antiallergiques sur période juillet-octobre 2017). En abscisse, exposition : nombre total de grains de pollens d'ambroisie /m³ en 2017 (à gauche) et nombre de jours annuel avec ≥ 6 grains/m³ en 2017 (à droite).

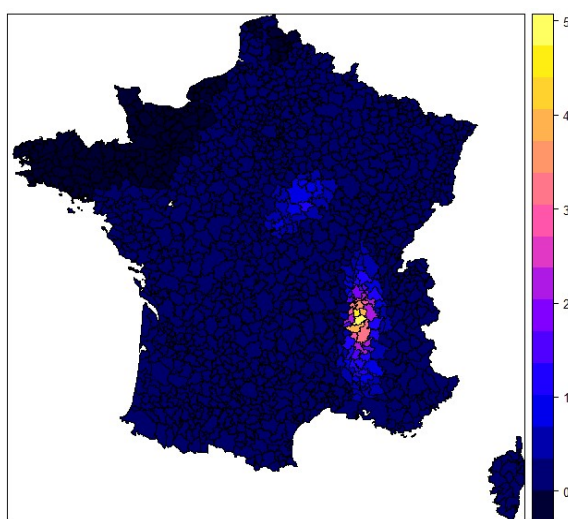
Modélisation centrale (rouge) et intervalle de confiance (rose) de la relation selon un modèle log (en haut) et log-log (en bas). Un point = un établissement public de coopération intercommunale (EPCI).

Figure 106. Relations exposition-risque (1 à 4) dérivées des données Françaises (en Auvergne-Rhône-Alpes) exprimant la prévalence de l'allergie à l'ambroisie (%) en fonction de deux indicateurs d'exposition

Les deux relations exposition-risque S1 et S2 issues des données de la littérature exprimant la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie sont visibles en Annexe 11. Les modèles s'ajustent aux données de manière similaire, avec des R^2 très élevés (0,96 pour le modèle log-log et 0,86 pour le modèle log). Leurs erreurs quadratiques moyennes sont également proches (7,04 et 7,96, respectivement). Lors de l'exclusion des points pour lesquels l'exposition est $\geq 5\,000$ grains/m³ (maximum mesuré périodiquement en Auvergne-Rhône-Alpes), l'erreur quadratique moyenne du modèle log-log diminue légèrement (6,85) tandis que celle du modèle log reste stable (8,02).

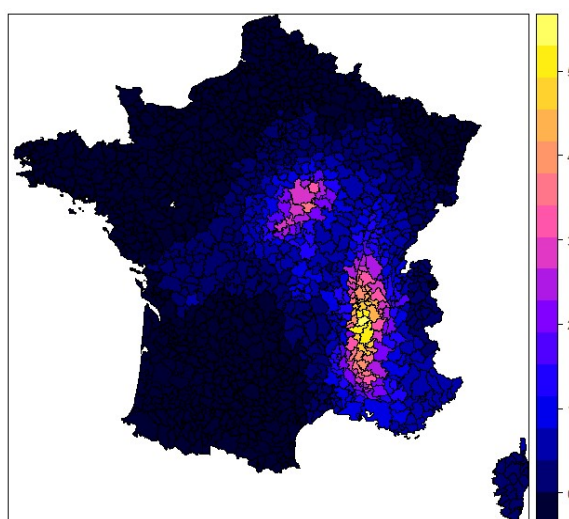
6.2.2.2 Modélisation de l'exposition au pollen d'ambroisie en France

Après calibration des données SILAM, les niveaux annuels de pollen d'ambroisie (moyens sur la période 2005-2011) les plus élevés sont observés sur la région Auvergne-Rhône-Alpes, atteignant 4 700 grains/m³ dans quelques EPCI, suivie des régions Bourgogne-Franche-Comté et Provence-Alpes-Côte-D'azur avec près de 1 100 grains/m³ sur une année (Figure 107). De manière cohérente, le nombre de jours annuel avec ≥ 6 grains/m³ est également très élevé en Auvergne Rhône Alpes, avec une moyenne de 22 jours par an pour la période 2005-2011 (avec un maximum d'environ 50 jours dans certains EPCI de la Drôme) (Figure 108). En France, 88 EPCI comptent plus de 20 jours par an avec ≥ 6 grains/m³ en moyenne sur 2005-2011 : 57 en Auvergne-Rhône-Alpes, 12 en Bourgogne-Franche-Comté et 10 Provence-Alpes-Côte-D'azur. Ces 88 EPCI rassemblent 5 100 000 habitants. L'ensemble de ces données, aux échelles départementale et régionale, est disponible en Annexe 10.



Valeurs annuelles moyennes sur 2005-2011. D'après données calibrées (voir méthodes). En noir : les contours des établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) métropolitains.

Figure 107. Nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m³ modélisé par SILAM pour la période 2005-2011

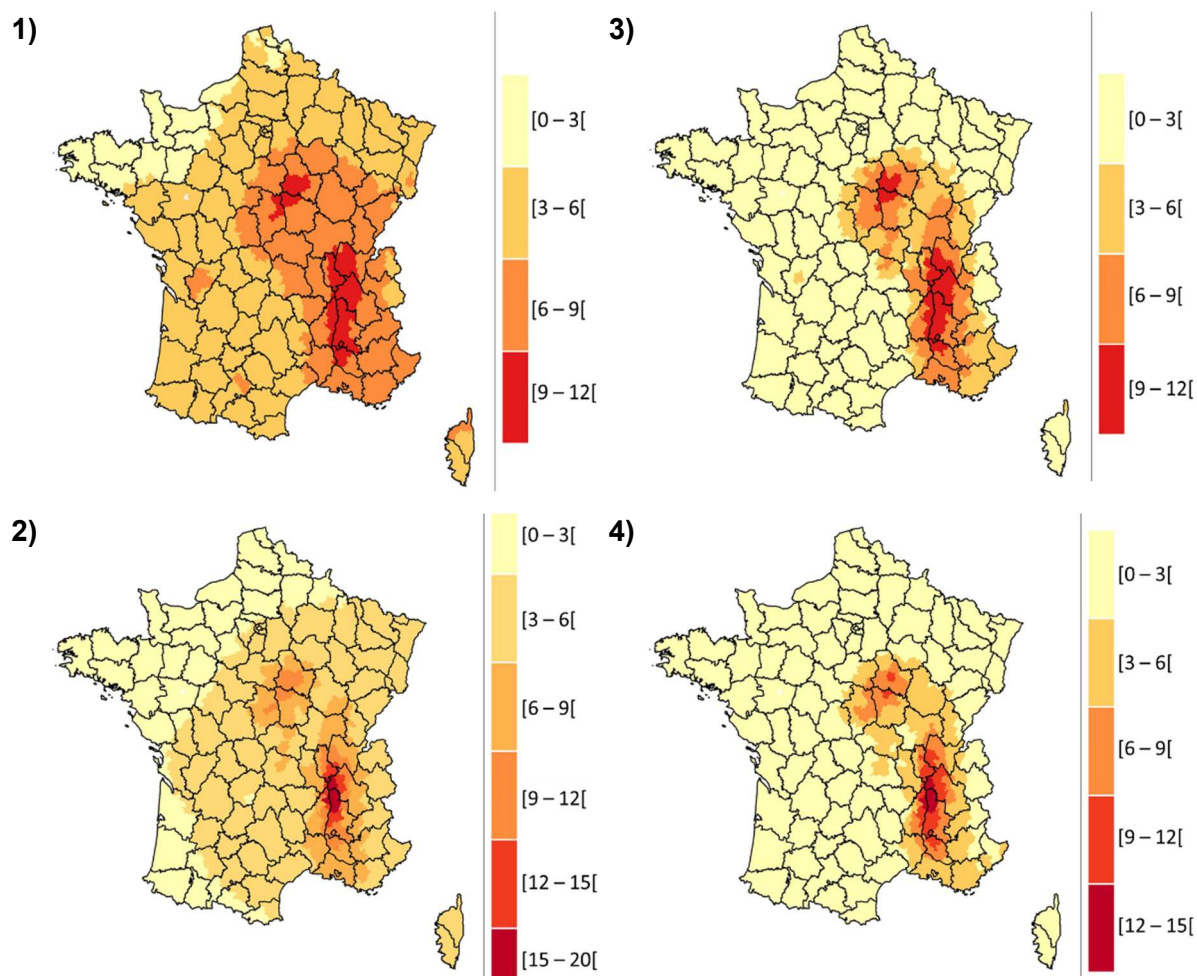


Valeurs annuelles moyennes sur 2005-2011. D'après données calibrées (voir méthodes). En noir : les contours des établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) métropolitains.

Figure 108. Nombre de jours annuel avec ≥ 6 grains de pollens d'ambroisie par m³ modélisé par SILAM pour la période 2005-2011

6.2.2.3 Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France

L'application des relations exposition-risque à l'estimation de l'exposition des populations au pollen d'ambroisie pour la période 2005-2011 indiquent qu'entre 1,71% et 5,38% de la population métropolitaine (estimations centrales) serait allergique à l'ambroisie, soit entre 1 115 000 et 3 504 000 personnes (Figure 109 et Annexe 11). La région Auvergne-Rhône-Alpes est la plus concernée (de 6,82% à 8,90%, soit entre 540 000 et 704 000 personnes) suivies des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur (entre 2,28% et 7,66%), Bourgogne-Franche-Comté (entre 3,89% et 7,32%), et Centre-Val de Loire (entre 1,75% et 5,95%). Une forte hétérogénéité des résultats est observée dans ces régions ainsi que dans les départements les composant (Figure 110 et Annexe 11), reflétant à la fois les différentes relations exposition-risque et la variabilité des indicateurs d'exposition sur ces territoires. Sur la région Auvergne-Rhône-Alpes, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie a été estimée entre 2,08% [min-max : 0,00-5,04%] dans le Cantal et 11,75% [10,27-15,39%] dans la Drôme, en regroupant l'ensemble des relations exposition-risque. Des résultats du même ordre de grandeur sont observés dans certains EPCI d'autres régions. Les régions démontrant les estimations de prévalence les plus basses et les moins incertaines sont la Bretagne, la Normandie, le Pays de la Loire, et les Hauts de France.



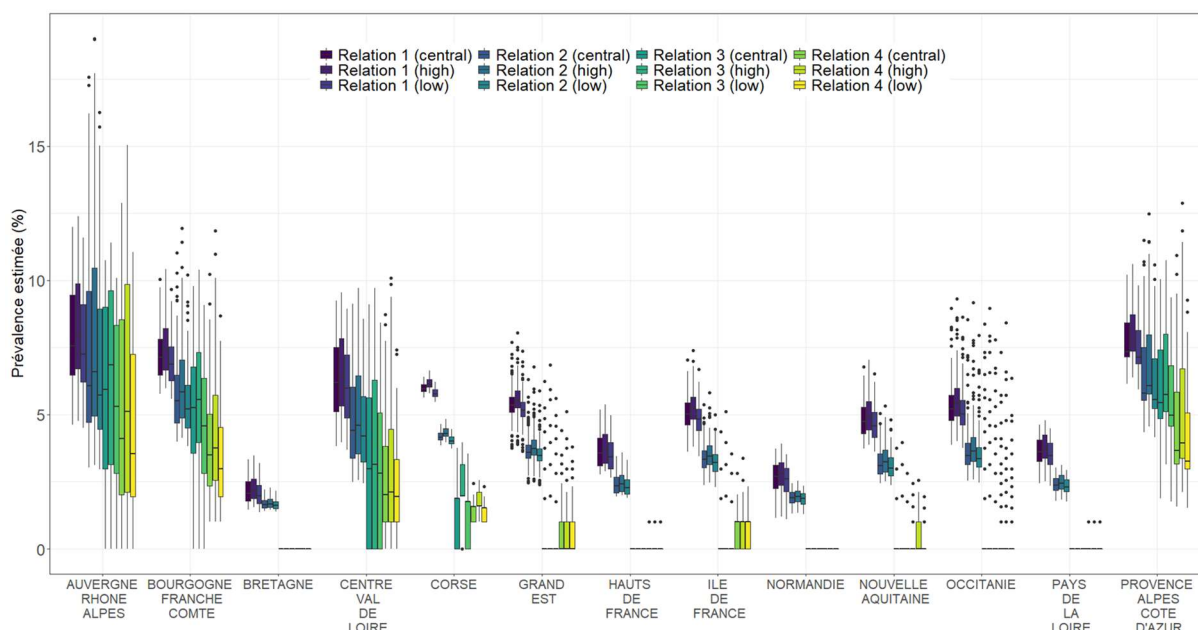
Estimation centrale de la prévalence dans les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) métropolitains. Valeurs issues de l'application des quatre relations exposition-risque sur les données modélisées moyennes de SILAM pour la période 2005-2011. En noir : les contours des départements.

Figure 109. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) en France selon les relations exposition-risque (1 à 4) issues des données françaises

Le choix de l'indicateur d'exposition impacte grandement les résultats. L'utilisation du nombre total annuel de grains par m^3 mène à des estimations supérieures, parfois d'un facteur deux, à celles considérant le nombre de jours avec ≥ 6 grains/ m^3 dans l'année. Aux faibles concentrations, les relations exposition-risque utilisant le modèle log produisent des estimations jusqu'à 50% supérieures à celles utilisant le modèle log-log. Les estimations du modèle log-log sont supérieures dans les EPCI les plus fortement exposés (≥ 800 grains/ m^3 annuel ou plus de 28 jours dans l'année avec ≥ 6 grains/ m^3).

L'application des relations exposition-risque aux données d'exposition pour les années calendaires individualisées, de 2005 à 2011, mène à des résultats très similaires à ceux présentés pour la période 2005-2011.

De 5,8% à 12,5% de la population métropolitaine serait sensibilisée à l'ambroisie, représentant entre 3 787 000 et 8 145 000 individus – estimations centrales. Aucun département métropolitain n'est épargné par la sensibilisation allergique à l'ambroisie. En Auvergne-Rhône-Alpes, près de 20% de la population serait sensibilisée selon les estimations les plus pessimistes ; dans la Drôme, cette valeur atteint 26%.



Valeurs centrales (central), hautes (high) et basses (low) de l'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie selon les 4 relations exposition-risque (1 à 4, visibles en Figure 106) au sein des EPCI de chaque région. La ligne horizontale représente la médiane, la boîte représente les percentiles 25 et 75, les moustaches s'étendent jusqu'à 1,5 x l'interquartile autour de la médiane ou jusqu'au min et max de la distribution ; les points en dehors des moustaches sont considérés comme des valeurs aberrantes. EPCI : établissement public de coopération intercommunale.

Figure 110. Distribution de la prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) dans les EPCI des 11 régions de France métropolitaine selon les relations exposition-risque (1 à 4) issues des données françaises

6.2.3 Discussion

Les présents travaux fournissent, pour la première fois, une estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie à l'échelle de la France métropolitaine. Entre 1 115 000 et 3 504 000 personnes seraient ainsi allergiques à l'ambroisie en France métropolitaine, dont de 540 000 à 704 000 personnes uniquement en Auvergne-Rhône-Alpes. Des disparités importantes sont observées entre départements. La méthode d'estimation de l'impact sanitaire, recommandée et déjà appliquée dans la littérature, est robuste et permet une large transparence sur les hypothèses et incertitudes associées aux résultats. Les données exploitées pour les relations exposition-risque sont françaises et de bonne qualité. Les données de modélisation des niveaux de pollens dans l'air ambiant sont considérées parmi les plus robustes à l'heure actuelle et permettent une estimation de l'impact sanitaire à l'échelle fine des EPCI métropolitains.

6.2.3.1 Forces de la méthode

La méthode utilisée pour estimer l'impact sanitaire de l'ambroisie se base sur un cadre méthodologique précédemment utilisé et recommandé (InVS 2008, Lake *et al.* 2017). Elle a été choisie en raison de sa pertinence, sa transparence, son adaptabilité et son adéquation avec les objectifs, besoins et ressources de la présente expertise. Les incertitudes et hypothèses ont été explicitées tout au long du processus, sont visibles au travers des différentes estimations fournies, et sont discutées dans ce paragraphe (6.2.3). La même méthode a été utilisée de manière homogène sur toute la France métropolitaine, permettant la comparaison des estimations entre territoires. Les échelles spatiales sélectionnées sont pertinentes dans une optique de gestion de l'ambroisie et de ses conséquences sanitaires – EPCI, départements, et régions. Enfin, des données existantes de bonne qualité et spécifiques au contexte français ont été exploitées. Le choix du groupe de travail s'est porté

sur les données de prévalence de l'allergie à l'ambroisie (d'après l'analyse des remboursements de médicaments) disponibles en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017, tant en raison de la pertinence clinique associée – rendant les résultats particulièrement intéressants dans une optique d'estimations des coûts – que de leur exhaustivité et de leur représentativité. La qualité de la modélisation des niveaux de pollens d'ambroisie dans l'air ambiant réalisée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes pour la même année est également entrée en considération dans ce choix.

6.2.3.2 Limites de la méthode et incertitudes associées

Les présentes estimations de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France métropolitaine doivent être interprétées à la lumière de l'ensemble des incertitudes et limites inhérentes à la méthode employée et aux données exploitées.

Relations exposition-risque

Les données de prévalence de l'allergie à l'ambroisie en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017 exploitées pour la construction des relations présentent des limites, précédemment discutées (cf. paragraphe 4.2.1.2). Il est notamment important de reconnaître l'absence d'indication de l'incertitude sur ces données et la présence potentielle de biais de classification menant à une sur- ou sous-estimation du nombre de cas allergiques par communes. L'utilisation des données de prévalence issues des années précédentes (avant 2015) aurait menée à des relations, et donc des estimations de l'impact sanitaire, différentes en raison de l'évolution des bases de données, des méthodes et des résultats sur l'année 2017 (cf. paragraphe 4.2.1.2). De même, l'utilisation des modélisations des niveaux de pollens d'ambroisie dans l'air sur d'autres années calendaires aurait menée à des relations exposition-risque différentes en raison de l'évolution des méthodes et/ou d'éventuelles variations interannuelles (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes 2020). Il serait pertinent, à l'avenir, d'explorer plus précisément les différences et incertitudes liées au choix des données de prévalence et d'exposition dans la création des relations exposition-risque. Ensuite, les quatre relations exposition-risque retenues pour l'estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie sont entourées d'une incertitude statistique, quantifiée par un intervalle de confiance autour d'une estimation centrale. Les utilisations de deux indicateurs de l'exposition au pollen d'ambroisie (nombre total annuel de grains/m³ et nombre de jours avec ≥ 6 grains/m³) et de deux modèles mathématiques (log et log-log) permettent également d'explorer les incertitudes autour de l'élaboration des relations et, donc, de l'estimation de l'impact sanitaire. Enfin, la représentativité et la transposabilité des relations basées sur les données en Auvergne-Rhône-Alpes à la population générale métropolitaine peuvent être remises en question, notamment aux faibles concentrations de pollen d'ambroisie dans l'air. Pour répondre à cette problématique, les modèles mathématiques considérés forcent les relations à passer par l'origine – respectant ainsi l'hypothèse de causalité entre exposition et risque – et permettent d'étudier des comportements différents aux faibles concentrations. De manière similaire, les relations exposition-risque examinant la sensibilisation allergique sont construites sur des données quantitatives de la littérature, majoritairement obtenues dans des populations de « patients » déjà sensibilisés ou symptomatiques, non représentatives de la population générale. Un ajustement sur le type de population (générale vs. patients) ne changerait que peu les paramètres et performances des modèles, vraisemblablement à cause du faible nombre de publications examinant la population générale. La prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie estimée sur le territoire métropolitain est ainsi probablement surestimée dans les présents travaux.

Application des relations à la France métropolitaine et estimation de l'impact sanitaire

Les limites et incertitudes des modélisations issues du système SILAM (réalisées par le FMI) pour la période 2005-2011, utilisées pour l'application des relations exposition-risque, ont en partie été discutées précédemment (cf. paragraphe 3.3.4.2). Pour diminuer les erreurs, les modélisations brutes collectées pour les présents travaux ont été spécifiquement calibrées,

dans la présente expertise, sur des données mesurées en stations par le RNSA pour la même période. Une fois calibrées, les estimations des niveaux ambiants de pollen d'ambroisie issues du système SILAM étaient fortement corrélées aux estimations obtenues par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes après dérivation des moyennes pondérées par EPCI sur ce territoire (coefficient de corrélation $\rho_{\text{spearman}} = 0,83$), mais les estimations Atmo étaient supérieures à celles du système SILAM (en moyenne, +222 grains par m^3 par an) dans 80% des EPCI de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Cet écart peut s'expliquer par la potentielle augmentation du niveau d'infestation de la plante et, par conséquent, des niveaux de pollens dans l'air, entre les deux périodes de temps considérées (2005-2011 et 2017). Des variations interannuelles pourraient également être à l'origine de cette différence, comme l'illustre l'évolution des cartographies obtenues par Atmo entre 2016 et 2019 (Atmo Auvergne-Rhône-Alpes 2020). Il est probable que ces différences et variations mènent à une sur- ou sous-estimation, difficilement quantifiable, de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France. De manière générale, une indication quantitative de l'incertitude (bornes minimum et maximum au sein des communes) a été considérée autour des indicateurs d'exposition dérivés des modélisations SILAM et vient s'ajouter à celle proposée autour des relations exposition-risque. Dans une optique d'exploration des incertitudes, il aurait été intéressant d'utiliser plusieurs modélisations de l'exposition des populations et de comparer les résultats des estimations d'impact sanitaire, comme précédemment fait par Lake *et al.* (2017). De plus, les modélisations exploitées pour l'élaboration et l'application des relations exposition-risque ont été traitées de manière similaire afin d'assurer une certaine cohérence – *i.e.*, moyennes par communes à partir d'une grille homogène, moyennes par EPCI pondérées sur le nombre d'habitants par communes, et création des deux indicateurs d'exposition des populations. Le seuil de ≥ 6 grains/ m^3 (à partir duquel les individus allergiques à l'ambroisie manifestent généralement des symptômes) a été considéré sur tout le territoire métropolitain afin, là encore, d'assurer une cohérence entre l'élaboration et l'application des relations exposition-risque. Bien que cette valeur seuil soit supposée différente selon le degré d'infestation de la zone par l'ambroisie (cf. paragraphe 3.2.2.4), l'utilisation du seuil le plus strict permet de considérer un certain principe de précaution mais mène probablement à une surestimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie dans les zones peu ou pas infestées. Il serait pertinent d'explorer les incertitudes liées au choix de cette valeur seuil à l'avenir.

Généralités

C'est une unité spatiale (communes, EPCI, etc.), et non individuelle, qui est considérée pour l'évaluation de l'impact sanitaire. Il est ainsi fait l'hypothèse que les habitants d'une même unité spatiale sont exposés de la même manière et que cette exposition correspond aux niveaux modélisés de pollens d'ambroisie dans l'air ambiant. Les résultats obtenus ne représentent pas un risque individuel, mais bien une proportion de la population éventuellement concernée par un événement sanitaire d'intérêt en lien avec une exposition d'intérêt. Aucun facteur individuel n'a été considéré tout au long de l'analyse, bien que les taux de prévalence de l'allergie à l'ambroisie en 2017 en Auvergne-Rhône-Alpes, exploités pour la relation exposition-risque, étaient standardisés sur l'âge et incluaient uniquement les individus âgés de 6 à 74 ans. Les informations démographiques utilisées par la suite considéraient cependant l'ensemble de la population (recensement) et ne distinguaient pas ces tranches d'âge. L'utilisation de telles données pour les calculs des moyennes pondérées et du nombre d'individus allergiques ou sensibilisés à l'ambroisie a ainsi mené à une surestimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie.

6.2.3.3 Comparaison des résultats et des méthodes avec la littérature

L'hétérogénéité des données, des populations, et des méthodes au sein de la littérature rend la comparaison des résultats difficile entre les publications. Dans la suite, cette comparaison considère la littérature s'intéressant aux villes et régions (échelles locales) puis la littérature considérant une échelle Européenne (incluant la France métropolitaine).

Prévalence de l'allergie à l'ambroisie à l'échelle locale

La présente expertise estime qu'entre 6,8% et 8,9% de la population en Auvergne-Rhône-Alpes serait allergique à l'ambroisie, atteignant 17,6% dans certains EPCI. De manière cohérente, une enquête téléphonique en 2014 estimait la prévalence de l'allergie à l'ambroisie entre 8,9% et 21,0% selon le niveau d'infestation par la plante sur la région Rhône-Alpes (cf. paragraphe 4.2.1.1). Pour des niveaux de pollens similaires à ceux modélisés en Auvergne-Rhône-Alpes, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie a été estimée localement à 19,9% en Nouvelle Galle du sud en Australie (Bass *et al.* 2000) et entre 4,7% et 9,4% chez des enfants de 10 ans dans plusieurs villes de Hongrie (Vörös *et al.* 2018). Au Nord de l'Italie en 2015, Ariano *et al.* (2015) ont estimé qu'entre 8,2% et 35,4% des « patients » venant consulter en allergologie seraient allergiques à l'ambroisie, selon un gradient d'exposition au pollen ; ces chiffres sont supérieurs à ceux estimés par la présente analyse car la population examinée (« patients ») n'est pas représentative de la population générale. Dans le cadre d'une analyse de sensibilité, Schaffner *et al.* (2020) estimaient quant à eux à 2,9% la prévalence de cette allergie sur la région Rhône-Alpes³⁹, chiffre bien inférieur à ceux obtenus dans la présente expertise pour cette même zone (entre 7,1% et 9,1%), malgré une source de données similaire : les analyses des remboursements de médicaments – sur les années 2007 à 2015 et 2017, respectivement. L'évolution des bases de données et des méthodes (et donc des résultats) sur l'année 2017 est très probablement à l'origine de ces différences, au même titre que l'utilisation de différentes modélisations des niveaux de pollens d'ambroisie dans l'air (cf. paragraphe 4.2.1.2).

Prévalence de l'allergie à l'ambroisie à l'échelle nationale

Entre 1 114 000 et 3 504 000 individus seraient allergiques à l'ambroisie en France métropolitaine selon les présentes estimations centrales. Ces chiffres coïncident avec ceux de Lake *et al.* (2017) mais sont supérieurs à ceux proposés par Schaffner *et al.* (2020) (Tableau 22). Plusieurs points peuvent expliquer les différences observées entre ces estimations à grande échelle de l'impact sanitaire de l'ambroisie, notamment les sources des données et la méthodologie appliquée (Tableau 22) ; certains de ces points sont détaillés ici. Dans la présente expertise, pour estimer l'impact sanitaire de l'ambroisie en France, l'utilisation de données françaises spécifiques a été privilégiée afin d'améliorer la représentativité des relations exposition-risque. Pour un domaine d'étude large et non spécifique, tel que l'Europe, l'utilisation de la littérature scientifique est probablement l'option la plus pertinente, d'ailleurs choisie par Lake *et al.* (2017) et Schaffner *et al.* (2020). La prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie y est bien documentée, permettant aux auteurs de récupérer les informations quantitatives nécessaires à l'application de leur méthodologie respective pour estimer l'impact sanitaire de l'ambroisie. L'allergie à l'ambroisie n'y était qu'une analyse secondaire ; les chiffres correspondants ont d'ailleurs été dérivés de manière simple – en appliquant un facteur de pondération unique par pays, sans indication d'incertitude ou de variabilité, représentant la proportion d'individus sensibilisés à l'ambroisie et démontrant des symptômes d'allergie à l'ambroisie. Grâce aux données disponibles en France, la présente expertise fournit une estimation directe de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie comme indicateur de l'impact sanitaire de la plante sur le territoire métropolitain, intégrant ainsi la notion de pertinence clinique. Enfin, bien que les objectifs et données aient été différentes, la méthodologie mise en œuvre dans la présente expertise et dans les travaux de Lake *et al.* constitue le cadre classique des évaluations d'impact sanitaire (InVS 2008, OMS Europe 2000). Elle permet la prise en compte et l'explicitation de nombreuses incertitudes et limites, notamment par le biais d'indicateurs statistiques et la considération parallèle des options possibles – telles que différentes relations exposition-risque. L'approche adoptée par

³⁹ Ancienne région Rhône-Alpes (avant 2015) composée de 8 départements : Ain (01), Ardèche (07), Drôme (26), Isère (38), Loire (42), Rhône (69), Savoie (73), Haute-Savoie (74). Sur ces mêmes départements, la présente analyse estime

Schaffner *et al.* (construction de bases de données géo référencées et interpolation spatiale) était quant à elle peu documentée dans la publication, tout comme les limites et incertitudes autour des résultats obtenus.

Prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie à l'échelle locale

Localement, selon la présente expertise, aucun EPCI ne serait épargné par la sensibilisation allergique à l'ambroisie, avec des estimations minimales d'environ 1,5% en Normandie et Bretagne. Cela s'explique par la présence systématique (prédite) de quelques grains de pollens d'ambroisie dans l'air ambiant, avec par exemple 2 à 5 grains/m³ par an dans certains EPCI de Normandie et Bretagne. Au sein de l'étude européenne sur la santé respiratoire (ECRHS), incluant quatre villes françaises, la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en population générale a été estimée entre 0,2% (Bordeaux) et 1,8% (Montpellier), en dessous des estimations obtenues dans la présente expertise pour les EPCI correspondants (3,5-10,0% et 6,0-14,5%, respectivement) (Bousquet *et al.* 2007). Comme évoqué plus haut, la relation exposition-risque élaborée ici est non représentative de la situation en population générale, menant très certainement à une surestimation. Les estimations de la présente expertise pour le département de l'Hérault (de 5,6-13,8%) sont notamment cohérentes avec l'analyse de Heinzerling *et al.* (2009) pour la ville de Montpellier, qui rapportent une prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie d'environ 9,0% chez des « patients ».

Prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en France

Entre 3 787 000 et 8 145 000 personnes seraient sensibilisées à l'ambroisie en France selon les estimations centrales de la présente expertise, chiffres supérieurs à ceux rapportés par Lake *et al.* (2017) et Schaffner *et al.* (2020) pour la France (Tableau 22). Les incertitudes autour des résultats de Lake *et al.* sont cependant très larges, en lien avec la modélisation des niveaux de pollens d'ambroisie choisie et la large incertitude statistique autour de la relation exposition-risque – par exemple, de 41 000 à 6 228 000 personnes seraient aujourd'hui sensibilisées à l'ambroisie selon les modélisations du système CHIMERE (cf. paragraphe 4.2.2.1). Les estimations de la présente expertise, tout comme celles de Lake *et al.*, surestiment probablement la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie car les données quantitatives exploitées sont, en grande partie, issues de populations de « patients », déjà symptomatiques ou déjà sensibilisés à d'autres allergènes. Les estimations obtenues par Schaffner *et al.* peuvent ainsi être considérées plus représentatives de la population générale, grâce à la combinaison de deux bases de données – l'une décrivant la sensibilisation allergique en population générale, l'autre décrivant la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans une population déjà sensibilisée.

6.2.3.1 Conclusions

Les présents travaux proposent, pour la première fois, une estimation de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie à l'échelle de la France métropolitaine ; le cadre méthodologique proposé est transposable à d'autres analyses d'impact sanitaire. L'allergie à l'ambroisie est un indicateur sanitaire particulièrement intéressant dans une optique d'évaluation de l'impact sanitaire en population générale et des coûts associés à cet impact, en raison de la pertinence clinique qui lui est associée.

Les conséquences sanitaires de l'ambroisie ne se limitent pas à la seule région Auvergne-Rhône-Alpes (historiquement la plus infestée) mais s'observent sur de nombreux départements de front. De manière générale, l'augmentation de cet impact sanitaire, et donc des coûts associés, est attendue à moyen et long terme, en lien notamment avec la propagation de l'ambroisie dans des zones aujourd'hui peu ou pas infestées – exposant de fait de nouvelles populations. Cela souligne l'importance d'adopter des mesures de lutte et de gestion sur ces territoires afin de limiter la propagation de l'ambroisie.

Tableau 22. Comparaison des données exploitées et des méthodes mises en place dans trois analyses d'impact sanitaire de l'ambroisie

	Présente expertise – France métropolitaine	Lake <i>et al.</i> (2017) – Europe (incluant France métropolitaine)	Schaffner <i>et al.</i> (2020) – Europe (incluant France métropolitaine)
Cadre	Mise en place et application de plusieurs relations exposition-risque	Mise en place et application d'une relation exposition-risque	Interpolation spatiale de données géo référencées
Sources	Littérature + rapports institutionnels Français	Littérature	Littérature + rapports institutionnels Français
Indicateur sanitaire principal	Prévalence (%) de l'allergie à l'ambroisie par EPCI, départements, et régions de France métropolitaine	Prévalence (%) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie par unités territoriales statistiques en Europe (Eurostat 2018)	Prévalence (%) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie sur une grille continue de 10 km en Europe
Méthodes et sources de données (analyse principale)	<u>Relations exposition-risque</u> : •Prévalence allergie à l'ambroisie, analyse des données de remboursements de médicaments, 2017, Auvergne-Rhône-Alpes (ORS et ARS Auvergne-Rhône-Alpes 2018) •Modélisation des niveaux ambiants de pollens d'ambroisie, 2017, Auvergne-Rhône-Alpes, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (Guillaud 2017)	<u>Relation exposition-risque</u> : •Prévalence sensibilisation allergique à l'ambroisie, données quantitatives de la littérature scientifique européenne •Modélisation des niveaux ambiants de pollens d'ambroisie en Europe, 1986–2005, systèmes de modélisation CHIMERE et RegCM (Hamaoui-Laguel <i>et al.</i> 2015)	<u>Bases de données géo référencées et interpolation spatiale</u> : •Prévalence sensibilisation allergique tous allergènes en population générale, données quantitatives de la littérature scientifique européenne •Prévalence sensibilisation allergique à l'ambroisie dans population sensibilisée, données quantitatives de la littérature scientifique européenne
	<u>Application des relations</u> : modélisation des niveaux ambiants de pollens d'ambroisie, 2005-2011, France métropolitaine, système de modélisation SILAM (Prank <i>et al.</i> 2013)	<u>Application de la relation</u> : modélisation des niveaux ambiants de pollens d'ambroisie en Europe, 1986–2005, systèmes de modélisation CHIMERE et RegCM (Hamaoui-Laguel <i>et al.</i> 2015)	
	<u>Démographie</u> : nombre d'habitants par communes de France métropolitaine, recensement 2014, INSEE	<u>Démographie</u> : nombre d'habitants par unités territoriales statistiques en Europe (Eurostat 2018)	<u>Démographie</u> : nombre d'habitants par maille de 10 km en Europe (Center for International Earth Science Information Network 2016)
Analyse secondaire ou de sensibilité	Prévalence sensibilisation allergique à l'ambroisie en France métropolitaine (cadre méthodologique similaire, données quantitatives de la littérature)	Prévalence allergie à l'ambroisie en Europe (proportion fixe parmi les individus sensibilisés par pays)	Prévalence allergie à l'ambroisie en Europe (proportion fixe parmi les individus sensibilisés par pays) + comparaison avec analyses médico-administratives à l'échelle Rhône-Alpes
Résultats (France métropolitaine)	•Entre 3 787 000 et 8 145 000 individus sensibilisés à l'ambroisie •Entre 1 114 000 et 3 504 000 individus allergiques à l'ambroisie	•Entre 2 256 000 et 4 210 000 individus sensibilisés à l'ambroisie •Entre 1 128 000 et 2 105 000 individus allergiques à l'ambroisie	•1 325 000 individus sensibilisés à l'ambroisie •807 000 individus allergiques à l'ambroisie

Analyse détaillée de Lake *et al.* (2017) en paragraphe 4.2.2.1. Analyse détaillée de Schaffner *et al.* (2020) en paragraphe 4.2.2.2. Abréviations : ARS : Agence Régionale de Santé ; INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques ; EPCI : établissement public de coopération intercommunale ; ORS : Observatoire Régional de Santé.

6.3 Monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France

6.3.1 Méthodes

La méthodologie développée pour estimer les coûts imputables à l'ambroisie pour la Société est présentée en détail dans le chapitre 5 ; le Tableau 19 indique l'ensemble des coûts identifiés. Comme précisé précédemment (cf. paragraphe 5.1), il est nécessaire de s'assurer de la pertinence théorique d'une approche et de la disponibilité des données afin d'envisager une estimation monétaire (Tableau 23). Au regard du champ de la présente expertise, les coûts dans les domaines agricole et environnemental sont mentionnés ici mais ne font pas l'objet d'un développement sur le plan méthodologique.

Tableau 23. Pertinence théorique et disponibilité des données dans la perspective de monétariser les impacts générés par l'ambroisie

	Coût considéré	Approche économique		Approche financière	
		Adéquation théorique	Faisabilité au regard des données disponibles	Adéquation théorique	Faisabilité au regard des données disponibles
Santé humaine	Prise en charge	✓	✗	✓	✓
	Pertes de production	✓	✗	✓	✓
	Qualité de vie	✓	✓	✗	✗
	Choix de localisation	✓	✗	✗	✗
	Entourage du malade - empathie	✓	✗	✗	✗
	Population exposée et non allergique - valeur du risque	✓	✗	✗	✗
Agriculture	Pertes de rendement	✓	!	✓	!
	Coût de gestion	✓	!	✓	!
	Choix culturaux sous optimaux	✓	✗	✓	✗
Faune, flore sauvages	Pertes de services écosystémiques	✓	✗	✗	✗

✓ = pertinent/disponible ; ✗ = non-pertinent/indisponible ; ! = données produites de faible qualité.

Ainsi, ne seront estimés que les postes pour lesquels cette double validation est rencontrée :

- Coût de la prise en charge (dans le cadre d'une approche financière) :

$$\text{Coût de la prise en charge (annuel)} = n \times 53\text{€}$$

Avec :

- n : prévalence (effectif) ;
- 53€ : coût moyen de la prise en charge des soins sur une année (en € courant de 2017).

- Coût des pertes de production (dans le cadre d'une approche financière) :

$$\text{Coût de la perte de production (annuel)} = n \times 8,60\text{€}$$

Avec :

- n : prévalence (effectif) ;

- 8,60€ : coût moyen de la prise en charge des arrêts de travail (en € courant de 2017).
- Coût des pertes de qualité de vie (dans le cadre d'une approche économique)

$$\text{Coût de la perte de qualité de vie} = n \times \vartheta \times \frac{\beta}{365} \times 115\,000\text{€}$$

Avec :

- n : prévalence (effectif) ;
- ϑ : l'écart entre une qualité de vie optimale, égale à 1, et la qualité de vie présentée pour la pathologie étudiée ;
- β : durée en jour de la pathologie i.e., le nombre de jour dans l'année où le Risque Allergique lié à l'Exposition au Pollen d'ambroisie (RAEP) est ≥ 3 (cf. paragraphe 3.2.2.4).

Les données de prévalence utilisées sont celles générées à l'étape précédente émanant des quatre options d'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie (cf. paragraphe 6.2). Ainsi, 12 valeurs monétaires ont été établies.

6.3.2 Résultats

6.3.2.1 Estimation des coûts générés par l'ambroisie

Trois séries de résultats sont produites dans le cadre de l'évaluation économique. Dans un souci de lisibilité, les Tableau 24, Tableau 25 et Tableau 26 présentent des estimations chiffrées à une échelle régionale, dans une optique annuelle, concernant respectivement le coût de la prise en charge des soins, le coût de prise en charge des arrêts de travail, et le coût des pertes de qualité de vie. Des données économiques plus fines, à l'échelle départementale, sont disponibles en Annexe 12.

Tableau 24. Coût estimé annuel (en €) associé à la prise en charge des soins liés à l'allergie à l'ambroisie par régions métropolitaines

	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
Île-de-France	32 186 000 €	21 349 000 €	535 000 €	5 561 000 €
Centre-Val de Loire	8 278 000 €	6 094 000 €	2 999 000 €	2 452 000 €
Bourgogne-Franche-Comté	11 260 000 €	9 129 000 €	7 622 000 €	5 982 000 €
Normandie	4 741 000 €	3 412 000 €	0 €	0 €
Hauts-de-France	10 703 000 €	7 195 000 €	0 €	82 852 €
Grand Est	16 172 000 €	10 985 000 €	999 000 €	1 177 000 €
Pays de la Loire	7 085 000 €	4 678 000 €	0 €	9 000 €
Bretagne	3 885 000 €	3 025 000 €	0 €	0 €
Nouvelle-Aquitaine	15 176 000 €	10 092 000 €	539 000 €	1 010 000 €
Occitanie	17 650 000 €	12 463 000 €	2 831 000 €	2 302 000 €
Auvergne-Rhône-Alpes	36 750 000 €	37 303 000 €	30 403 000 €	28 610 000 €
Provence-Alpes-Côte d'Azur	20 794 000 €	17 196 000 €	15 971 000 €	11 612 000 €
Corse	1 042 000 €	728 000 €	307 000 €	273 000 €
TOTAL	185 722 000 €	143 650 000 €	62 207 000 €	59 070 000 €

Chiffres obtenus à partir de l'estimation de l'impact sanitaire détaillée dans le paragraphe 6.2.

Tableau 25. Coût estimé annuel (en €) associé à la prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie par régions métropolitaines

	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
Île-de-France	5 223 000 €	3 464 000 €	87 000 €	902 000 €
Centre-Val de Loire	1 343 00 €	989 000 €	487 000 €	398 000 €
Bourgogne-Franche-Comté	1 827 000 €	1 481 000 €	1 237 000 €	971 000 €
Normandie	769 000 €	554 000 €	0 €	0 €
Hauts-de-France	1 737 000 €	1 168 000 €	0 €	13 000 €
Grand Est	2 624 000 €	1 782 000 €	162 000 €	191 000 €
Pays de la Loire	1 150 000 €	759 000 €	0 €	1 000 €
Bretagne	630 000 €	491 000 €	0 €	0 €
Nouvelle-Aquitaine	2 463 000 €	1 638 000 €	88 000 €	164 000 €
Occitanie	2 864 000 €	2 022 000 €	459 000 €	373 000 €
Auvergne-Rhône-Alpes	5 963 000 €	6 053 000 €	4 933 000 €	4 642 000 €
Provence-Alpes-Côte d'Azur	3 374 000 €	2 790 000 €	2 592 000 €	1 884 000 €
Corse	169 000 €	118 000 €	50 000 €	44 000 €
TOTAL	30 136 000 €	23 309 000 €	10 094 000 €	9 585 000 €

Chiffres obtenus à partir de l'estimation de l'impact sanitaire détaillée dans le paragraphe 6.2.

Tableau 26. Coût estimé annuel (en €) associé à la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie par régions métropolitaines

	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
Île-de-France	8 775 000 €	5 871 000 €	420 000 €	1 842 000 €
Centre-Val de Loire	11 798 000€	10 117 000 €	8 985 000 €	7 106 000 €
Bourgogne-Franche-Comté	34 624 000 €	30 616 000 €	29 371 000 €	23 992 000 €
Normandie	0 €	0 €	0 €	0 €
Hauts-de-France	117 000€	77 000€	0 €	25 000 €
Grand Est	3 034 000 €	2 199 000 €	1 275 000 €	1 003 000 €
Pays de la Loire	12 000 €	8 000 €	0 €	3 000 €
Bretagne	0 €	0 €	0 €	0 €
Nouvelle-Aquitaine	2 091 000 €	1 468 000 €	522 000 €	546 000 €
Occitanie	10 398 000 €	8 627 000 €	7 684 000 €	5 879 000 €
Auvergne-Rhône-Alpes	279 043 000 €	321 245 000 €	255 266 000 €	262 854 000 €
Provence-Alpes-Côte d'Azur	65 714 000 €	57 521 000€	54 274 000 €	42 858 000 €
Corse	637 000 €	447 000 €	221 000 €	178 000 €
TOTAL	416 242 000 €	438 196 000 €	358 020 000 €	346 284 000 €

Chiffres obtenus à partir de l'estimation de l'impact sanitaire détaillée dans le paragraphe 6.2.

6.3.2.1 Discussions et incertitudes

Ces résultats sont à interpréter de manière différentes. Les coûts indiqués dans le Tableau 24 sont supportés par l'Assurance Maladie et les individus allergiques au travers du reste à charge. Ils sont déterminés dans le cadre d'une approche financière, il s'agit donc de coûts tangibles. Les coûts présentés dans le Tableau 26 n'ont pas d'existence comptable mais

permettent de valoriser les pertes de bien-être supportés par les individus allergiques suite à une exposition forte et prolongée au pollen d'ambroisie⁴⁰. Il s'agit ici de coûts intangibles.

Les résultats économiques s'inscrivent naturellement dans le prolongement des données de prévalence. Ainsi la région Auvergne-Rhône-Alpes supporte une part importante des coûts avec toutefois des disparités intra-régionale (Annexe 12). La monétarisation des impacts sanitaires laisse entrevoir une problématique autour de l'ambroisie également importante en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Dans le cadre du coût de la prise en charge médicale et des arrêts de travail, la région Île-de-France présente un volume financier important comparativement aux autres régions. La démographie très élevée de cette région explique en partie ce positionnement.

Il s'avère ainsi nécessaire de prendre en considération le coût de la perte de qualité de vie qui témoigne du fardeau supporté par les individus malades. Ainsi les départements avec des niveaux de concentration important et prolongé verront la population résidente fortement impactée dans sa vie quotidienne durant la période de pollinisation (renvoi chapitre santé perte qualité de vie). Les estimations produites à l'échelle départementale (Annexe 12) attestent d'un fardeau particulièrement important dans les départements de l'Isère (38), la Drôme (26) et du Rhône (69).

La mise en lumière de ces résultats à l'aune d'estimations économiques provenant d'autres études se heurte à plusieurs difficultés. Comme l'indiquent Bullock *et al.* (2013), les données relatives aux impacts économiques de l'ambroisie en Europe sont actuellement rares. Par ailleurs, sur un plan méthodologique, les études existantes sont difficilement comparables. En effet, elles peuvent prendre en considération des postes de coût, des points de vue (individu, assureur, employeur, etc.) et des méthodes de valorisation économiques variables. Les choix opérés concernant ces paramètres peuvent impacter fortement l'estimation des coûts et générer de fait des résultats très variables.

En France, l'Observatoire des ambrosies a cherché à estimer le coût de dépenses de soins à l'échelle régionale⁴¹. L'estimation réalisée doit être interprétée avec précaution, comme le signale les auteurs. En effet, elle repose sur un niveau de prévalence de l'allergie à l'ambroisie à l'échelle nationale, similaire à celui observé en région Auvergne-Rhône-Alpes. Au regard de cette hypothèse très forte, les résultats communiqués (Figure 111) doivent être considérés comme résultants d'une approche « pire cas », pour le moment non-observée en France.

En Europe, Bullock *et al.* (2013) ont cherché à valoriser économiquement plusieurs types d'impact générés par l'ambroisie, dont l'impact sanitaire. Dans ce cadre, les auteurs ont extrapolé le coût des traitements en lien avec une allergie à l'ambroisie à l'échelle européenne à partir de données anglaises. Le coût de traitement par patient est alors estimé à 303€.

Ils notent toutefois qu'il est difficile de rassembler des données comparables sur les coûts des médicaments car les prix sont souvent contrôlés par les organismes de réglementation nationaux, avec des règles et des processus différents. De plus, le coût de l'automédication n'est pas inclus, paramètre invisible *via* les données du système de soins. Sur cette base économique, Bullock *et al.* (2013) estiment le coût sur un plan sanitaire en France de l'ambroisie à 54,3 millions d'euros. Cette estimation n'intègre pas les coûts intangibles attribuables à la perte de qualité de vie.

⁴⁰ L'estimation du coût intègre notamment le nombre de jour où le RAEP est ≥ 3 .

⁴¹ https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/cp_carte-impacts-sanitaires-ambroisie.pdf

Poste	Nature
Prise en charge	<p>L'estimation économique repose sur un coût moyen de prise en charge calculé à l'échelle de la région Auvergne-Rhône-Alpes pour l'année 2017. Cette approche ne permet pas de rendre compte des disparités individuelles (niveau d'atteinte, observance thérapeutique) et contextuelles (disponibilité d'une offre de soins, hétérogénéité des stratégies thérapeutiques).</p> <p>L'estimation du coût de prise en charge ne considère pas dans le cas présent les dépenses relevant de l'automédication. Comme indiqué précédemment, la rhinite allergie est fréquemment banalisée et ne fait pas l'objet d'un suivi systématique par un professionnel de santé. Il conviendrait donc d'estimer ce paramètre plus précisément. Par ailleurs, les coûts indirects à l'instar du temps de déplacement dans le cadre du recours à un professionnel de santé ne sont également pas valorisés.</p> <p>Enfin, la nature des médicaments remboursés et plus généralement du parcours de soins reste un paramètre d'importance, qu'il convient d'actualiser régulièrement.</p>
Pertes de production	<p>L'approche adoptée dans la présente expertise vise à monétariser le coût de prise en charge des arrêts de travail en s'appuyant sur les indemnités moyennes associées. Cette approche est très perfectible puisqu'elle ne rend pas compte des pertes de productivité générées du fait de la santé dégradée d'un travailleur. Cette méthode d'estimation représente davantage un coût pour l'Assurance Maladie qu'une perte de production pour une structure productive.</p> <p>Par ailleurs, la distribution des pertes de productivité peut être très variable d'un individu à l'autre en fonction de la sensibilité individuelle et du niveau d'exposition. Ainsi, les activités productives nécessitant d'évoluer dans des environnements extérieurs durant la période de pollinisation seront particulièrement impactées.</p> <p>Enfin, l'approche développée dans la présente expertise est relativement peu pertinente pour les activités productives ne relevant pas de la sphère marchande (activité domestique et performance scolaire par exemple).</p>
Qualité de vie	<p>L'estimation du coût de la perte de qualité de vie repose sur plusieurs paramètres, pouvant générer des incertitudes. La littérature scientifique ne laisse pas apparaître d'indicateur standard (<i>disability weights</i>) de la perte de qualité de vie en lien avec l'allergie à l'ambroisie, et ce en fonction des stratégies thérapeutiques adoptées. En outre, ce paramètre peut avoir un caractère très variable d'un individu à l'autre notamment dans le cadre de comorbidité.</p> <p>La valeur tutélaire d'une année de vie en bonne santé, mobilisée pour valoriser le coût de la perte de qualité de vie, a été développée indépendamment du risque de développer une allergie à l'ambroisie. Or, le contexte d'élicitation de cette valeur peut impacter fortement son estimation.</p> <p>Enfin, le coût de la perte de qualité de vie a été estimé sur une durée correspondant au nombre de jour annuel avec un RAEP ≥ 3 afin de correspondre à un niveau d'exposition au pollen pour lequel des symptômes cliniques sont observés. Ce choix peut masquer des pertes de qualité de vie pour des zones ayant des concentrations plus faibles.</p>

6.4 Conclusion

Cette expertise constitue la première tentative d'analyse de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France métropolitaine. L'indicateur retenu repose sur l'allergie aux pollens d'ambroisie. Les présents travaux montrent la faisabilité et l'intérêt d'une telle analyse.

Les principaux enjeux résident dans la disponibilité des données mobilisées pour développer la relation exposition-risque, dans son application à l'échelle du territoire métropolitain et dans le calcul économique qui en découle.

Compte-tenu des incertitudes, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie, à l'échelle nationale, a été estimée entre 1,7% et 5,4% de la population française, soit entre 1 115 000 et 3 504 000 personnes allergiques. Annuellement, le coût pour la prise en charge (médicale) est estimé entre 59M€ et 186M€, le coût de prise en charge des arrêts de travail est estimé entre 10M€ et 30M€, et le coût des pertes de qualité de vie est estimé entre 346M€ et 438M€.

7. Conclusions et recommandations

Au vu des constats réalisés dans le cadre de l'expertise développée par le groupe de travail et des résultats de l'estimation des impacts sanitaires et des coûts associés en lien avec l'allergie à l'ambroisie, le comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » s'associe au groupe de travail et émet les conclusions et recommandations suivantes.

7.1 Conclusions

Connaissances relatives à l'ambroisie

L'ambroisie à feuilles d'armoise est présente et se propage depuis le début du 20^{ème} siècle en France. Aujourd'hui, trois zones peuvent être distinguées : les zones avec une forte implantation (par exemple : Rhône, Isère, Drôme ou encore Nièvre, Cher), les zones de front (Charentes, Côte-d'Or, Gard), et les zones encore très peu concernées et/ou isolées des deux précédentes. Sa vitesse de propagation s'accélère depuis les années 1960.

Plusieurs vecteurs peuvent favoriser cette propagation, notamment anthropiques, comme les machines agricoles et/ou de fauchage ou encore, le transport de sol ou de semences contaminés. Il est à noter que l'étendue de la propagation n'est pas la même en fonction du vecteur et de la biologie de l'espèce (reproduction par graines ou végétativement, tailles et nombre des semences, etc.).

L'endigement de la propagation de la plante semble possible dans les zones de front et les zones très peu concernées et/ou isolées. Toutefois, certaines zones de front ne disposent pas de réglementation spécifique.

De nombreuses méthodes de lutte existent (chimiques, physiques, biologiques) en fonction du niveau d'infestation, de la surface et du milieu concerné. Des phénomènes de résistance sont observés en matière de lutte chimique. Les méthodes ne sont pas toutes disponibles ou utilisées en France. En particulier, la lutte biologique n'y est pas déployée bien que celle-ci ait montré son intérêt et son efficacité en Chine, en Australie et en Italie⁴².

La gestion de l'ambroisie se heurte toujours à certains freins réglementaires, notamment le pouvoir de police limité du maire en particulier dans des parcelles privées, la coordination de la lutte à l'échelle de l'Europe, la discordance actuelle du code rural et de la pêche maritime et du code de la santé publique.

D'un point de vue sanitaire comme agro-environnemental, l'ensemble des ambrosies est à considérer, notamment dans une optique de lutte.

Approches disponibles en matière de modélisation (propagation de la plante et dispersion des pollens), et pertinence associée

La surveillance de la plante et des pollens repose sur un système d'observation et de signalements (Fredon-Observatoire des ambrosies, FCBN) et de mesure des pollens (RNSA). Il existe des approches innovantes en matière de surveillance dont la faisabilité à grande échelle mérite d'être confirmée (satellite ou drone pour l'observation et le comptage automatique des pollens). Ces observations sont primordiales pour alimenter, calibrer et valider les modèles de propagation de l'ambroisie et de dispersion des pollens.

La modélisation permet la prévision à court terme des niveaux de pollens et la scénarisation à long terme de la propagation de la plante et de la dispersion de ses pollens. La modélisation

⁴² La présence d'*Ophraella communa* en Italie n'a pas résulté d'une introduction volontaire dans le cadre d'un plan de lutte planifié.

s'avère également pertinente dans une perspective d'évaluation *a priori* de l'efficacité des méthodes de lutte.

Plusieurs modèles sont aujourd'hui exploités pour estimer l'émission et la dispersion des pollens d'ambroisie. Les systèmes de modélisation SILAM et COSMO-Art sont les plus matures à l'échelle européenne. En France, le système de modélisation de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, qui exploite des données d'entrées d'excellente qualité, permet de représenter les niveaux de pollens journaliers et les niveaux de risque allergique associés de manière fiable à l'échelle régionale.

La modélisation à long terme de la distribution de l'ambroisie et de la dispersion de ses pollens reste complexe. Les méthodes actuelles présentent de nombreuses limites et les résultats sont incertains. Cependant, la prédiction de propagation de la plante vers le Nord de l'Europe, notamment du fait du changement climatique, par rapport aux implantations actuelles apparaît robuste.

Connaissances actuelles relatives à l'impact sanitaire en lien avec l'ambroisie

De manière générale, la rhinite allergique au pollen d'ambroisie, tout comme la rhinite allergique aux autres pollens, reste une maladie chronique banalisée, sous diagnostiquée et sous traitée malgré l'impact important observé sur la qualité de vie.

L'allergie associée au pollen d'ambroisie présente certaines spécificités en comparaison de l'allergie à d'autres pollens, notamment un âge de début plus tardif en France/Europe. Cette particularité de la marche allergique pourrait être liée à l'introduction « récente » de l'ambroisie dans nos régions par opposition aux graminées qui sont des plantes natives. De plus, le pollen d'ambroisie a un fort potentiel allergisant et quelques grains suffisent à provoquer des symptômes chez les personnes allergiques.

De nombreux outils sont aujourd'hui utilisés à grande échelle pour identifier les individus allergiques : tests cutanés, sérologie – IgE spécifiques, questionnaires standardisés, base de données médico-administratives concernant le remboursement de soins, et parfois une combinaison de ceux-ci. Il n'existe aujourd'hui aucun questionnaire standardisé ni aucune définition médico-administrative validée pour l'allergie à l'ambroisie. La littérature scientifique a néanmoins souvent recours à des questionnaires très détaillés (sur la saisonnalité et les déclencheurs des symptômes), qui peuvent être utilisés en complément de l'indication d'une sensibilisation allergique.

Les travaux menés par l'ORS et l'ARS en Auvergne-Rhône-Alpes, région française la plus infestée, permettent d'estimer localement l'impact sanitaire des pollens d'ambroisie et sont un outil précieux et nécessaire à la prise de conscience et à la mise en place d'action de terrain. Jusqu'à 13% de la population régionale⁴³ serait allergique à l'ambroisie, mais une grande variabilité géographique est observée. Les méthodes et données utilisées (enquêtes téléphoniques et analyse des données de remboursements avec de multiples définitions des cas) sont variées, pertinentes en termes cliniques et épidémiologiques, offrent une indication de l'incertitude, et possèdent de nombreuses perspectives d'amélioration.

Deux analyses d'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise en Europe ont récemment été menées sur la base de la sensibilisation allergique : l'une par Lake *et al.* au sein du projet ATOPICA, l'autre par Schaffner *et al.* au sein du projet COST-SMARTER⁴⁴. Les impacts estimés sont différents : 32,6 millions de personnes sensibilisées à l'ambroisie selon Lake *et al.* (2017) et 23,2 millions selon Schaffner *et al.* (2020). De telles estimations n'ont cependant pas de pertinence clinique systématique.

⁴³ Soit 284 604 cas en considérant la population régionale en 2014.

⁴⁴ SMARTER (*Sustainable management of Ambrosia Artemisiifolia across Europe*) : projet financé par l'action COST (*Cooperation in Science and Technology*) FA1203 de l'Union Européenne.

La prévalence de l'allergie à l'ambroisie a été estimée localement et à plus large échelle en Europe. Aujourd'hui, selon les zones infestées, entre 4,5 et 40,0% des populations seraient allergiques à l'ambroisie (et jusqu'à 60% y seraient sensibilisés). Les estimations, bien qu'incertaines, prévoient une multiplication du nombre de cas par 2,5 d'ici 2060 en lien avec la propagation de la plante dans des zones aujourd'hui non infestées, exposant de fait de nouvelles populations à ce pollen. La modification de l'allergénicité du pollen d'ambroisie dans le futur et/ou la modification de la production de pollen par la plante (tous deux en lien avec la pollution atmosphérique et les conditions climatiques) pourraient également jouer un rôle dans l'augmentation de cette prévalence.

État de l'art relatif aux aspects économiques associés aux impacts de l'ambroisie à feuille d'armoise

L'estimation du coût des impacts de l'ambroisie repose sur différentes approches méthodologiques : financière (basée sur le prix de marché) ou économique (basée sur la disposition à payer), et sur différents points de vue (individu malade, entourage du malade, Assurance Maladie, agriculteurs...).

Bien que plusieurs rapports institutionnels aient cherché à estimer le coût de l'ambroisie selon des approches diverses, l'ensemble des démarches employées reste perfectible. La principale difficulté réside dans l'incapacité d'alimenter ces modèles d'estimation par des données robustes tant en matière de quantification des impacts que de leur monétarisation.

Pour estimer le coût des impacts, le CES privilégie une optique sociétale, volontairement large, faisant écho aux recommandations du collège des économistes de la santé et du Sénat. Sur un plan méthodologique, cette approche, qualifiée d'économique, vise à s'appuyer sur la disposition à payer plutôt que sur les prix de marché afin d'estimer le coût des impacts de l'ambroisie.

Concernant la monétarisation des impacts sanitaires, l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes a développé l'approche financière la plus aboutie. Selon la dernière estimation réalisée, le coût global de la consommation de soins relative à l'allergie à l'ambroisie est estimé à plus de 40,6 millions d'euros en 2017 dans la région. Cette vision reste cependant restrictive et ne prend en compte qu'une partie des coûts économiques.

L'ambroisie a également des conséquences économiques dans le domaine agricole. Sans pouvoir procéder à une quantification robuste des coûts, il faut noter que la présence d'ambroisie engendre une baisse des rendements, une hausse des coûts de gestion et des choix culturaux sous-optimaux.

Estimation et monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise en France

Cette expertise constitue la première tentative d'analyse de l'impact sanitaire de l'ambroisie en France métropolitaine. L'indicateur retenu repose sur l'allergie aux pollens d'ambroisie. Les présents travaux montrent la faisabilité et l'intérêt d'une telle analyse.

Les principaux enjeux résident dans la disponibilité des données mobilisées pour développer la relation exposition-risque, dans son application à l'échelle du territoire métropolitain et dans le calcul économique qui en découle.

Compte-tenu des incertitudes, la prévalence de l'allergie à l'ambroisie, à l'échelle nationale, a été estimée entre 1,7% et 5,4% de la population française, soit entre 1 115 000 et 3 504 000 personnes allergiques. Le coût pour la prise en charge (médicale) est estimé entre 59M€ et 186M€, le coût des de prise en charge des arrêts de travail est estimé entre 10M€ et 30M€, et le coût des pertes de qualité de vie est estimé entre 346M€ et 438M€.

7.2 Recommandations

En préambule, le CES s'accorde sur le fait que les recommandations émanant des précédentes expertises Anses (Anses 2014, 2017a, b) restent d'actualité concernant

l'ambroisie. Au travers de l'expertise et des conclusions développées ci-avant, le CES formule l'ensemble des recommandations suivantes.

Pour une gestion préventive et active de l'ambroisie

La gestion de l'ambroisie repose sur la sensibilisation des acteurs, la surveillance de la plante et de ses pollens et la lutte (mécanique, chimique, biologique). Seule une articulation de ces différentes actions à l'échelle des territoires pourra limiter les impacts sanitaires, environnementaux et par conséquent économiques de l'ambroisie. Bien qu'il existe déjà de nombreux dispositifs de gestion, il apparaît nécessaire d'en renforcer certains aspects.

En matière de prévention, le CES recommande :

- De poursuivre les efforts d'informations sur la plante et sa gestion auprès des acteurs concernés et de la population générale. Cette information est pour le moment relayée par les pouvoirs publics, notamment au travers des ARS et de leurs délégations départementales, ainsi que les organismes de surveillance (FREDON - Observatoire des ambrosies, RNSA), et les Associations de Surveillance de la Qualité de l'Air, comme Atmo Auvergne-Rhône-Alpes à l'échelle de cette région. Il apparaît nécessaire que de telles démarches de diffusion de l'information soient développées dans les zones de front *via* ces organismes ou leurs antennes locales.
- De développer la nomination de référents territoriaux (commune, établissement public de coopération intercommunale (EPCI)). L'échelle des EPCI semble plus adaptée pour mener les actions de sensibilisation, d'information et de lutte. Il est essentiel que cette action soit coordonnée à l'échelle territoriale afin d'appuyer ces référents. Ce modèle, très présent dans les zones fortement concernées par l'ambroisie à l'image de la région Auvergne-Rhône-Alpes, doit être promu à l'échelle nationale.
- Concernant la gestion de vecteurs anthropiques, il est nécessaire que les recommandations actuelles deviennent des obligations, notamment celles relatives au nettoyage du matériel agricole et à la gestion des terres contaminées sur les chantiers.
- De viser l'absence de graines d'ambroisie dans les semences.

En matière de lutte, le CES recommande :

- D'évaluer l'efficacité des différentes méthodes de lutte contre l'ambroisie en fonction des zones géographiques et de leur niveau d'infestation.
- D'expertiser les retours d'expérience chinois et italiens concernant l'usage d'*Ophraella communa* dans le cadre de la lutte biologique contre l'ambroisie.
- D'accroître la vigilance autour des activités anthropiques en impliquant un maximum d'acteurs dans la lutte dont le secteur du bâtiment et travaux publics et le monde agricole. Une implication forte du monde agricole est indispensable, pour protéger la santé de la population générale et des travailleurs agricoles susceptibles d'être fortement exposés au pollen d'ambroisie. Cette implication contribuerait également à limiter les préjudices économiques subis par ce secteur d'activité du fait de la présence d'ambroisie (perte de rendement, et/ou choix culturels sous optimaux).
- De renforcer la connaissance des agriculteurs concernant les bonnes pratiques relatives à la gestion de l'ambroisie *via* l'ensemble des canaux d'information pertinents, notamment les instituts techniques et les chambres d'agriculture.
- De limiter la présence de terres mises à nue à l'exception des surfaces agricoles utiles, notamment en implantant un couvert végétal adapté. Il est alors important de privilégier les espèces les moins nocives pour la santé.
- De poursuivre dans les zones fortement infestées, les actions actuellement réalisées dans l'optique de stabiliser et contenir les populations d'ambroisie.
- D'encourager dans les zones de front la mise en place de réglementation spécifique *via* des arrêtés préfectoraux.

Pour des outils de surveillance et de modélisation plus performants

La surveillance et la modélisation contribuent à l'information des populations à la problématique de l'ambroisie. Elles prennent ainsi une place importante dans la gestion de l'espèce.

Concernant la surveillance opérationnelle, le CES recommande :

- D'étendre et d'intensifier la surveillance de la plante et de ses pollens à l'échelle hexagonale. Une pérennisation des observatoires *via* une implication large des pouvoirs publics est donc nécessaire.
- De moderniser le système de surveillance du pollen d'ambroisie en le couplant à un système de modélisation de la dispersion du pollen à l'échelle de la France métropolitaine, à l'instar de ce qui a été mis en place dans la région Auvergne-Rhône-Alpes.
- D'actualiser régulièrement les observations et signalements à l'échelle nationale, données d'entrée et de validation essentielles à tout système de modélisation. De plus, il apparaît important de documenter en particulier la densité de l'infestation au-delà de la simple indication de présence.

Concernant les modèles relatifs à l'ambroisie et à ses pollens, dans une optique d'amélioration des connaissances utiles à l'action publique, le CES recommande :

- De tester à grande échelle les méthodes innovantes telles que les dispositifs de reconnaissance et de comptage automatique des pollens pour la surveillance et l'usage de satellite/drone pour l'observation de la distribution de la plante.
- D'améliorer les connaissances sur la phénologie⁴⁵ et la plasticité phénotypique⁴⁶ de la plante pour permettre d'alimenter au mieux les modèles écologiques de propagation de l'ambroisie et les modules d'émission des pollens.
- De confirmer l'impact des scénarii de changement climatique sur la propagation de l'ambroisie et de libération de ses pollens, en initiant par exemple des analyses rétrospectives qui exploitent des mesures et des modèles du passé.

Concernant la centralisation, la diffusion et la mobilisation de l'information, le CES recommande :

- De centraliser et d'harmoniser à l'échelle nationale puis européenne les données de présence de l'ambroisie qui sont produites localement.
- D'accroître la diffusion et de faciliter la compréhension des informations issues de la surveillance ou de la modélisation auprès des pouvoirs publics, des professionnels de santé, de la population générale et des individus allergiques. Ces informations se doivent d'être facilement intelligibles, y compris par des non-spécialistes⁴⁷. Cette action doit être réalisée tant à une échelle nationale et régionale qu'à des strates plus fines – communes, territoires de santé.

Pour l'acquisition de nouvelles connaissances sur la prévalence de l'allergie en population et sur l'évolution de l'allergénicité des pollens

Des efforts en matière de recherche et d'expertise sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact de l'ambroisie sur la santé. Ainsi, le CES recommande :

⁴⁵ Phénologie : science des influences climatiques sur le développement saisonnier des plantes.

⁴⁶ Adaptation évolutive du phénotype en réponse aux variations d'un environnement.

⁴⁷ HCSP (2016), Avis relatif à l'information et recommandations à diffuser en vue de prévenir les risques sanitaires liés aux pollens allergisants.

- De suivre l'évolution de l'allergie à l'ambroisie, particulièrement sur les territoires infestés et les zones de front, en réalisant des études épidémiologiques qui analyseraient :
 - des données de questionnaires disposant d'un fort pouvoir informatif vis-à-vis de l'allergie à l'ambroisie ;
 - des données issues de bases de remboursement de soins pour identifier les personnes allergiques à l'ambroisie ;
 - des résultats de tests cutanés ou de dosages biologiques spécifiques à la sensibilisation à l'ambroisie.
- De développer l'utilisation conjointe des différents outils mentionnés ci-avant.
- De réaliser des études pour évaluer l'impact des dispositifs de gestion sur la santé des populations.
- D'évaluer l'impact sanitaire de l'ambroisie dans les territoires d'outre-mer.
- De réaliser des études sur l'allergénicité du pollen d'ambroisie liée aux grains, aux fragments, aux composants inflammatoires et sur d'éventuelles allergies croisées.
- De réaliser des études sur l'allergénicité du pollen d'ambroisie en fonction des effets de certains cofacteurs d'intérêt, notamment les principaux polluants atmosphériques gazeux et particulaires et le changement climatique.

Pour une meilleure prise de conscience de la problématique de l'allergie à l'ambroisie

Les professionnels de santé sont des acteurs essentiels dans l'accompagnement des individus souffrant d'allergie, dont les symptômes sont trop souvent banalisés. Ainsi, le CES recommande :

- De sensibiliser les professionnels de santé et les personnes allergiques ou potentiellement allergiques dans les zones où l'ambroisie est présente mais surtout dans les zones où elle est amenée à se développer – zone de front.
- De favoriser le développement de réseaux de médecins et de patients sentinelles dédiés aux problématiques d'allergie. Ces réseaux peuvent faciliter les échanges d'information à l'échelle des territoires de santé.
- La mise en place, par les autorités compétentes, d'une réflexion sur les modalités et la préservation de l'accès au traitement des allergies pour le plus grand nombre.

Pour une amélioration de la fiabilité des estimations économiques

Les enjeux économiques en lien avec les impacts de l'ambroisie apparaissent importants et variés en fonction notamment des acteurs concernés. Afin d'améliorer les estimations économiques réalisées jusqu'à présent, le CES recommande :

- De recourir à l'approche basée sur la disposition à payer, qui apparaît comme la plus pertinente d'un point de vue théorique car permettant d'estimer pleinement l'impact économique sur la société.
- De réaliser des recherches visant à révéler les dispositions à payer des agents économiques concernés.
- De combler le manque de données en évaluant le fardeau de la rhinite allergique en lien avec l'ambroisie, ainsi que la disposition à payer pour éviter l'allergie à la fois pour les individus allergiques, non-allergiques, et les tiers.
- De conduire une enquête auprès des agriculteurs pour évaluer les coûts associés aux impacts dans le domaine agricole (rendements, coûts de gestion, réallocation de terre), et pour renseigner les pratiques de substitution de culture.
- De poursuivre et d'améliorer l'approche de l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes, notamment en élargissant le périmètre des coûts considérés et en intégrant une analyse de sensibilité.

8. Bibliographie

- Abou Chakra, O. R., J-P. Sutra, E. Demey Thomas, J. Vinh, G. Lacroix, P. Poncet, et H. Senechal. 2012. "Proteomic analysis of major and minor allergens from isolated pollen cytoplasmic granules." *Journal of proteome research* 11 (2):1208-1216.
- Ackermann-Lieblich, U., C. Schindler, P. Frei, N. M. Probst-Hensch, M. Imboden, A. Gemperli, T. Rochat, P. Schmid-Grendemeier, et A. J. Bircher. 2009. "Sensitisation to Ambrosia in Switzerland: a public health threat on the wait." *Swiss Med Wkly* 139 (5-6):70-5. doi: smw-12489.
- Agnew, M., I. Banic, I. R. Lake, C. Goodess, C. M. Grossi, N. R. Jones, D. Plavec, M. Epstein, et M. Turkalj. 2018. "Modifiable Risk Factors for Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) Allergy and Disease in Children: A Case-Control Study." *Int J Environ Res Public Health* 15 (7). doi: 10.3390/ijerph15071339.
- Alberternst, B., S. Nawrath, et U. Starfinger. 2016. "HALT Ambrosia - Biodiversity impacts of common ragweed." *Julius-Kühn-Archiv* 455:188-226. doi: 10.5073/jka.2016.455.45.
- Albertini, R., M. Ugolotti, S. Peveri, M. T. Valenti, I. Usberti, E. Ridolo, et P. Dall'Aglio. 2012. "Evolution of ragweed pollen concentrations, sensitization and related allergic clinical symptoms in Parma (northern Italy)." *Aerobiologia* 28 (3):347-354. doi: 10.1007/s10453-011-9239-6.
- Allard, HA. 1943. "The North American ragweeds and their occurrence in other parts of the world." *Science* 98 (2544):292-294.
- Amalric, F. 2007. "Analyse économique des coûts du cancer en France." *publication de l'Institut National du Cancer*.
- Annesi-Maesano, I. . 2003. "Epidemiological evidence for the relationship between upper and lower airway diseases." Dans *Upper and Lower Respiratory Disease*, édité par J. Corren, A. Togias et J. Bousquet, 105-130.
- Anses. 2014. "État des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant." : ANSES.
- Anses. 2017a. "Avis et Rapport de l'Anses relatif à la réalisation d'une analyse de risques relative à l'ambroisie trifide (*Ambrosia trifida* L.) et pour l'élaboration de recommandation de gestion." : Anses. 108.
- Anses. 2017b. "État des connaissances sur l'impact sanitaire des pollens et moisissures allergisants de l'air ambiant sur la population générale des départements et régions d'outre-mer." : ANSES.
- Anses. 2019. "Efficacité du coléoptère *Ophraella communa* utilisé comme agent de lutte biologique contre les ambrosies et évaluation des éventuels risques associés." : Anses. 113 p.
- Anzivino, L. , C. Marant-Micallef, et A. Sonko. 2014. "Etude de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie en rhône-alpes." : ORS Rhône-Alpes.
- Arbes, S. J., Jr., P. J. Gergen, L. Elliott, et D. C. Zeldin. 2005. "Prevalences of positive skin test responses to 10 common allergens in the US population: results from the third National Health and Nutrition Examination Survey." *J Allergy Clin Immunol* 116 (2):377-83. doi: 10.1016/j.jaci.2005.05.017.
- Ariano, R., D. Berra, E. Chiodini, V. Ortolani, L. G. Cremonese, M. G. Mazzarello, E. Galdi, C. Calosso, et G. Ciprandi. 2015. "Ragweed allergy: Pollen count and sensitization and allergy prevalence in two Italian allergy centers." *Allergy Rhinol (Providence)* 6 (3):177-83. doi: 10.2500/ar.2015.6.0141.
- Arnesen, Trude, et Erik Nord. 1999. "The value of DALY life: problems with ethics and validity of disability adjusted life years." *BMJ* 319 (7222):1423-1425.
- Asero, R, N Wopfner, P Gruber, Gabriele Gadermaier, et F Ferreira. 2006. "Artemisia and Ambrosia hypersensitivity: co-sensitization or co-recognition?" *Clinical & Experimental Allergy* 36 (5):658-665.
- Asero, R. 2002. "Birch and ragweed pollinosis north of Milan: a model to investigate the effects of exposure to "new" airborne allergens." *Allergy* 57:1063-1066.
- Asero, R. 2007. "The changing pattern of ragweed allergy in the area of Milan, Italy." *Allergy* 62 (9):1097-1099. doi: 10.1111/j.1398-9995.2007.01436.x.

- Asero, R., E. Bellotto, A. Ghiani, R. Aina, D. Villalta, et S. Citterio. 2014. "Concomitant sensitization to ragweed and mugwort pollen: who is who in clinical allergy?" *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 113 (3):307-313.
- Asero, R., G. Mistrello, et S. Amato. 2011. "The nature of melon allergy in ragweed-allergic subjects: A study of 1000 patients." *Allergy and Asthma Proceedings*.
- Atis, S, B Tutluoglu, K Sahin, M Yaman, AR Küçükusta, et I Oktay. 2002. "Sensitization to sunflower pollen and lung functions in sunflower processing workers." *Allergy* 57 (1):35-39.
- Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. 2020. "Bilan de l'exposition de la population aux pollens d'ambroisie, année 2019." ; .
- Atmo Rhône-Alpes. 2010. "Cartographie des concentrations atmosphériques d'ambroisie en région Rhône-Alpes, rapport technique." : ATMO Rhône-Alpes.
- Bacsi, A., B. K. Choudhury, N. Dharajiya, S. Sur, et I. Boldogh. 2006. "Subpollen particles: carriers of allergenic proteins and oxidases." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 118 (4):844-850.
- Bashir, M. E. H., J. H. Lui, R. Palnivalu, R. M. Naclerio, et D. Preuss. 2013. "Pollen lipidomics: lipid profiling exposes a notable diversity in 22 allergenic pollen and potential biomarkers of the allergic immune response." *PLoS ONE* 8 (2).
- Baskin, J. M., et C. C. Baskin. 1980. "Ecophysiology of secondary dormancy in seeds of *Ambrosia artemisiifolia*." *Ecology* 61 (3):475-480.
- Bass, D. J., V. Delpech, J. Beard, P. Bass, et R. S. Walls. 2000. "Ragweed in Australia." *Aerobiologia* 16 (1):107-111. doi: 10.1023/A:1007696112953.
- Bassett, I. J., et C. W. Crompton. 1975. "THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS.: 11. *Ambrosia artemisiifolia* L. and *A. psilostachya* DC." *Canadian Journal of Plant Science* 55 (2):463-476.
- Bauchau, V., et S. R. Durham. 2004. "Prevalence and rate of diagnosis of allergic rhinitis in Europe." *European Respiratory Journal* 24 (5):758. doi: 10.1183/09031936.04.00013904.
- Bazzaz, F. A. 1974. "Ecophysiology of *Ambrosia artemisiifolia*: a successional dominant." *Ecology* 55 (1):112-119.
- Bazzaz, F. A. 1979. "The Physiological Ecology of Plant Succession." *Annual Review of Ecology and Systematics* 10 (1):351-371. doi: 10.1146/annurev.es.10.110179.002031.
- Behrendt, H, A Kasche, C Ebner Von Eschenbach, U Risse, J Huss-Marp, et J Ring. 2001. "Secretion of proinflammatory eicosanoid-like substances precedes allergen release from pollen grains in the initiation of allergic sensitization." *International Archives of Allergy and Immunology* 124 (1-3):121-125.
- Belhassen, M, P Demoly, E Bloch-Morot, G De Pourville, M Ginoux, A Chartier, L Laforest, N Serup-Hansen, M Toussi, et E Van Ganse. 2017. "Costs of perennial allergic rhinitis and allergic asthma increase with severity and poor disease control." *Allergy* 72 (6):948-958.
- Bilon, R., B. Chauvel, et M. Mottet. 2017. "Agir contre l'ambroisie à feuilles d'armoïse." : L'observatoire des ambrosies ; . 30.
- Bivand, R. S., E. Pebesma, et V. Gomez-Rubio. 2013. *Applied spatial data analysis with R, second edition*. Edité par Springer-Verlag New York.
- Blaiss, M. S., E. Hammerby, S. Robinson, T. Kennedy-Martin, et S. Buchs. 2018. "The burden of allergic rhinitis and allergic rhinoconjunctivitis on adolescents: A literature review." *Annals of Allergy, Asthma and Immunology* 121 (1):43-52.e3. doi: 10.1016/j.anai.2018.03.028.
- Blond, Nadège. 2002. "Assimilation de données photochimiques et prévision de la pollution troposphérique."
- Blume, Cornelia, Emily J Swindle, Stefanie Gilles, Claudia Traidl-Hoffmann, et Donna E Davies. 2015. "Low molecular weight components of pollen alter bronchial epithelial barrier functions." *Tissue barriers* 3 (3):e1062316.
- Bolamperti, P., C. Labrèche, S. Maquinghen, A. Sonko, et M. Venzac. 2018. "L'impact sanitaire de l'ambroisie en Auvergne-Rhône-Alpes : analyse des données médico-économiques en 2017." : Observatoire régional de la santé Auvergne Rhône Alpes.
- Boldogh, Istvan, Attila Bacsi, Barun K Choudhury, Nilesh Dharajiya, Rafeul Alam, Tapas K Hazra, Sankar Mitra, Randall M Goldblum, et Sanjiv Sur. 2005. "ROS generated by pollen NADPH

- oxidase provide a signal that augments antigen-induced allergic airway inflammation." *J Clin Invest* 115 (8):2169-2179.
- Bonini, M, Branko Šikoparija, M Prentović, G Cislighi, P Colombo, C Testoni, STE Lommen, H Müller-Schärer, et M Smith. 2016. "A follow-up study examining airborne Ambrosia pollen in the Milan area in 2014 in relation to the accidental introduction of the ragweed leaf beetle *Ophraella communa*." *Aerobiologia* 32 (2):371-374.
- Bonini, M., B. Sikoparija, C. A. Skjoth, G. Cislighi, P. Colombo, C. Testoni, R. I. M. A. A.I.A, Pollnet, et M. Smith. 2018. "Ambrosia pollen source inventory for Italy: a multi-purpose tool to assess the impact of the ragweed leaf beetle (*Ophraella communa* LeSage) on populations of its host plant." *Int J Biometeorol* 62 (4):597-608. doi: 10.1007/s00484-017-1469-z.
- Bonini, Maira, Branko Šikoparija, M Prentović, G Cislighi, P Colombo, C Testoni, L Grewling, Suzanne TE Lommen, Heinz Müller-Schärer, et M Smith. 2015. "Is the recent decrease in airborne Ambrosia pollen in the Milan area due to the accidental introduction of the ragweed leaf beetle *Ophraella communa*?" *Aerobiologia* 31 (4):499-513.
- Bordas-Le Floch, Véronique, Rachel Groeme, Henri Chabre, Véronique Baron-Bodo, Emmanuel Nony, Laurent Mascarell, et Philippe Moingeon. 2015. "New insights into ragweed pollen allergens." *Current Allergy and Asthma Reports* 15 (11):63.
- Bordas-Le Floch, Véronique, Maxime Le Mignon, Julien Bouley, Rachel Groeme, Karine Jain, Véronique Baron-Bodo, Emmanuel Nony, Laurent Mascarell, et Philippe Moingeon. 2015. "Identification of novel short ragweed pollen allergens using combined transcriptomic and immunoproteomic approaches." *PLoS ONE* 10 (8).
- Bousquet, J., N. Khaltaev, A. A. Cruz, J. Denburg, W. J. Fokkens, A. Togias, T. Zuberbier, C. E. Baena-Cagnani, G. W. Canonica, C. Van Weel, I. Agache, N. Ait-Khaled, C. Bachert, M. S. Blaiss, S. Bonini, L. P. Boulet, P. J. Bousquet, P. Camargos, K. H. Carlsen, Y. Chen, A. Custovic, R. Dahl, P. Demoly, H. Douagui, S. R. Durham, R. G. Van Wijk, O. Kalayci, M. A. Kaliner, Y. Y. Kim, M. L. Kowalski, P. Kuna, L. T. T. Le, C. Lemiere, J. Li, R. F. Lockey, S. Mavale-Manuel, E. O. Meltzer, Y. Mohammad, J. Mullol, R. Naclerio, R. E. O'Hehir, K. Ohta, S. Ouedraogo, S. Palkonen, N. Papadopoulos, G. Passalacqua, R. Pawankar, T. A. Popov, K. F. Rabe, J. Rosado-Pinto, G. K. Scadding, F. E. R. Simons, E. Toskala, E. Valovirta, P. Van Cauwenberge, D. Y. Wang, M. Wickman, B. P. Yawn, A. Yorgancioglu, O. M. Yusuf, H. Zar, I. Annesi-Maesano, E. D. Bateman, A. B. Kheder, D. A. Boakye, J. Bouchard, P. Burney, W. W. Busse, M. Chan-Yeung, N. H. Chavannes, A. Chuchalin, W. K. Dolen, R. Emuzyte, L. Grouse, M. Humbert, C. Jackson, S. L. Johnston, P. K. Keith, J. P. Kemp, J. M. Klossek, D. Larenas-Linnemann, B. Lipworth, J. L. Malo, G. D. Marshall, C. Naspitz, K. Nekam, B. Niggemann, E. Nizankowska-Mogilnicka, Y. Okamoto, M. P. Orru, P. Potter, D. Price, S. W. Stoloff, O. Vandenas, G. Viegi, et D. Williams. 2008. "Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA) 2008 update (in collaboration with the World Health Organization, GA2LEN and AllerGen)." *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 63 (SUPPL. 86):8-160. doi: 10.1111/j.1398-9995.2007.01620.x.
- Bousquet, Jean, Françoise Neukirch, Philippe J Bousquet, Pierre Gehano, Jean Michel Klossek, Martine Le Gal, et Bashar Allaf. 2006. "Severity and impairment of allergic rhinitis in patients consulting in primary care." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 117 (1):158-162.
- Bousquet, Jean, Paul Van Cauwenberge, et Nikolai Khaltaev. 2001. "Allergic rhinitis and its impact on asthma." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 108 (5):S147-S334.
- Bousquet, P. J., S. Chinn, C. Janson, M. Kogevinas, P. Burney, et D. Jarvis. 2007. "Geographical variation in the prevalence of positive skin tests to environmental aeroallergens in the European Community Respiratory Health Survey I." *Allergy* 62 (3):301-309. doi: 10.1111/j.1398-9995.2006.01293.x.
- Bouzigon, E., R. Nadif, N. Le Moual, M. H. Dizier, H. Aschard, A. Boudier, J. Bousquet, S. Chanoine, C. Donnay, O. Dumas, F. Gormand, B. Jacquemin, J. Just, P. Margaritte-Jeannin, R. Matran, C. Pison, E. Rage, M. Rava, C. Sarnowski, L. A. M. Smit, S. Temam, R. Varraso, L. Vignoud, M. Lathrop, I. Pin, F. Demenais, F. Kauffmann, et V. Siroux. 2015. "Facteurs génétiques et environnementaux de l'asthme et de l'allergie : synthèse des résultats de l'étude EGEA." *Rev Mal Respir* 32 (8):822-840. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2014.12.005>.

- Brandes, Dietmar, et Jens Nitzsche. 2006. "Biology, introduction, dispersal, and distribution of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) with special regard to Germany." *Nachrichtenblatt-Deutschen Pflanzenschutzdienstes Braunschweig* 58 (11):286.
- Brändli, O., et C. BraunFahrländer. 2002. "Asthme bronchique: l'importance de la famille et de l'environnement." doi: 10.4414/fms.2002.04511.
- Braun, J.-J., P. Devillier, B. Wallaert, F. Rancé, R. Jankowski, J.-L. Acquaviva, G. Beley, et P. Demoly. 2010. "Recommandations pour le diagnostic et la prise en charge de la rhinite allergique (épidémiologie et physiopathologie exclues)." *Rev Mal Respir* 27:S79-S105.
- Brown, Alan, Kinley Farmer, Louise MacDonald, Noor Kalsheker, Dave Pritchard, Chris Haslett, Jonathan Lamb, et J-M Sallenave. 2003. "House dust mite Der p 1 downregulates defenses of the lung by inactivating elastase inhibitors." *Am J Respir Cell Mol Biol* 29 (3):381-389.
- Brožek, Jan L, Jean Bousquet, Ioana Agache, Arnav Agarwal, Claus Bachert, Sinthia Bosnic-Anticevich, Romina Brignardello-Petersen, G Walter Canonica, Thomas Casale, et Niels H Chavannes. 2017. "Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA) guidelines—2016 revision." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 140 (4):950-958.
- Bullock, J. M., D. Chapman, S. Schafer, D. Roy, M. Girardello, T. Haynes, S. Beal, B. Wheeler, I. Dickie, Z. Phang, R. Tinch, Kristijan Čivić, Ben Delbaere, Laurence Jones-Walters, Andrea Hilbert, Andrew Schrauwen, Marje Prank, Mikhail Sofiev, Sami Niemelä, Petri Räisänen, Bev Lees, Murray Skinner, Steve Finch, et C. Brough. 2013. "Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe (ENV.B2/ETU/2010/0037)." : Natural Environment Research Council, UK.
- Burbach, G K, L M Heinzerling, G Edenharter, Claus Bachert, C Bindslev-Jensen, Sergio Bonini, J Bousquet, L Bousquet-Rouanet, PJ Bousquet, et M Bresciani. 2009. "GA2LEN skin test study II: clinical relevance of inhalant allergen sensitizations in Europe." *Allergy* 64 (10):1507-1515.
- Burki, Charlotte, Branko Šikoparija, Michel Thibaudon, Gilles Oliver, Donat Magyar, Orsolya Udvardy, Ádám Leelössy, Christophe Charpiloz, et Andreas Pauling. 2019. "Artificial neural networks can be used for *Ambrosia* pollen emission parameterization in COSMO-ART." *Atmospheric Environment* 218. doi: 10.1016/j.atmosenv.2019.116969.
- Burney, P., E. Malmberg, S. Chinn, D. Jarvis, C. Luczynska, et E. Lai. 1997. "The distribution of total and specific serum IgE in the european community respiratory health survey." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 99 (3):314-322. doi: 10.1016/S0091-6749(97)70048-4.
- Buttenschön, Rita M, Stephanie Waldspühl, et Christian Bohren. 2010. *Guidelines for management of common ragweed, Ambrosia artemisiifolia*: University of Copenhagen.
- Cahill Jr, JF., et BB. Casper. 1999. "Growth Consequences of Soil Nutrient Heterogeneity for two Old-field Herbs, *Ambrosia artemisiifolia* and *Phytolacca americana*, Grown Individually and in Combination." *Annals of Botany* 83 (4):471-478.
- Caillaud, D., M. Thibaudon, S. Martin, C. Ségala, J. P. Besancenot, B. Clot, H. François, et French Aerobiology Network. 2014. "Short-term Effects of Airborne Ragweed Pollen on Clinical Symptoms of Hay fever in a Panel of 30 Patients." *J Investig Allergol Clin Immunol* 24 (4):249-256.
- Canonica, G. W., J. Bousquet, J. Mullol, G. K. Scadding, et J. C. Virchow. 2007. "A survey of the burden of allergic rhinitis in Europe." *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 62 (SUPPL. 85):17-25. doi: 10.1111/j.1398-9995.2007.01549.x.
- Canonica, GW, PB Poulsen, et U Vestenbaek. 2007. "Cost-effectiveness of GRAZAX® for prevention of grass pollen induced rhinoconjunctivitis in Southern Europe." *Respiratory medicine* 101 (9):1885-1894.
- CARESP. 2005. "Place de l'allergie à l'ambroisie parmi les pollinoses DANS CERTAINS SECTEURS EN RHONE ALPES. Etat de la situation en 2004. ." : Centre Rhône-Alpes d'Epidémiologie et de Prévention Sanitaire (CARESP).
- Cayrol, Corinne, Anais Duval, Pauline Schmitt, Stephane Roga, Mylène Camus, Alexandre Stella, Odile Burllet-Schiltz, Anne Gonzalez-de-Peredo, et Jean-Philippe Girard. 2018. "Environmental allergens induce allergic inflammation through proteolytic maturation of IL-33." *Nature immunology* 19 (4):375-385.

- Cecchi, L., M. Morabito, PM Domeneghetti, A. Crisci, M. Onorari, et S. Orlandini. 2006. "Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy." *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 96 (1):86-91.
- Center for International Earth Science Information Network. 2016. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Count Adjusted to Match 2015. Revision of UN WPP Country Totals. . Palisades, NY, USA: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).
- Chakra, Oussama Abou, Françoise Rogerieux, Pascal Poncet, Jean-Pierre Sutra, Gabriel Peltre, Hélène Senechal, et Ghislaine Lacroix. 2011. "Ability of pollen cytoplasmic granules to induce biased allergic responses in a rat model." *International Archives of Allergy and Immunology* 154 (2):128-136.
- Chapman, D. S., L. Makra, R. Albertini, M. Bonini, A. Paldy, V. Rodinkova, B. Sikoparija, E. Weryszko-Chmielewska, et J. M. Bullock. 2016. "Modelling the introduction and spread of non-native species: international trade and climate change drive ragweed invasion." *Glob Chang Biol* 22 (9):3067-79. doi: 10.1111/gcb.13220.
- Chapman, Daniel S, Tom Haynes, Stephen Beal, Franz Essl, et James M Bullock. 2014. "Phenology predicts the native and invasive range limits of common ragweed." *Global Change Biology* 20 (1):192-202.
- Chapman, Martin D, Sabina Wünschmann, et Anna Pomés. 2007. "Proteases as Th2 adjuvants." *Current Allergy and Asthma Reports* 7 (5):363-367.
- Chauvel, B, A Rodriguez, C Moreau, Q Martinez, R Bilon, et G Fried. 2015. "Développement d'Ambrosia trifida L. en France: connaissances historiques et écologiques en vue d'une éradication de l'espèce." *Journal de Botanique de la Société botanique de France* 71:25-38.
- Choi, Young-Jin, Hae-Rin Oh, Jae-Won Oh, Kyu Rang Kim, Mi-Jin Kim, Baek-Jo Kim, et Won-Gi Baek. 2018. "Chamber and field studies demonstrate differential Amb a 1 contents in common ragweed depending on CO2 levels." *Allergy Asthma Immunol Res* 10 (3):278-282.
- Christensen, Lars H, Henrik Ipsen, Hendrik Nolte, Jennifer Maloney, Harold S Nelson, Richard Weber, et Kaare Lund. 2015. "Short ragweeds is highly cross-reactive with other ragweeds." *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 115 (6):490-495. e1.
- Chun, Young Jin, Boris Fumanal, Beryl Laitung, et François Bretagnolle. 2010. "Gene flow and population admixture as the primary post-invasion processes in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) populations in France." *New Phytologist* 185 (4):1100-1107.
- Ciacli, C. 2011. "Study on the involvement of ambrosia artemisiifolia pollen in causing allergic rhinitis in ARAD county." *Studia Universitatis Vasile Goldis Arad, Seria Stiintele Vietii* 21 (1):19-22.
- Clément, Olivia, Thomas Barnay, et Claude LePen. 2011. "Actualisation partielle du Guide méthodologique pour l'évaluation économique des stratégies de santé." *Collège des Économistes de la Santé, France*.
- Corsico, R, P Falagiani, R Ariano, D Berra, C Biale, F Bonifazi, P Campi, V Feliziani, G Frenguelli, et M Galimberti. 2000. "An epidemiological survey on the allergological importance of some emerging pollens in Italy." *J Investig Allergol Clin Immunol* 10 (3):155-161.
- Crowell, Hugh F, et Ralph EJ Boerner. 1988. "Influences of mycorrhizae and phosphorus on belowground competition between two old-field annuals." *Environmental and Experimental Botany* 28 (4):381-392.
- Crown, W. H., A. Olufade, M. W. Smith, et R. Nathan. 2003. "Seasonal versus perennial allergic rhinitis: drug and medical resource use patterns." *Value Health* 6 (4):448-56. doi: 10.1046/j.1524-4733.2003.64231.x.
- Cunningham, Paula T, Claire E Elliot, Jason C Lenzo, Andrew G Jarnicki, Alexander N Larcombe, Graeme R Zosky, Patrick G Holt, et Wayne R Thomas. 2012. "Sensitizing and Th2 adjuvant activity of cysteine protease allergens." *International Archives of Allergy and Immunology* 158 (4):347-358.
- Cunze, Sarah, Marion Carmen Leiblein, et Oliver Tackenberg. 2013. "Range expansion of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe is promoted by climate change." *ISRN Ecology* 2013.
- Cvitanovic, S., L. Znaor, B. Kanceljak-Macan, J. Macan, I. Gudelj, et D. Grbic. 2007. "Allergic rhinitis and asthma in southern Croatia: impact of sensitization to *Ambrosia elatior*." *Croat Med J* 48 (1):68-75.

- D'Amato, G., et L. Cecchi. 2008. "Effects of climate change on environmental factors in respiratory allergic diseases." *Clinical & Experimental Allergy* 38 (8):1264-1274. doi: 10.1111/j.1365-2222.2008.03033.x.
- D'Amato, Gennaro, Isabella Annesi-Maesano, Lorenzo Cecchi, et Maria D'Amato. 2019. "Latest news on relationship between thunderstorms and respiratory allergy, severe asthma, and deaths for asthma." *Allergy* 74 (1):9-11.
- Dahl, Åslög. 2018. "Pollen lipids can play a role in allergic airway inflammation." *Frontiers in Immunology* 9:2816.
- de Weger, L. A., C. H. Pashley, B. Sikoparija, C. A. Skjoth, I. Kasprzyk, L. Grewling, M. Thibaudon, D. Magyar, et M. Smith. 2016. "The long distance transport of airborne Ambrosia pollen to the UK and the Netherlands from Central and south Europe." *Int J Biometeorol* 60 (12):1829-1839. doi: 10.1007/s00484-016-1170-7.
- Deb, Roona, Farouk Shakib, Kenneth Reid, et Howard Clark. 2007. "Major house dust mite allergens *Dermatophagoides pteronyssinus* 1 and *Dermatophagoides farinae* 1 degrade and inactivate lung surfactant proteins A and D." *Journal of Biological Chemistry* 282 (51):36808-36819.
- Déchamp, C, et H Ambroisies Meon. 2002. "Ambrosia, polluants biologiques, 2e éd." *Collection L'homme et... Lyon: ARPPAM Éditions.*
- Deen, W., L. A. Hunt, et C. J. Swanton. 1998. "Photothermal time describes common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) phenological development and growth." *Weed Science* 46 (5):561-568.
- Deen, W., T. Hunt, et C. J. Swanton. 1998. "Influence of temperature, photoperiod, and irradiance on the phenological development of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*)." *Weed Science* 46 (5):555-560.
- Deen, William, Clarence J. Swanton, et L. Anthony Hunt. 2001. "A Mechanistic Growth and Development Model of Common Ragweed." *Weed Science* 49 (6):723-731.
- Deloraine, Anne. 2005. "Place de l'allergie due à l'ambroisie parmi les pollinoses en Rhone-Alpes." : Plan régional pour la qualité de l'air en Rhône-Alpes.
- Dervaderics, M., G. Fust, M. Otos, J. Barok, et G. Pataky. 2002. "Differences in the sensitisation to ragweed pollen and occurrence of late summer allergic symptoms between native and immigrant workers of the nuclear power plant of Hungary." *Immunol Invest* 31 (1):29-40. doi: 10.1081/IMM-120003220.
- Desplat, Rozenn, et Marc Ferracci. 2016. "Comment évaluer l'impact des politiques publiques?" *Évaluation.*
- Dessaint, F., B. Chauvel, et F. Bretagnolle. 2005. "L'ambroisie : chronique de l'extension d'un « polluant biologique » en France." *M/S* 21 (2):207-209. doi: 10.7202/010556ar.
- Devillier, P, J Bousquet, H Salvator, E Naline, S Grassin-Delyle, et O de Beaumont. 2016. "In allergic rhinitis, work, classroom and activity impairments are weakly related to other outcome measures." *Clinical & Experimental Allergy* 46 (11):1456-1464.
- Dharajiya, Nilesh, Barun K Choudhury, Attila Bacsi, Istvan Boldogh, Rafeul Alam, et Sanjiv Sur. 2007. "Inhibiting pollen reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate oxidase-induced signal by intrapulmonary administration of antioxidants blocks allergic airway inflammation." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 119 (3):646-653.
- Dharajiya, Nilesh G, Attila Bacsi, Istvan Boldogh, et Sanjiv Sur. 2007. "Pollen NAD (P) H oxidases and their contribution to allergic inflammation." *Immunology and Allergy Clinics of North America* 27 (1):45-63.
- Dickerson, CTJ. 1969. "Studies on the Germination, Growth, Development and Control of Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.)."
- DiTommaso, Antonio. 2004. "Germination behavior of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) populations across a range of salinities." *Weed Science* 52 (6):1002-1009.
- Drummond, Michael F, Mark J Sculpher, Karl Claxton, Greg L Stoddart, et George W Torrance. 2015. *Methods for the economic evaluation of health care programmes*: Oxford university press.
- Duval, A. 2008. "Projet description - MONALISA - MOnitoring Network of ALlergens by Immuno-SAmpling." : LIFE05 ENV/F/000068.

- EFSA. 2010. "Scientific Opinion on the effect on public or animal health or on the environment on the presence of seeds of *Ambrosia* spp. in animal feed." : EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition Allergies, EFSA Panel on Plant Health; Rapport N°: 1831-4732 Contract No.: 6. 1566.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain , EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, Allergies, et EFSA Panel on Plant Health. 2010. "Scientific Opinion on the effect on public or animal health or on the environment on the presence of seeds of *Ambrosia* spp. in animal feed." *EFSA Journal* 8 (6):1566.
- Egger, M, S Mutschlechner, N Wopfner, Gabriele Gadermaier, P Briza, et F Ferreira. 2006. "Pollen-food syndromes associated with weed pollinosis: an update from the molecular point of view." *Allergy* 61 (4):461-476.
- El Kelish, Amr, Feng Zhao, Werner Heller, Jörg Durner, J Barbro Winkler, Heidrun Behrendt, Claudia Traidl-Hoffmann, Ralf Horres, Matthias Pfeifer, et Ulrike Frank. 2014. "Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity: SuperSAGE transcriptomic analysis upon elevated CO₂ and drought stress." *BMC Plant Biol* 14 (1):176.
- Essl, Franz, Krisztina Biró, Dietmar Brandes, Olivier Broennimann, James M Bullock, Daniel S Chapman, Bruno Chauvel, Stefan Dullinger, Boris Fumanal, et Antoine Guisan. 2015. "Biological flora of the British Isles: *Ambrosia artemisiifolia*." *Journal of Ecology* 103 (4):1069-1098.
- Essl, Franz, Stefan Dullinger, et Ingrid Kleinbauer. 2009. "Changes in the spatio-temporal patterns and habitat preferences of *Ambrosia artemisiifolia* during its invasion of Austria." *Preslia* 81 (2):119-133.
- Eurostat. 2018. "Regions in the European Union. Nomenclature of territorial units for statistics - NUTS 2016/EU-28. Edition 2018." Luxembourg: Commission Européenne.
- Faber, Margaretha A, Athina L Van Gasse, Ine I Decuyper, Vito Sabato, Margo M Hagendorens, Christel Mertens, Chris H Britts, Luc S De Clerck, et Didier G Ebo. 2018. "Cross-reactive aeroallergens: which need to cross our mind in food allergy diagnosis?" *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice* 6 (6):1813-1823.
- Fernández, Consuelo, Manuel Martín-Esteban, Ana Fiandor, Cristina Pascual, Concha López Serrano, Fernando Martínez Alzamora, JoséM Díaz Pena, et JoséA Ojeda Casas. 1993. "Analysis of cross-reactivity between sunflower pollen and other pollens of the Compositae family." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 92 (5):660-667.
- FloraNorthAmerica. 2006. Volume 21: Magnoliophyta: Asteridae (in part): Asteraceae, part 3. : Oxford University Press, New York, NY, USA.
- Friedman, Jannice, et Spencer CH Barrett. 2008. "High outcrossing in the annual colonizing species *Ambrosia artemisiifolia* (Asteraceae)." *Annals of Botany* 101 (9):1303-1309.
- Fuhrman, Claire, Hélène Sarter, Michel Thibaudon, Marie-Christine Delmas, Abdelkrim Zeghnoun, Jérôme Lecadet, et Denis Caillaud. 2007. "Short-term effect of pollen exposure on antiallergic drug consumption." *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 99 (3):225-231.
- Fumanal, B., B. Chauvel, et F. Bretagnolle. 2007. "Estimation of pollen and seed production of common ragweed in France." *Ann Agric Environ Med* 14 (2):233-236.
- Fumanal, Boris. 2007. "Caractérisation des traits biologiques et des processus évolutifs d'une espèce envahissante en France: *Ambrosia artemisiifolia* L."
- Fumanal, Boris, Bruno Chauvel, Anne Sabatier, et François Bretagnolle. 2007. "Variability and cryptic heteromorphism of *Ambrosia artemisiifolia* seeds: what consequences for its invasion in France?" *Annals of Botany* 100 (2):305-313.
- Fumanal, Boris, Christophe Girod, Guillaume Fried, François Bretagnolle, et Bruno Chauvel. 2008. "Can the large ecological amplitude of *Ambrosia artemisiifolia* explain its invasive success in France?" *Weed Research* 48 (4):349-359.
- Fumanal, Boris, Christian Plenchette, Bruno Chauvel, et François Bretagnolle. 2006. "Which role can arbuscular mycorrhizal fungi play in the facilitation of *Ambrosia artemisiifolia* L. invasion in France?" *Mycorrhiza* 17 (1):25-35.
- Furmonaviciene, R, AM Ghaemmaghami, Sarah Elizabeth Boyd, NS Jones, Kay Bailey, Antony C Willis, HF Sewell, DA Mitchell, et Farouk Shakib. 2007. "The protease allergen Der p 1 cleaves cell

- surface DC-SIGN and DC-SIGNR: experimental analysis of in silico substrate identification and implications in allergic responses." *Clinical & Experimental Allergy* 37 (2):231-242.
- Gadermaier, Gabriele, Nicole Wopfner, Michael Wallner, Matthias Egger, Alain Didierlaurent, Gerhard Regl, Fritz Aberger, Roland Lang, Fatima Ferreira, et Thomas Hawranek. 2008. "Array-based profiling of ragweed and mugwort pollen allergens." *Allergy* 63 (11):1543-1549.
- Gallandt, Eric R, Thomas Molloy, Ryan P Lynch, et Francis A Drummond. 2005. "Effect of cover-cropping systems on invertebrate seed predation." *Weed Science* 53 (1):69-76.
- Gallien, Laure, Tamara Münkemüller, Cécile H Albert, Isabelle Boulangeat, et Wilfried Thuiller. 2010. "Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here?" *Diversity and Distributions* 16 (3):331-342.
- Gard, B, François Bretagnolle, Fabrice Dessaint, et Beryl Laitung. 2013. "Invasive and native populations of common ragweed exhibit strong tolerance to foliar damage." *Basic and Applied Ecology* 14 (1):28-35.
- Gard, Benjamin. 2012. "Processus écologiques et évolutifs influençant la colonisation de l'ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L.) en France." Dijon.
- Gaudeul, Myriam, Tatiana Giraud, Levente Kiss, et Jacqui A Shykoff. 2011. "Nuclear and chloroplast microsatellites show multiple introductions in the worldwide invasion history of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*." *PLoS ONE* 6 (3).
- Gebben, AL. 1965. "The ecology of common ragweed *Ambrosia artemisiifolia* L. in southeastern Michigan." (*PhD dissertation*). *University of Michigan*.
- Gelas, A. 2013. "Rapport sur l'ambroisie en région Rhône-Alpes : analyse des données environnementales et médico-économiques 2012." : ARS Rhône-Alpes et Groupe de travail régional sur l'ambroisie.
- Gelas, A. 2015. "Rapport sur l'ambroisie en région Rhône-Alpes : analyse des données environnementales et médico-économiques en 2013 et 2014 " : ARS Rhône-Alpes et Groupe de travail régional sur l'ambroisie.
- Gentili, R., R. Ambrosini, C. Montagnani, S. Caronni, et S. Citterio. 2018. "Effect of soil pH on the growth, reproductive investment and pollen allergenicity of *Ambrosia artemisiifolia* L." *Front Plant Sci* 9:1335.
- Gentili, Rodolfo, Riccardo Asero, Sarah Caronni, Maria Guarino, Chiara Montagnani, Gianni Mistrello, et Sandra Citterio. 2019. "*Ambrosia artemisiifolia* L. temperature-responsive traits influencing the prevalence and severity of pollinosis: a study in controlled conditions." *BMC Plant Biol* 19 (1):155.
- Genton, BJ, JA Shykoff, et T Giraud. 2005. "High genetic diversity in French invasive populations of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*, as a result of multiple sources of introduction." *Molecular Ecology* 14 (14):4275-4285.
- Gerber, E., U. Schaffner, A. Gassmann, H. L. Hinz, M. Seier, et H. MÜLLER-SchÄRer. 2011. "Prospects for biological control of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe: learning from the past." *Weed Research* 51 (6):559-573. doi: 10.1111/j.1365-3180.2011.00879.x.
- Gergen, P. J., et P. C. Turkeltaub. 1992. "The association of individual allergen reactivity with respiratory disease in a national sample: data from the second National Health and Nutrition Examination Survey, 1976-80 (NHANES II)." *J Allergy Clin Immunol* 90 (4 Pt 1):579-88. doi: 10.1016/0091-6749(92)90130-T.
- Geroldinger-Simic, M., T. Zelniker, W. Aberer, C. Ebner, C. Egger, A. Greiderer, N. Prem, J. Lidholm, B. K. Ballmer-Weber, et S. Vieths. 2011. "Birch pollen-related food allergy: Clinical aspects and the role of allergen-specific IgE and IgG4 antibodies." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 127 (3):616-622. e1.
- Ghiani, A, R Aina, R Asero, E Bellotto, et S Citterio. 2012. "Ragweed pollen collected along high-traffic roads shows a higher allergenicity than pollen sampled in vegetated areas." *Allergy* 67 (7):887-894.
- Ghiani, Alessandra, Silvia Ciappetta, Rodolfo Gentili, Riccardo Asero, et Sandra Citterio. 2016. "Is ragweed pollen allergenicity governed by environmental conditions during plant growth and flowering?" *Sci Rep* 6:30438.

- Ghosh, Balaram, Michael P Perry, Thorunn Rafnar, et DG Marsh. 1993. "Cloning and expression of immunologically active recombinant Amb a V allergen of short ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen." *The Journal of Immunology* 150 (12):5391-5399.
- Ghosh, Nandini, Gaurab Sircar, Bodhisattwa Saha, Naren Pandey, et Swati Gupta Bhattacharya. 2015. "Search for allergens from the pollen proteome of sunflower (*Helianthus annuus* L.): a major sensitizer for respiratory allergy patients." *PLoS ONE* 10 (9).
- Gilles-Stein, S, I Beck, A Chaker, M Bas, M McIntyre, L Cifuentes, A Petersen, J Gutermuth, C Schmidt-Weber, et H Behrendt. 2016. "Pollen derived low molecular compounds enhance the human allergen specific immune response in vivo." *Clinical & Experimental Allergy* 46 (10):1355-1365.
- Girsh, L. 1982. "Ragweed pollen in the United States: utilization of graphic maps." *Ann Allergy* 49:23-28.
- Gladieux, Pierre, Tatiana Giraud, Levente Kiss, Benjamin J Genton, Odile Jonot, et Jacqui A Shykoff. 2011. "Distinct invasion sources of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) in Eastern and Western Europe." *Biological Invasions* 13 (4):933-944.
- Global Burden of Disease Collaborative Network. 2018. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Disability Weights. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME).
- Goeden, RD, et LA Andres. 1999. "Three recent successes outside of North America." *Handbook of biological control*:884-885.
- Goeden, RD, et WA Palmer. 1995. "Lessons learned from studies of the insects associated with Ambrosiinae in North America in relation to the biological control of weedy members of this group." Eighth International Symposium on Biological Control of Weeds, Canterbury, New Zealand.
- Gordon, C., C. Cooper, C. A. Senior, H. Banks, J. M. Gregory, T. C. Johns, J. F. B. Mitchell, et R. A. Wood. 2000. "The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments." *Climate Dynamics* 16 (2):147-168. doi: 10.1007/s003820050010.
- Gough, Lucy, Oliver Schulz, Herb F Sewell, et Farouk Shakib. 1999. "The cysteine protease activity of the major dust mite allergen Der p 1 selectively enhances the immunoglobulin E antibody response." *J Exp Med* 190 (12):1897-1902.
- Greiner, A. N., P. W. Hellings, G. Rotiroti, et G. K. Scadding. 2011. "Allergic rhinitis." *The Lancet* 378 (9809):2112-2122. doi: 10.1016/s0140-6736(11)60130-x.
- Grewling, L., P. Bogawski, D. Jenerowicz, M. Czarnecka-Operacz, B. Sikoparija, C. A. Skjoth, et M. Smith. 2016. "Mesoscale atmospheric transport of ragweed pollen allergens from infected to uninfected areas." *Int J Biometeorol* 60 (10):1493-1500. doi: 10.1007/s00484-016-1139-6.
- Grewling, L., D. Jenerowicz, P. Bogawski, M. Smith, M. Nowak, A. Fraczak, et M. Czarnecka-Operacz. 2018. "Cross-sensitization to Artemisia and Ambrosia pollen allergens in an area located outside of the current distribution range of Ambrosia." *Postepy Dermatol Alergol* 35 (1):83-89. doi: 10.5114/ada.2018.73167.
- Grewling, Łukasz, Paweł Bogawski, Maciej Kryza, Donat Magyar, Branko Šikoparija, Carsten Ambelas Skjøth, Orsolya Udvardy, Małgorzata Werner, et Matt Smith. 2019. "Concomitant occurrence of anthropogenic air pollutants, mineral dust and fungal spores during long-distance transport of ragweed pollen." *Environmental Pollution* 254:112948.
- Gruber, Petra, Gabriele Gadermaier, Roman Bauer, Richard Weiss, Stefan Wagner, Renaud Leonard, Heimo Breiteneder, Christof Ebner, Fatima Ferreira, et Matthias Egger. 2009. "Role of the polypeptide backbone and post-translational modifications in cross-reactivity of Art v 1, the major mugwort pollen allergen." *Biological chemistry* 390 (5/6):445-451.
- Guillaud, G. . 2017. "Evaluation de l'exposition aux pollens d'ambroisie, année 2016." : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. 19.
- Guillemin, J-P., et B. Chauvel. 2011. "Effects of the seed weight and burial depth on the seed behavior of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*)." *Weed Biology and Management* 11 (4):217-223.
- Guisan, Antoine, et Wilfried Thuiller. 2005. "Predicting species distribution: offering more than simple habitat models." *Ecology Letters* 8 (9):993-1009. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x.

- Gutermuth, J., M. Bewersdorff, C. Traidl-Hoffmann, J. Ring, M. JJ Mueller, H. Behrendt, et T. Jakob. 2007. "Immunomodulatory effects of aqueous birch pollen extracts and phytoprostanes on primary immune responses in vivo." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 120 (2):293-299.
- Hamaoui-Laguel, L., R. Vautard, L. Liu, F. Solmon, N. Viovy, D. Khvorostyanov, F. Essl, I. Chuine, A. Colette, M. A. Semenov, A. Schaffhauser, J. Storkey, M. Thibaudon, et M. M. Epstein. 2015. "Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe." *Nature Climate Change* 5 (8):766-771. doi: 10.1038/nclimate2652.
- Harrington Jr, James B, et Kurt Metzger. 1963. "Ragweed pollen density." *American Journal of Botany* 50 (6Part1):532-539.
- Heinzerling, L. M., G. J. Burbach, G. Edenharter, C. Bachert, C. Bindslev-Jensen, S. Bonini, J. Bousquet, L. Bousquet-Rouanet, P. J. Bousquet, M. Bresciani, A. Bruno, P. Burney, G. W. Canonica, U. Darsow, P. Demoly, S. Durham, W. J. Fokkens, S. Giavi, M. Gjomarkaj, C. Gramiccioni, T. Haahtela, M. L. Kowalski, P. Magyar, G. Muraközi, M. Orosz, N. G. Papadopoulos, C. Röhnelt, G. Stingl, A. Todo-Bom, E. Von Mutius, A. Wiesner, S. Wöhrl, et T. Zuberbier. 2009. "GA2LEN skin test study I: GA²LEN harmonization of skin prick testing: novel sensitization patterns for inhalant allergens in Europe." *Allergy* 64 (10):1498-1506. doi: 10.1111/j.1398-9995.2009.02093.x.
- Helbig, N., B. Vogel, H. Vogel, et F. Fiedler. 2004. "Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale." *Aerobiologia* 20 (1):3-19.
- Hewitt, CRA, S Foster, C Phillips, H Horton, RM Jones, AP Brown, BJ Hart, et DI Pritchard. 1998. "Mite allergens: significance of enzymatic activity." *Allergy* 53:60-63.
- Hijmans, R. J. . 2020. "raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.1-5." : <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Hodgins, KA, et L Rieseberg. 2011. "Genetic differentiation in life-history traits of introduced and native common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) populations." *Journal of evolutionary biology* 24 (12):2731-2749.
- Hoflich, C., G. Balakirski, Z. Hajdu, J. M. Baron, L. Kaiser, K. Czaja, H. F. Merk, S. Gerdson, U. Strassen, M. Bas, H. Bier, W. Dott, H. G. Mucke, W. Straff, A. Chaker, et S. Roseler. 2016. "Potential health risk of allergenic pollen with climate change associated spreading capacity: Ragweed and olive sensitization in two German federal states." *Int J Hyg Environ Health* 219 (3):252-60. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.01.007.
- Höllbacher, Barbara, Armin O Schmitt, Heidi Hofer, Fatima Ferreira, et Peter Lackner. 2017. "Identification of proteases and protease inhibitors in allergenic and non-allergenic pollen." *Int J Mol Sci* 18 (6):1199.
- Holloway, John W., Ian A. Yang, et Stephen T. Holgate. 2010. "Genetics of allergic disease." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 125 (2):S81-S94. doi: 10.1016/j.jaci.2009.10.071.
- Hurt, George C, Steve Frolking, MG Fearon, B Moore, E Shevliakova, S Malyshev, Stephen Wilson Pacala, et RA Houghton. 2006. "The underpinnings of land-use history: Three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands." *Global Change Biology* 12 (7):1208-1229.
- Husson, JF, et L Aïchi. 2015. "Rapport fait au nom de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air." *Rapport au Sénat* (610).
- InVS. 2008. "Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Concepts et méthodes." ; .
- Jäger, S. 2000. "Ragweed (*Ambrosia*) sensitisation rates correlate with the amount of inhaled airborne pollen. A 14-year study in Vienna, Austria." *Aerobiologia* 16 (1):149-153. doi: 10.1023/A:1007603321556.
- Jahn-Schmid, Beatrice, Michael Hauser, Nicole Wopfner, Peter Briza, Uwe E Berger, Riccardo Asero, Christof Ebner, Fatima Ferreira, et Barbara Bohle. 2012. "Humoral and cellular cross-reactivity between Amb a 1, the major ragweed pollen allergen, and its mugwort homolog Art v 6." *The Journal of Immunology* 188 (3):1559-1567.
- Jiménez, Antonio, Carmen Moreno, Jorge Martínez, Alberto Martínez, Borja Bartolomé, Francisco Guerra, et Ricardo Palacios. 1994. "Sensitization to sunflower pollen: only an occupational allergy?" *International Archives of Allergy and Immunology* 105 (3):297-307.

- Jones, N. R., M. Agnew, I. Banic, C. M. Grossi, F. J. Colon-Gonzalez, D. Plavec, C. M. Goodess, M. M. Epstein, M. Turkalj, et I. R. Lake. 2019. "Ragweed pollen and allergic symptoms in children: Results from a three-year longitudinal study." *Sci Total Environ* 683:240-248. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.284.
- Julien, Mic H, et Manon W Griffiths. 1998. *Biological control of weeds: a world catalogue of agents and their target weeds.. ed. 4*: Cab International.
- Juniper, Elizabeth F. 1997. "Measuring health-related quality of life in rhinitis." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 99 (2):S742-S749.
- Juniper, Elizabeth F, Ann K Thompson, Penelope J Ferrie, et Jeremy N Roberts. 1999. "Validation of the standardized version of the Rhinoconjunctivitis Quality of Life Questionnaire." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 104 (2):364-369.
- Kang, H. Y., C. S. Park, H. R. Bang, V. Sazonov, et C. J. Kim. 2008. "Effect of allergic rhinitis on the use and cost of health services by children with asthma." *Yonsei Med J* 49 (4):521-9. doi: 10.3349/ymj.2008.49.4.521.
- Kanter, Ulrike, Werner Heller, Jörg Durner, J Barbro Winkler, Marion Engel, Heidrun Behrendt, Andreas Holzinger, Paula Braun, Michael Hauser, et Fatima Ferreira. 2013. "Molecular and immunological characterization of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen after exposure of the plants to elevated ozone over a whole growing season." *PLoS ONE* 8 (4).
- Karrer, G, M Milakovic, M Kropf, G Hackl, F Essl, M Hauser, M Mayer, C Blöch, M Leitsch-Vitalos, et A Dlugosch. 2011. "Dispersal and management of a highly allergenic introduced plant—pathways and causes for the dispersal of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) and options for control." *BMLFUW, Vienna* 329.
- Katellaris, C. H., T. V. Burke, et K. Byth. 2004. "Spatial variability in the pollen count in Sydney, Australia: can one sampling site accurately reflect the pollen count for a region?" *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 93 (2):131-136. doi: [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)61464-0](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)61464-0).
- Kazinczi, G, I Béres, Zs Pathy, et R Novák. 2008. "Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.): a review with special regards to the results in Hungary: II." *Importance and harmful effect, allergy, habitat, allelopathy and beneficial characteristics. Herbologia* 9 (1):93-118.
- Keane, Ryan M, et Michael J Crawley. 2002. "Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis." *Trends in ecology & evolution* 17 (4):164-170.
- Kiss, L, L Vajna, G Bohár, K Varga, U Paksiri, S Takamatsu, et D Magyar. 2003. "Phyllachora epidemic on common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*): a unique natural control phenomenon in Hungary in 1999." Workshop on Biocontrol of Weeds with Pathogens, Lincoln, New Zealand.
- Kiss, Levente. 2007. "Is *Puccinia xanthii* a suitable biological control agent of *Ambrosia artemisiifolia*?" *Biocontrol Science and Technology* 17 (5):535-539.
- Kljajić, N., J. Mišulić, M. Čičak, E. Stoini, et N. S. Zubanović. 2019. "Allergic hypersensitivity in child population of Šibenik-Knin County." *Medica Jadertina* 49 (1):59-66.
- Klossek, Jean-Michel, Isabella Annesi-Maesano, Céline Pribil, et Alain Didier. 2009. "INSTANT: national survey of allergic rhinitis in a French adult population based-sample." *Presse medicale (Paris, France: 1983)* 38 (9):1220-1229.
- Kulig, M., R. Bergmann, U. Klettke, V. Wahn, U. Tacke, et U. Wahn. 1999. "Natural course of sensitization to food and inhalant allergens during the first 6 years of life." *J Allergy Clin Immunol* 103 (6):1173-9. doi: 10.1016/s0091-6749(99)70195-8.
- Lake, I. R., N. R. Jones, M. Agnew, C. M. Goodess, F. Giorgi, L. Hamaoui-Laguel, M. A. Semenov, F. Solomon, J. Storkey, et R. Vautard. 2017. "Climate change and future pollen allergy in Europe." *Environmental Health Perspectives* 125 (3):385-391.
- Lamb, Charles E, Paul H Ratner, Clarion E Johnson, Ambarish J Ambegaonkar, Ashish V Joshi, David Day, Najah Sampson, et Benjamin Eng. 2006. "Economic impact of workplace productivity losses due to allergic rhinitis compared with select medical conditions in the United States from an employer perspective." *Current Medical Research and Opinion* 22 (6):1203-1210.
- Lang, Kathleen, Felicia Allen-Ramey, Huan Huang, Marvin Rock, Elise Kaufman, et Mark S Dykewicz. 2016. "Health care resource use and associated costs among patients with seasonal versus perennial allergic rhinitis." *Allergy & Asthma Proceedings*.

- Leiblein-Wild, Marion Carmen, et Oliver Tackenberg. 2014. "Phenotypic variation of 38 European *Ambrosia artemisiifolia* populations measured in a common garden experiment." *Biological Invasions* 16 (9):2003-2015.
- Leriche, A. 2010. "Introduction à la modélisation de la distribution des espèces." Consulté le Feb 14 2020. https://www.eccorev.fr/IMG/pdf/leriche_mod2010.pdf.
- Levesque, B., J. F. Duchesne, S. Gingras, P. Allard, E. Delvin, J. Aubin, M. Rhainds, P. Lajoie, et P. Ernst. 2005. "Total and specific immunoglobulin E and their relationship to respiratory symptoms in Quebec children and adolescents." *Can Respir J* 12 (8):426-32. doi: 10.1155/2005/248714.
- Lévy, E, et G de Pouvourville. 2003. "Guide méthodologique pour l'évaluation économique des stratégies de santé." : Collège des économistes de la santé.
- Leynaert, Bénédicte, Françoise Neukirch, Pascal Demoly, et Jean Bousquet. 2000. "Epidemiologic evidence for asthma and rhinitis comorbidity." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 106 (5):S201-S205.
- Lin, R. Y., et K. D. Williams. 2003. "Hypersensitivity to molds in New York City in adults who have asthma." *Allergy Asthma Proc* 24 (1):13-8.
- Liu, Li, Fabien Solmon, Robert Vautard, Lynda Hamaoui-Laguel, Csaba Zsolt Torma, et Filippo Giorgi. 2016. "Ragweed pollen production and dispersion modelling within a regional climate system, calibration and application over Europe." *Biogeosciences* 13 (9):2769-2786. doi: 10.5194/bg-13-2769-2016.
- Lombardi, C., G. W. Canonica, et G. Passalacqua. 2011. "The possible influence of the environment on respiratory allergy: A survey on immigrants to Italy." *Annals of Allergy, Asthma and Immunology* 106 (5):407-411. doi: 10.1016/j.anai.2011.01.023.
- Lommen, Suzanne T. E., Eelke Jongejans, Melinda Leitsch-Vitalos, Barbara Tokarska-Guzik, Mihály Zalai, Heinz Müller-Schärer, et Gerhard Karrer. 2018. "Time to cut: population models reveal how to mow invasive common ragweed cost-effectively." *NeoBiota* 39:53-78. doi: 10.3897/neobiota.39.23398.
- López-Rodríguez, Juan Carlos, Juliana Manosalva, J Daniel Cabrera-García, María M Escibese, Mayte Villalba, Domingo Barber, Antonio Martínez-Ruiz, et Eva Batanero. 2019. "Human glutathione-S-transferase pi potentiates the cysteine-protease activity of the Der p 1 allergen from house dust mite through a cysteine redox mechanism." *Redox biology* 26:101256.
- Lucas, Jose Antonio, Enrique Gutierrez-Albanchez, Teresa Alfaya, Francisco Feo-Brito, et Francisco Javier Gutiérrez-Mañero. 2019. "Oxidative stress in ryegrass growing under different air pollution levels and its likely effects on pollen allergenicity." *Plant physiology and biochemistry* 135:331-340.
- Luchini, Stéphane. 2002. "De la singularité de la méthode d'évaluation contingente." *Économie et statistique* 357 (1):141-152.
- Mack, Richard N, Daniel Simberloff, W Mark Lonsdale, Harry Evans, Michael Clout, et Fakhri A Bazzaz. 2000. "Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control." *Ecological Applications* 10 (3):689-710.
- Makra, L, I Matyasovszky, L Hufnagel, et G Tusnady. 2015. "The history of ragweed in the world." *Applied Ecology and Environmental Research* 13 (2):489-512.
- Malherbe, Laure, Maxime Beauchamp, Chantal de Fouquet, M Valsania, Frédéric Meleux, et Anthony Ung. 2017. "Spatio-temporal Kriging for Air Quality Forecasting."
- Mariani, Valentina, Stefanie Gilles, Thilo Jakob, Martina Thiel, Martin J Mueller, Johannes Ring, Heidrun Behrendt, et Claudia Traidl-Hoffmann. 2007. "Immunomodulatory mediators from pollen enhance the migratory capacity of dendritic cells and license them for Th2 attraction." *The Journal of Immunology* 178 (12):7623-7631.
- Marks, Peter L. 1983. "On the origin of the field plants of the northeastern United States." *The American Naturalist* 122 (2):210-228.
- Martin, Michael D., Marcelo Chamecki, et Grace S. Brush. 2010. "Anthesis synchronization and floral morphology determine diurnal patterns of ragweed pollen dispersal." *Agricultural and Forest Meteorology* 150 (9):1307-1317. doi: 10.1016/j.agrformet.2010.06.001.

- Martinez, Fernando D. 1999. "Maturation of immune responses at the beginning of asthma." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 103 (3):355-361. doi: [https://doi.org/10.1016/S0091-6749\(99\)70456-2](https://doi.org/10.1016/S0091-6749(99)70456-2).
- Matcrouski, CJ, et Kenneth P Mathews. 1962. "The prevalence of ragweed pollinosis in foreign and native students at a midwestern university and its implications concerning methods for determining the inheritance of atopy." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 33 (2):130-140.
- Maurer, M., et T. Zuberbier. 2007. "Undertreatment of rhinitis symptoms in Europe: Findings from a cross-sectional questionnaire survey." *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 62 (9):1057-1063. doi: 10.1111/j.1398-9995.2007.01367.x.
- McFadyen, RE, et K Weggler-Beaton. 2000. "The biology and host specificity of *Liothrips* sp.(Thysanoptera: Phlaeothripidae), an agent rejected for biocontrol of annual ragweed." *Biological Control* 19 (2):105-111.
- Mehulić, M., K. Mehulić, I. M. Vuljanko, S. Kukulj, S. P. Grle, A. D. Vukić, B. Barišić, et D. Plavec. 2011. "Changing pattern of sensitization in Croatia to aeroallergens in adult population referring to allergy clinic during a period of 15 years." *Coll Antropol* 35 (2):529-536.
- Meltzer, E. O., J. R. Farrar, et C. Sennett. 2017. "Findings from an Online Survey Assessing the Burden and Management of Seasonal Allergic Rhinoconjunctivitis in US Patients." *J Allergy Clin Immunol Pract* 5 (3):779-789 e6. doi: 10.1016/j.jaip.2016.10.010.
- Miao, B, B Turner, B Simpson, et T Mabry. 1995. "Chloroplast DNA study of the genera *Ambrosia* s.l and *Hymenoclea* (Asteraceae): Systematic implications." *Plant Systematics and Evolution* 194 (3-4):241-255.
- Miao, Bomao, Billie L Turner, et Tom J Mabry. 1995. "Systematic implications of chloroplast DNA variation in the subtribe Ambrosiinae (Asteraceae: Heliantheae)." *American Journal of Botany* 82 (7):924-932.
- Milanova, Senka, Vladimir Vladimirov, et Svetla Maneva. 2010. "Suppressive effect of some forage plants on the growth of *Ambrosia artemisiifolia* and *Iva xanthiifolia*." *Pesticidi i fitomedicina* 25 (2):171-176.
- Montagnani, C, R Gentili, Matt Smith, MF Guarino, et S Citterio. 2017. "The worldwide spread, success, and impact of ragweed (*Ambrosia* spp.)." *Critical Reviews in Plant Sciences* 36 (3):139-178.
- Motta, Alexandre C, Maryse Marliere, Gabriel Peltre, PA Sterenberg, et Ghislaine Lacroix. 2006. "Traffic-related air pollutants induce the release of allergen-containing cytoplasmic granules from grass pollen." *International Archives of Allergy and Immunology* 139 (4):294-298.
- Motta, Alexandre, Gabriel Peltre, JAMA Dormans, CET Withagen, Ghislaine Lacroix, F Bois, et PA Steerenberg. 2004. "Phleum pratense pollen starch granules induce humoral and cell-mediated immune responses in a rat model of allergy." *Clinical & Experimental Allergy* 34 (2):310-314.
- Mouttet, Raphaëlle, Benno Augustinus, Maira Bonini, Bruno Chauvel, Nicolas Desneux, Emmanuel Gachet, Thomas Le Bourgeois, Heinz Müller-Schärer, Michel Thibaudon, et Urs Schaffner. 2018. "Estimating economic benefits of biological control of *Ambrosia artemisiifolia* by *Ophraella communa* in southeastern France." *Basic and Applied Ecology* 33:14-24. doi: 10.1016/j.baae.2018.08.002.
- Mulder, B, Feikje Groenhof, LI Kocabas, HJ Bos, TW De Vries, E Hak, et CCM Schuiling-Veninga. 2016. "Identification of Dutch children diagnosed with atopic diseases using prescription data: a validation study." *European journal of clinical pharmacology* 72 (1):73-82.
- Müller-Schärer, Heinz, et Urs Schaffner. 2008. "Classical biological control: exploiting enemy escape to manage plant invasions." *Biological Invasions* 10 (6):859-874.
- Müller-Schärer, Heinz, Suzanne TE Lommen, M Rossinelli, M Bonini, M Boriani, G Bosio, et Urs Schaffner. 2014. "*Ophraella communa*, the ragweed leaf beetle, has successfully landed in Europe: fortunate coincidence or threat?" *Weed Research* 54 (2):109-119.
- Müller, K. , et H. Wickham. 2020. "tibble: Simple Data Frames. R package version 3.0.0." : <https://CRAN.R-project.org/package=tibble>.
- Naas, Oumsaad, Maxence Mendez, Melesio Quijada, Sylvie Gosselin, Jinane Farah, Ali Choukri, et Nicolas Visez. 2016. "Chemical modification of coating of *Pinus halepensis* pollen by ozone exposure." *Environmental Pollution* 214:816-821.

- Nitzsche, Jens. 2010. "Ambrosia artemisiifolia L.(Beifuß-Ambrosie) in Deutschland Biologie der Art, Konkurrenzverhalten und Monitoring."
- Novák, R, I Dancza, L Szentey, J Karamán, I Béres, G Kazinczi, et G Gólya. 2009. "Arable Weeds of Hungary-Fifth National Weed Survey (2007 2008)." *Ministry of Agriculture and Rural Development, Budapest, Hungary. Report.*
- Offermann, Lesa R, Caleb R Schlachter, Makenzie L Perdue, Karolina A Majorek, John Z He, William T Booth, Jessica Garrett, Krzysztof Kowal, et Maksymilian Chruszcz. 2016. "Structural, functional, and immunological characterization of profilin panallergens Amb a 8, Art v 4, and Bet v 2." *Journal of Biological Chemistry* 291 (30):15447-15459.
- Ogden, Eugene C., Janet V. Hayes, Raynor, et S. Gilbert. 1969. "DIURNAL PATTERNS OF POLLEN EMISSION IN AMBROSIA, PHLEUM, ZEA, AND RICINUS." *American Journal of Botany* 56 (1):16-21. doi: 10.1002/j.1537-2197.1969.tb07500.x.
- Olivier, E. 1904. "Ambrosia artemisiaefolia L." *Revue Scientifique du Bourbonnais et du Centre de la France* 17:151-153.
- OMS. 1946. Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé. Dans *New York.*
- OMS Europe. 2000. "Evaluation and use of epidemiological evidence for health risk assessment " : World Health Organization Regional Office for Europe.
- ORS, et ARS Auvergne-Rhône-Alpes. 2018. "L'impact sanitaire de l'ambrosie en Auvergne-Rhône-Alpes : analyse des données médico-économiques 2017." : ORS Auvergne-Rhône-Alpes ; . 10 p.
- Osborne, Molly L, William M Vollmer, Richard E Johnson, et A Sonia Buist. 1995. "Use of an automated prescription database to identify individuals with asthma." *Journal of Clinical Epidemiology* 48 (11):1393-1397.
- Pachauri, Rajendra K, Myles R Allen, Vicente R Barros, John Broome, Wolfgang Cramer, Renate Christ, John A Church, Leon Clarke, Qin Dahe, et Purnamita Dasgupta. 2014. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Ipcc.*
- Palmer, WA, TA Heard, et AW Sheppard. 2010. "A review of Australian classical biological control of weeds programs and research activities over the past 12 years." *Biological Control* 52 (3):271-287.
- Pashley, C. H., A. Fairs, R. E. Edwards, J. P. Bailey, J. M. Corden, et A. J. Wardlaw. 2009. "Reproducibility between counts of airborne allergenic pollen from two cities in the East Midlands, UK." *Aerobiologia* 25 (4):249-263.
- Pasken, Robert, et Joseph A Pietrowicz. 2005. "Using dispersion and mesoscale meteorological models to forecast pollen concentrations." *Atmospheric Environment* 39 (40):7689-7701.
- Pasqualini, Stefania, Emma Tedeschini, Giuseppe Frenguelli, Nicole Wopfner, Fatima Ferreira, Gennaro D'Amato, et Luisa Ederli. 2011. "Ozone affects pollen viability and NAD (P) H oxidase release from Ambrosia artemisiifolia pollen." *Environmental Pollution* 159 (10):2823-2830.
- Payne, Willard William. 1962. "Biosystematic Studies of Four Widespread Weedy Species of Ragweeds (Ambrosia: Compositae)." University of Michigan.
- Pekkanen, J., J. Sunyer, J. M. Anto, et P. Burney. 2005. "Operational definitions of asthma in studies on its aetiology." *European Respiratory Journal* 26:28-35.
- Petermann, A. . 2011. "Première Cartographie Nationale de l'Ambrosie (Ambrosia artemisiifolia L.). Etude réalisée pour le Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé. ." : Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux (FCBN).
- Pichler, Ulrike, Michael Hauser, Martin Wolf, Maria Livia Bernardi, Gabriele Gadermaier, Richard Weiss, Christof Ebner, Hidenori Yokoi, Toshiro Takai, et Alain Didierlaurent. 2015. "Pectate lyase pollen allergens: sensitization profiles and cross-reactivity pattern." *PLoS ONE* 10 (5).
- Pierce, D. 2019. "ncdf4: Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files. R package version 1.17." : <https://CRAN.R-project.org/package=ncdf4>.
- Pietrowicz, J., et R. Pasken.

- Plötz, Sabine G, Claudia Traidl-Hoffmann, Ivo Feussner, Anna Kasche, Alexandra Feser, Johannes Ring, Thilo Jakob, et Heidrun Behrendt. 2004. "Chemotaxis and activation of human peripheral blood eosinophils induced by pollen-associated lipid mediators." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 113 (6):1152-1160.
- Poncet, P, et H Sénéchal. 2019. "Actualités des réactions croisées pollen-aliment." *Revue Française d'Allergologie*.
- Pont, Lisa G, G Th Van Der Werf, Petra Denig, et F Haaijer-Ruskamp. 2002. "Identifying general practice patients diagnosed with asthma and their exacerbation episodes from prescribing data." *European journal of clinical pharmacology* 57 (11):819-825.
- Popescu, Florin-Dan. 2015. "Cross-reactivity between aeroallergens and food allergens." *World J Methodol* 5 (2):31.
- Prado, Noela, Concepción De Linares, María L Sanz, Pedro Gamboa, Mayte Villalba, Rosalía Rodríguez, et Eva Batanero. 2015. "Pollensomes as natural vehicles for pollen allergens." *The Journal of Immunology* 195 (2):445-449.
- Prank, M., D. S. Chapman, J. M. Bullock, J. Belmonte, U. Berger, A. Dahl, S. Jäger, I. Kovtunenko, D. Magyar, S. Niemelä, A. Rantio-Lehtimäki, V. Rodinkova, I. Sauliene, E. Severova, B. Sikoparija, et M. Sofiev. 2013. "An operational model for forecasting ragweed pollen release and dispersion in Europe." *Agricultural and Forest Meteorology* 182-183:43-53. doi: 10.1016/j.agrformet.2013.08.003.
- Prosser, Robert J, Bruce C Carleton, et M Anne Smith. 2008. "Identifying persons with treated asthma using administrative data via latent class modelling." *Health services research* 43 (2):733-754.
- Quinet, E. 2013. "L'évaluation socio-économique des investissements publics, rapport du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective." *La Documentation Française, Paris*.
- R Core Team. 2020. "R: A language and environment for statistical computing." Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/>.
- Raffard, M. . 2017. "Etude de la représentativité statistique du réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) en France métropolitaine."
- Rafnar, Thorunn, IJ Griffith, MC Kuo, JF Bond, BL Rogers, et DG Klapper. 1991. "Cloning of Amb a I (antigen E), the major allergen family of short ragweed pollen." *Journal of Biological Chemistry* 266 (2):1229-1236.
- Rasmussen, Karen, Jakob Thyrring, Robert Muscarella, et Finn Borchsenius. 2017. "Climate-change-induced range shifts of three allergenic ragweeds (*Ambrosia L.*) in Europe and their potential impact on human health." *PeerJ* 5:e3104.
- Raynal, DJ, et FA Bazzaz. 1975. "Interference of winter annuals with *Ambrosia artemisiifolia* in early successional fields." *Ecology* 56 (1):35-49.
- Reznik, S Ya. 1991. "The effects of feeding damage in ragweed *Ambrosia artemisiifolia* (Asteraceae) on populations of *Zygogramma suturalis* (Coleoptera, Chrysomelidae)." *Oecologia* 88 (2):204-210.
- Reznik, S Ya, IA Spasskaya, M Yu Dolgovskaya, MG Volkovitsh, et VF Zaitzev. 2007. "The ragweed leaf beetle *Zygogramma suturalis* F. (Coleoptera: Chrysomelidae) in Russia: current distribution, abundance and implication for biological control of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia* L." XII International Symposium on Biological Control of Weeds, La Grande Motte, France.
- Richter, Robert, Uwe E. Berger, Stefan Dullinger, Franz Essl, Michael Leitner, Matthew Smith, et Gero Vogl. 2013. "Spread of invasive ragweed: climate change, management and how to reduce allergy costs." *Journal of Applied Ecology* 50 (6):1422-1430. doi: 10.1111/1365-2664.12156.
- Richter, Robert, Franz Essl, M. Leitner, et G. Vogl. 2012. "How to account for habitat suitability in weed management programs." *Biological Invasions* 15. doi: 10.1007/s10530-012-0316-8.
- Rieux, C., M. B. Personnaz, et M. Thibaudon. 2008. "La variation spatiale du contenu pollinique de l'air : implications pour la gestion d'un réseau météorologique." *Environnement, Risques & Santé* 7 (2):103-111. doi: 10.1684/ers.2008.0143.
- Rothrock, PE, ER Squiers, et S Sheeley. 1993. "Heterogeneity and size of a persistent seedbank of *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Setaria faberi* Herrm." *Bulletin of the Torrey Botanical Club*:417-422.

- Ruëff, F., B. Przybilla, A. Walker, J. Gmeiner, M. Kramer, D. Sabanés-Bové, H. Küchenhoff, et T. Herzinger. 2012. "Sensitization to Common Ragweed in Southern Bavaria: Clinical and Geographical Risk Factors in Atopic Patients." *International Archives of Allergy and Immunology* 159 (1):65-74. doi: 10.1159/000335192.
- Rybníček, O., B. Novotná, E. Rybníčková, et K. Rybníček. 2000. "Ragweed in the Czech Republic." *Aerobiologia* 16 (2):287-290. doi: 10.1023/A:1007611715820.
- Scadding, G. K., S. R. Durham, R. Mirakian, N. S. Jones, S. C. Leech, S. Farooque, D. Ryan, S. M. Walker, A. T. Clark, T. A. Dixon, S. R. A. Jolles, N. Siddique, P. Cullinan, P. H. Howarth, et S. M. Nasser. 2008. "BSACI guidelines for the management of allergic and non-allergic rhinitis." *Clinical & Experimental Allergy* 38 (1):19-42. doi: 10.1111/j.1365-2222.2007.02888.x.
- Scala, E., D. Villalta, C. G. Uasuf, P. Pignatti, L. Pirrotta, E. C. Guerra, M. Locanto, G. Meneguzzi, M. Giani, L. Cecchi, D. Abeni, et R. Asero. 2018. "An atlas of IgE sensitization patterns in different Italian areas. A multicenter, cross-sectional study." *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 50 (5):217-225. doi: 10.23822/EurAnnACI.1764-1489.67.
- Schaffner, Urs, Sandro Steinbach, Yan Sun, Carsten A Skjøth, Letty A de Weger, Suzanne T Lommen, Benno A Augustinus, Maira Bonini, Gerhard Karrer, et Branko Šikoparija. 2020. "Biological weed control to relieve millions from Ambrosia allergies in Europe." *Nature Communications* 11 (1):1-7.
- Schäppi, George F, Philip E Taylor, Ian A Staff, Jennifer M Rolland, et Cenk Suphioglu. 1999. "Immunologic significance of respirable atmospheric starch granules containing major birch allergen Bet v 1." *Allergy* 54 (5):478-483.
- Schmiedl, Sven, Rainald Fischer, Luisa Ibáñez, Joan Fortuny, Olaf H. Klungel, Robert Reynolds, Roman Gerlach, Martin Tauscher, Petra Thürmann, Joerg Hasford, et Marietta Rottenkolber. 2014. "Utilisation and Off-Label Prescriptions of Respiratory Drugs in Children." *PLoS ONE* 9 (9):e105110. doi: 10.1371/journal.pone.0105110.
- Seaman, Renée E, et Paul C Marino. 2003. "Influence of mound building and selective seed predation by the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) on an old-field plant assemblage." *Journal of the Torrey Botanical Society*:193-201.
- Serhan, Nadine, Lilian Basso, Riccardo Sibilano, Camille Petitfils, James Meixiong, Chrystelle Bonnard, Laurent L Reber, Thomas Marichal, Philipp Starkl, et Nicolas Cenac. 2019. "House dust mites activate nociceptor–mast cell clusters to drive type 2 skin inflammation." *Nature immunology* 20 (11):1435-1443.
- Settele, Josef, Volker Hammen, Phil Hulme, Ulrich Karlson, Stefan Klotz, Mladen Kotarac, William Kunin, Glenn Marion, Martin O'Connor, et Theodora Petanidou. 2005. "ALARM: Assessing Large-scale environmental Risks for biodiversity with tested Methods." *Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society* 14 (1):69-72.
- Sevault, A., L. Le Levier, et M. Mottet. 2019. "Recueil d'expérience de gestion de l'ambrosie en contexte agricole" : Observatoire des ambrosies - FREDON France. 21.
- Shahali, Y, Z Pourpak, M Moin, A Zare, et A Majd. 2009. "Impacts of air pollution exposure on the allergenic properties of Arizona cypress pollens." *Journal of Physics: Conference Series*.
- Shea, KM, RT Truckner, RW Weber, et DB Peden. 2008. "Climate change and allergic disease J Allergy Clin Immunol 122 (3): 443–453." *Find this article online*.
- Shine, Clare, Marianne Kettunen, Piero Genovesi, Franz Essl, Stephan Gollasch, Wolfgang Rabitsch, Riccardo Scalera, Uwe Starfinger, et Patrick ten Brink. 2010. "Assessment to support continued development of the EU Strategy to combat invasive alien species." *Final Report for EC, Institute for European Environmental Policy (IEEP), Brussels*.
- Sindt, C, M Thibaudon, G Oliver, et S Monnier. 2017. "Potentiel allergisant des espèces végétales." *Revue Française d'Allergologie* 57 (3):243.
- Sindt, C., S. Monnier, M. Thibaudon, et J. P. Besancenot. 2019. "Le potentiel allergisant des espèces végétales : nouveautés du guide des graminées ornementales." *Revue Française d'Allergologie* 59 (3):154-155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.02.214>.
- Skjøth, C. A., M. Smith, B. Šikoparija, A. Stach, D. Myszkowska, I. Kasprzyk, P. Radišić, B. Stjepanović, I. Hrga, D. Apatini, D. Magyar, A. Páldy, et N. Ianovici. 2010. "A method for producing airborne pollen source inventories: An example of Ambrosia (ragweed) on the Pannonian Plain." *Agricultural and Forest Meteorology* 150 (9):1203-1210. doi: 10.1016/j.agrformet.2010.05.002.

- Skjøth, Carsten Ambelas, Yan Sun, Gerhard Karrer, Branko Sikoparija, Matt Smith, Urs Schaffner, et Heinz Müller-Schärer. 2019. "Predicting abundances of invasive ragweed across Europe using a "top-down" approach." *Science of the Total Environment* 686:212-222.
- Smiljanic, Katarina, Danijela Apostolovic, Sara Trifunovic, Jana Ognjenovic, Marija Perusko, Luka Mihajlovic, Lidija Burazer, Marianne van Hage, et Tanja Cirkovic Velickovic. 2017. "Subpollen particles are rich carriers of major short ragweed allergens and NADH dehydrogenases: quantitative proteomic and allergomic study." *Clinical & Experimental Allergy* 47 (6):815-828.
- Smith, M., C. A. Skjøth, D. Myszkowska, A. Uruska, M. Puc, A. Stach, Z. Balwierz, K. Chlopek, K. Piotrowska, I. Kasprzyk, et J. Brandt. 2008. "Long-range transport of Ambrosia pollen to Poland." *Agricultural and Forest Meteorology* 148 (10):1402-1411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.04.005>.
- Smolik, MG, S Dullinger, F Essl, I Kleinbauer, M Leitner, J Peterseil, L-M Stadler, et G Vogl. 2010. "Integrating species distribution models and interacting particle systems to predict the spread of an invasive alien plant." *Journal of Biogeography* 37 (3):411-422.
- Sofiev, M., U. Berger, M. Prank, J. Vira, J. Arteta, J. Belmonte, K. C. Bergmann, F. Chéroux, H. Elbern, E. Friese, C. Galan, R. Gehrig, D. Khvorostyanov, R. Kranenburg, U. Kumar, V. Marécal, F. Meleux, L. Menut, A. M. Pessi, L. Robertson, O. Ritenberga, V. Rodinkova, A. Saarto, A. Segers, E. Severova, I. Sauliene, P. Siljamo, B. M. Steensen, E. Teinmaa, M. Thibaudon, et V. H. Peuch. 2015. "MACC regional multi-model ensemble simulations of birch pollen dispersion in Europe." *Atmospheric Chemistry and Physics* 15 (14):8115-8130. doi: 10.5194/acp-15-8115-2015.
- Sofiev, M., P. Siljamo, H. Ranta, et A. Rantio-Lehtimäki. 2006. "Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study." *Int J Biometeorol* 50 (6):392-402. doi: 10.1007/s00484-006-0027-x.
- Sommer, J., M. Smith, B. Sikoparija, I. Kasprzyk, D. Myszkowska, L. Grewling, et C. A. Skjøth. 2015. "Risk of exposure to airborne Ambrosia pollen from local and distant sources in Europe - an example from Denmark." *Ann Agric Environ Med* 22 (4):625-31. doi: 10.5604/12321966.1185764.
- Song, Jong-Suk, et Bohdan Prots. 1998. "Invasion of ambrosia artemisiifolia L.(compositae) in the Ukrainian Carpathians Mts. and the transcarpathian plain (central Europe)." *Korean Journal of Biological Sciences* 2 (2):209-216.
- Sóti, L., et L. Endre. 2005. "[Prevalence of the most common respiratory allergens generating positive prick-reaction according to the examination of 2124 children suffering from respiratory allergy, between 1992-2000]." *Orv Hetil* 146 (18):833-837.
- Storkey, Jonathan, Pierre Stratonovitch, Daniel S Chapman, Francesco Vidotto, et Mikhail A Semenov. 2014. "A process-based approach to predicting the effect of climate change on the distribution of an invasive allergenic plant in Europe." *PLoS ONE* 9 (2).
- Sultan-Taïeb, Hélène, Philippe Tessier, et Sophie Béjean. 2009. "Capital humain et coûts de friction." *Revue économique* 60 (2):293-306.
- Sun, Y., O. Brönnimann, G. K. Roderick, A. Poltavsky, S. T. E. Lommen, et H. Müller-Schärer. 2017. "Climatic suitability ranking of biological control candidates: a biogeographic approach for ragweed management in Europe." *Ecosphere* 8 (4):e01731. doi: 10.1002/ecs2.1731.
- Takai, Toshiro, Takeshi Kato, Mikiko Ota, Hiroshi Yasueda, Takatoshi Kuhara, Ko Okumura, et Hideoki Ogawa. 2005. "Recombinant Der p 1 and Der f 1 with in vitro enzymatic activity to cleave human CD23, CD25 and α 1-antitrypsin, and in vivo IgE-eliciting activity in mice." *International Archives of Allergy and Immunology* 137 (3):194-200.
- Tamarcaz, P., B. Lambelet, B. Clot, C. Keimer, et C. Hauser. 2005. "Ragweed (Ambrosia) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion?" *Swiss Med Wkly* 135 (37-38):538-548. doi: 2005/37/smw-11201.
- Thibaudon, M., G. Oliver, et J. P. Besancenot. 2019. "Des capteurs pas comme les autres ! Trente-cinq ans de recueil du pollen en France." *Revue Française d'Allergologie* 59 (8):576-583. doi: 10.1016/j.reval.2019.08.003.
- Thibaudon, M., G. Oliver, et C. Sindt. 2009. "The pollen trap: A tool to determine the origin of ragweed pollens." *Revue Française d'Allergologie* 49 (7):515-523. doi: 10.1016/j.reval.2009.05.004.

- Thibaudon, Michel, Branko Šikoparija, Gilles Oliver, Matt Smith, et Carsten A. Skjøth. 2014. "Ragweed pollen source inventory for France – The second largest centre of Ambrosia in Europe." *Atmospheric Environment* 83:62-71. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.057.
- Tosi, A., B. Wuthrich, M. Bonini, et B. Pietragalla-Kohler. 2011. "Time lag between Ambrosia sensitisation and Ambrosia allergy: a 20-year study (1989-2008) in Legnano, northern Italy." *Swiss Med Wkly* 141:w13253. doi: 10.4414/smw.2011.13253.
- Traidl-Hoffmann, C., A. Kasche, T. Jakob, M. Huger, S. Plötz, I. Feussner, J. Ring, et H. Behrendt. 2002. "Lipid mediators from pollen act as chemoattractants and activators of polymorphonuclear granulocytes." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 109 (5):831-838.
- Traidl-Hoffmann, C., V. Mariani, H. Hochrein, K. Karg, H. Wagner, J. Ring, M. J. Mueller, T. Jakob, et H. Behrendt. 2005. "Pollen-associated phytoprostanes inhibit dendritic cell interleukin-12 production and augment T helper type 2 cell polarization." *J Exp Med* 201 (4):627-636.
- Turkalj, Mirjana, Ivana Banic, et Srdjan Ante Anzic. 2017. "A review of clinical efficacy, safety, new developments and adherence to allergen-specific immunotherapy in patients with allergic rhinitis caused by allergy to ragweed pollen (*Ambrosia artemisiifolia*)." *Patient Preference and Adherence* 11:247.
- Vajna, L. 2002. "Downy mildew epidemic on common ragweed in Hungary caused by *Plasmopara halstedii*." *Plant Pathology* 51 (6):809-809.
- Vajna, L., G. Bohár, et L. Kiss. 2000. "First report of *Phyllachora ambrosiae* in Europe causing epidemics on common ragweed." *Plant Dis* 84 (4):489-489.
- van Vuuren, Detlef P., Jae Edmonds, Mikiko Kainuma, Keywan Riahi, Allison Thomson, Kathy Hibbard, George C. Hurtt, Tom Kram, Volker Krey, Jean-Francois Lamarque, Toshihiko Masui, Malte Meinshausen, Nebojsa Nakicenovic, Steven J. Smith, et Steven K. Rose. 2011. "The representative concentration pathways: an overview." *Climatic Change* 109 (1-2):5-31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.
- Varga, Aliz, Marietta M Budai, Sándor Milesz, Attila Bácsi, József Tózsér, et Szilvia Benkő. 2013. "Ragweed pollen extract intensifies lipopolysaccharide-induced priming of NLRP 3 inflammasome in human macrophages." *Immunology* 138 (4):392-401.
- Vinckier, Stefan, Pascal Cadot, et Erik Smets. 2005. "The manifold characters of orbicules: structural diversity, systematic significance, and vectors for allergens." *Grana* 44 (4):300-307.
- Visez, Nicolas, Guillaume Chassard, Najiha Azarkan, Oumsaad Naas, Hélène Sénéchal, Jean-Pierre Sutra, Pascal Poncet, et Marie Choël. 2015. "Wind-induced mechanical rupture of birch pollen: potential implications for allergen dispersal." *Journal of Aerosol Science* 89:77-84.
- Visez, Nicolas, Anastasia Ivanovsky, Antoine Roose, Sylvie Gosselin, Hélène Sénéchal, Pascal Poncet, et Marie Choël. 2019. "Atmospheric particulate matter adhesion onto pollen: a review." *Aerobiologia*:1-14.
- Vitalos, Melinda, et Gerhard Karrer. 2009. "Dispersal of *Ambrosia artemisiifolia* seeds along roads: the contribution of traffic and mowing machines." *NeoBiota* 8:53-60.
- Vogel, H., A. Pauling, et B. Vogel. 2008. "Numerical simulation of birch pollen dispersion with an operational weather forecast system." *Int J Biometeorol* 52 (8):805-14. doi: 10.1007/s00484-008-0174-3.
- von Loetzen, Christian Seutter, Thessa Jacob, Olivia Hartl-Spiegelhauer, Lothar Vogel, Dirk Schiller, Cornelia Spörlein-Güttler, Rainer Schobert, Stefan Vieths, Maximilian Johannes Hartl, et Paul Rösch. 2015. "Ligand recognition of the major birch pollen allergen bet v 1 is isoform dependent." *PLoS ONE* 10 (6).
- von Mutius, Erika. 2000. "The environmental predictors of allergic disease." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 105 (1):9-19. doi: 10.1016/S0091-6749(00)90171-4.
- Voros, K., J. Bobvos, J. M. Varro, T. Malnasi, T. Koi, D. Magyar, P. Rudnai, et A. Paldy. 2018. "Impacts of long-term ragweed pollen load and other potential risk factors on ragweed pollen allergy among schoolchildren in Hungary." *Ann Agric Environ Med* 25 (2):307-313. doi: 10.26444/aaem/82624.
- Vörös, K., J. Bobvos, J. M. Varró, T. Málnási, T. Kói, D. Magyar, P. Rudnai, et A. Páldy. 2018. "Impacts of long-term ragweed pollen load and other potential risk factors on ragweed pollen allergy

- among schoolchildren in Hungary." *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 25 (2):307-313. doi: 10.26444/aaem/82624.
- Vos, T., et GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. 2017. "Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016." *The Lancet* 390 (10100):1211-1259. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32154-2.
- Wan, FH, R Wang, et J Ding. 1995. "Biological control of *Ambrosia artemisiifolia* with introduced insect agents, *Zygogramma suturalis* and *Epiblema strenuana*." China. In: Eighth International Symposium on Biological Control of Weeds, Canterbury, New Zealand.
- Wan, Hong, Helen L Winton, Christian Soeller, Euan R Tovey, Dieter C Gruenert, Philip J Thompson, Geoffrey A Stewart, Graham W Taylor, David R Garrod, et Mark B Cannell. 1999. "Der p 1 facilitates transepithelial allergen delivery by disruption of tight junctions." *J Clin Invest* 104 (1):123-133.
- Wang, Q, S Nakamura, S Lu, G Xiu, D Nakajima, M Suzuki, K Sakamoto, et M Miwa. 2012. "Release behavior of small sized daughter allergens from *Cryptomeria japonica* pollen grains during urban rainfall event." *Aerobiologia* 28 (1):71-81.
- Wayne, Peter, Susannah Foster, John Connolly, Fakhri Bazzaz, et Paul Epstein. 2002. "Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres." *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 88 (3):279-282. doi: [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62009-1](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62009-1).
- Weidinger, Paolina, J. Lars G. Nilsson, et Ulf Lindblad. 2014. "Medication prescribing for asthma and COPD: a register-based cross-sectional study in Swedish primary care." *BMC Family Practice* 15 (1):54. doi: 10.1186/1471-2296-15-54.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Edité par Springer-Verlag New York.
- Wickham, H. , R François, L. Henry, et K. Müller. 2020. "dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.8.5." : <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Wilchesky, Mabelle, Robyn M Tamblin, et Allen Huang. 2004. "Validation of diagnostic codes within medical services claims." *Journal of Clinical Epidemiology* 57 (2):131-141.
- Wittmann, A; , et A Flores-Ferrer. 2015. "Analyse économique des espèces exotiques envahissantes en France Première enquête nationale (2009-2013)." : Commissariat Général au Développement Durable.
- Wodehouse, Roger Philip. 1971. "Hayfever plants."
- Wopfner, Nicole, Gabriele Gadermaier, Matthias Egger, Riccardo Asero, Christof Ebner, Beatrice Jahn-Schmid, et Fatima Ferreira. 2005. "The spectrum of allergens in ragweed and mugwort pollen." *International Archives of Allergy and Immunology* 138 (4):337-346.
- Würtzen, Peter A, Ilka Hoof, Lars H Christensen, Zuzana Váczy, Helene Henmar, Guillermo Salamanca, Claus Lundegaard, Lise Lund, Tatiana Kráľova, et Edwards G Brooks. 2019. "Diverse and highly cross-reactive T-cell responses in ragweed allergic patients independent of geographical region." *Allergy*.
- Wyman, Morrill. 1876. *Autumnal Catarrh (hay Fever)*: Hurd and Houghton.
- Zaka, Serge, Lina Qadir Ahmed, Abraham J Escobar-Gutiérrez, Francois Gastal, Bernadette Julier, et Gaëtan Louarn. 2017. "How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species?" *Agricultural and Forest Meteorology* 232:433-442.
- Zaka, Serge, Lina Qadir Ahmed, Abraham Escobar Gutiérrez, Jean-Louis Durand, et Gaëtan Louarn. 2015. "Les températures cardinales des grandes fonctions de production chez deux plantes fourragères pérennes."
- Zauli, Daniela, Donatella Tiberio, Alberto Grassi, et Giorgio Ballardini. 2006. "Ragweed pollen travels long distance." *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 97 (1):122-123. doi: 10.1016/S1081-1206(10)61384-1.
- Zhang, LiJie, XingKe Yang, WenZhu Li, et JunZhi Cui. 2005. "A new record of *Ophraella communa* of mainland China." *Chinese Bulletin of Entomology* 42 (2):227-228.
- Zhao, Feng, Amr Elkelish, Jörg Durner, Christian Lindermayr, J Barbro Winkler, Franziska Ruëff, Heidrun Behrendt, Claudia Traidl-Hoffmann, Andreas Holzinger, et Werner Kofler. 2016.

- "Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.): allergenicity and molecular characterization of pollen after plant exposure to elevated NO₂." *Plant Cell Environ* 39 (1):147-164.
- Zhou, Zhongshi, Fanghao Wan, et Jianying Guo. 2017. "Common Ragweed *Ambrosia artemisiifolia* L." Dans *Biological Invasions and Its Management in China*, 99-109. : Springer.
- Zhou, ZS, JY Guo, BP Li, L Meng, JW Fu, HS Chen, MY Ma, MZ Shi, M Li, et W Guo. 2011. "Distribution and regional disaster reduction strategy of *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Alternanthera philoxeroides* L." *J Biosaf* 20:263-266.
- Zhou, ZS, JY Guo, et FH Wan. 2009. "Biological control of *Ambrosia artemisiifolia* with *Epibleme strenuana* and *Ophraella communa*." *Research on biological invasions in China*:253-258.
- Zink, K. 2014. "Prerequisites for numerical pollen forecasts: distribution maps and a parameterization of pollen emission." *Faculty of the geo-and atmospheric sciences, Leopold Franzens University Innsbruck (133 pp.)*.
- Zink, K., P. Kaufmann, B. Petitpierre, O. Broennimann, A. Guisan, E. Gentilini, et M. W. Rotach. 2017. "Numerical ragweed pollen forecasts using different source maps: a comparison for France." *Int J Biometeorol* 61 (1):23-33. doi: 10.1007/s00484-016-1188-x.
- Zink, K., A. Pauling, M. W. Rotach, H. Vogel, P. Kaufmann, et B. Clot. 2013. "EMPOL 1.0: a new parameterization of pollen emission in numerical weather prediction models." *Geoscientific Model Development* 6 (6):1961-1975. doi: 10.5194/gmd-6-1961-2013.
- Zink, K., H. Vogel, B. Vogel, D. Magyar, et C. Kottmeier. 2012. "Modeling the dispersion of *Ambrosia artemisiifolia* L. pollen with the model system COSMO-ART." *Int J Biometeorol* 56 (4):669-80. doi: 10.1007/s00484-011-0468-8.
- Ziska, Lewis H, et Frances A Caulfield. 2000. "Rising CO₂ and pollen production of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.), a known allergy-inducing species: implications for public health." *Functional Plant Biology* 27 (10):893-898.
- Ziska, Lewis H, Dennis E Gebhard, David A Frenz, Shaun Faulkner, Benjamin D Singer, et James G Straka. 2003. "Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 111 (2):290-295.
- Ziska, Lewis, Kim Knowlton, Christine Rogers, Dan Dalan, Nicole Tierney, Mary Ann Elder, Warren Filley, Jeanne Shropshire, Linda B. Ford, Curtis Hedberg, Pamela Fleetwood, Kim T. Hovanky, Tony Kavanaugh, George Fulford, Rose F. Vrtis, Jonathan A. Patz, Jay Portnoy, Frances Coates, Leonard Bielory, et David Frenz. 2011. "Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (10):4248. doi: 10.1073/pnas.1014107108.

ANNEXES

Annexe 1 Lettre de saisine

2018 -SA- 0 0 8 8



MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA SANTÉ

COURRIER ARRIVE

- 9 AVR. 2018

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SANTÉ
SD/Prévention des risques liés à l'environnement
et à l'alimentation
Bureau Environnement extérieur et produits chimiques (EA1)
Marie FIORI : *72*
☎ : 01.40.56. 59.21.
marie.fiori@sante.gouv.fr
N° 60

DIRECTION GÉNÉRALE

Paris, le 5^e AVR. 2018

Le Directeur général de la santé

à

Monsieur le Directeur général
de l'Agence nationale de sécurité
sanitaire de l'alimentation, de
l'environnement et du travail (Anses)
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort cedex

OBJET : Etat des connaissances sur l'impact sanitaire et économique associé de l'ambroisie à feuilles d'armoise en France et évaluation de leur évolution.

L'ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia* L.) est une plante envahissante originaire d'Amérique du nord dont le pollen, émis en fin d'été, est très allergisant et peut entraîner divers symptômes allergiques chez les sujets sensibles (rhinite, conjonctivite...) ainsi que l'apparition ou l'aggravation de l'asthme. Très présente actuellement dans la Vallée du Rhône, cette espèce s'étend progressivement sur l'ensemble du territoire métropolitain comme le montrent les cartographies de sa présence réalisées régulièrement au cours des dernières années¹. D'autres ambrosies, également envahissantes et à pollen très allergisant (ambroisie trifide, etc.), se développent aussi à l'heure actuelle sur le territoire national. Afin de pouvoir organiser à l'échelle du territoire national la lutte contre ces ambrosies mais également d'autres espèces végétales et animales pouvant aussi porter gravement atteinte à la santé de l'homme, la loi n°2016-41 du 26 janvier 2016 de modernisation de notre système de santé a créé dans le code de la santé publique (CSP), un nouveau chapitre intitulé « Chapitre VIII : Lutte contre les espèces végétales et animales nuisibles à la santé humaine »². En application de ces nouvelles dispositions législatives, un dispositif réglementaire spécifique à la lutte contre trois ambrosies a été créé par le décret et l'arrêté du 26 avril 2017³.

Depuis 2008, l'Agence régionale de santé (ARS) Auvergne Rhône Alpes (ARA) coordonne régulièrement des estimations de la prévalence de la population régionale présumée allergique à l'ambroisie à feuille d'armoise grâce à une analyse de données de consommation annuelle de médicaments anti-allergiques. Cette étude est réalisée à partir de données extraites des bases de l'Assurance Maladie (régime général) ainsi que plus récemment des bases de données issues du régime des agents EDF GDF et de la Mutualité sociale agricole (MSA), concernant le remboursement des médicaments antiallergiques et les actes en relation avec ces prescriptions (consultations, recherches d'immunoglobulines E spécifiques, arrêts de travail, etc.). Au fil des années, l'ARS a développé une méthodologie permettant de fournir, chaque année pour cette région, une estimation du coût des soins associés aux allergies à l'ambroisie à

¹ Cf. <http://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/article/cartographies-de-presence-de-l-ambroisie-en-france>

² Au sein du titre III du livre III de la première partie du CSP.

³ Décret n°2017-645 du 26 avril 2017 relatif à la lutte contre l'ambroisie à feuilles d'armoise, l'ambroisie trifide et l'ambroisie à épis lisses et arrêté du 26 avril 2017 relatif à la lutte contre les espèces végétales nuisibles à la santé.

feuille d'arboise et du nombre de patients concernés. Ainsi, pour l'année 2016, le nombre de patients concernés par ces soins pour la région Auvergne Rhône Alpes a été estimé à près de 420 000 personnes, ce qui a représenté des coûts de soins de l'ordre de 23 millions d'euros.

Par ailleurs, à la demande de l'ARS ARA, des études relatives à la prévalence de l'allergie au pollen de l'ambroisie ont été réalisées en 2004⁴ et 2014⁵ pour l'ancienne région Rhône Alpes. Ainsi, il a été estimé que 13% en moyenne des habitants de Rhône Alpes ont souffert en 2014 de cette pollinose (contre 9,2% en 2004) ; ce chiffre atteint 21% dans les zones les plus exposées à son pollen. Ces études ont mis en évidence un doublement de la prévalence entre 2004 et 2014 dans les zones fortement exposées au pollen d'ambroisie mais aucune évolution dans les zones moyennement exposées. De tels chiffres ne sont actuellement pas disponibles pour d'autres régions françaises également concernées par la présence d'ambroisie ni à l'échelle nationale, mais des études de prévalence ont été réalisées dans d'autres pays notamment dans des pays où les populations sont exposées depuis plus longtemps qu'en Rhône-Alpes à des niveaux élevés de pollen d'ambroisie (par exemple, la Hongrie où 25% de la population serait allergique au pollen d'ambroisie à feuille d'arboise).

Dans ce contexte, et en complément des travaux déjà menés par l'agence sur les pollens allergisants, votre expertise est sollicitée sur les points suivants :

- 1) Documenter la prévalence de la pollinose à l'ambroisie et son évolution en France et à l'étranger en fonction notamment de l'exposition à ce pollen et du niveau d'infestation par la plante ;
- 2) Identifier les éventuels mécanismes et facteurs associés à l'évolution différenciée de cette prévalence ;
- 3) Estimer la prévalence de cette pollinose pour l'ensemble du territoire national et son évolution possible sur la base de scénarios d'évolution de l'état d'infestation que vous proposerez ;
- 4) Evaluer le coût sanitaire des allergies à l'ambroisie sur l'ensemble du territoire national et son évolution possible tenant compte des mêmes scénarios d'évolution.

Dans la mesure du possible, les évaluations de la prévalence et du coût sanitaire mentionnées aux points 3 et 4 feront l'objet d'une déclinaison régionale et départementale.

Vous associerez notamment à vos travaux l'Observatoire des ambrosies, piloté et animé par FREDON-France, et le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA).

Je vous remercie de bien vouloir m'indiquer, dans les meilleurs délais, les modalités de réponse à cette saisine dont le rendu final est attendu pour la fin du premier semestre de 2019.

Le Directeur Général de la Santé,

Professeur Jérôme SALOMON



Copie : Observatoire des ambrosies (FREDON-France), RNSA.

⁴ CAREPS. Place de l'allergie à l'ambroisie parmi les pollinoses dans certains secteurs en Rhône-Alpes, Etat de la situation en 2004. 2005

⁵ ARS et Observatoire régional de santé (ORS) de Rhône Alpes. Etude de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie en Rhône Alpes. 2014

Annexe 2 Présentation des positions divergentes

Aucune position divergente n'a été exprimée lors de la réalisation et de l'adoption des travaux.

Annexe 3 Suivi des actualisations du rapport

Aucune actualisation n'a été réalisée depuis le 06/07/2020.

Annexe 4 Paramétrisation des émissions de pollens : généralités et paramétrisations existantes

1. Généralités

Pour comprendre le phénomène d'émission, quelques définitions préalables sont nécessaires :

- Anthèse : rupture des anthères i.e. la rupture de la partie terminale de l'étamine des fleurs qui renferme le pollen.
- Libération du pollen : libération depuis les anthères dans un réservoir spécifique ou directement dans l'atmosphère.
- Présentation du pollen : mise à disposition du pollen pour son entrainement dans l'atmosphère ; la présentation est le résultat de l'anthèse et de la libération.
- Entrainement : mouvement ascendant des pollens depuis le réservoir ou depuis les anthères dans l'atmosphère.
- Emission de pollen : effet combiné de la libération et de l'entrainement dans l'atmosphère ; le terme émission sert de raccourci lorsque la libération et l'entrainement ne sont pas distingués.
- Production de pollens : la quantité de pollen produit par une plante par mètre carré et par an.
- Concentration de pollen : le nombre de grains de pollen par mètre cube d'air.

Pour l'ambroisie, la production de pollen est évaluée à $1.e9$ pour une plante à maturité (Fumanal, Chauvel, et Bretagnolle 2007). Mais ce nombre dépend des conditions climatiques de l'année précédente, de la météo de l'année en cours (température et humidité du printemps précédent la floraison, de l'été de la floraison, et l'automne de la floraison), de la vernalisation, et des rythmes biologiques (Helbig *et al.* 2004). Dans les deux modélisations de référence opérées par Météo Suisse (avec COSMO-Art) et *Finnish Meteorological Institute* (avec SILAM), ces dépendances ne sont pas prises en compte.

L'émission des pollens est pilotée par des processus physiques et biologiques qui aboutissent à la maturation du pollen et à son émission. Le module de traitement des émissions peut être schématisé en trois étapes ou composantes (Figure 55). Deux échelles de temps sont distinguées dans ces processus, nécessitant l'utilisation de deux sous-modèles :

- Le cycle saisonnier de l'émission de pollen qui dépend du nombre de fleurs à maturité et donc du développement de la plante (modèle phénologique). Ce cycle est piloté par les conditions météorologiques de la semaine ou du mois précédent.
- Le cycle journalier de l'émission de pollen piloté par les conditions météorologiques courantes qui aboutissent à la rupture des anthères et à l'entrainement des grains de pollen dans l'atmosphère. Ces processus se déroulent dans un intervalle de temps de quelques secondes à quelques heures.

Selon les espèces de plante considérée, les conditions météorologiques aboutissant à l'émission de pollens peuvent être très différentes (Helbig *et al.* 2004). Pour les arbres anémophiles qui fleurissent au début du printemps, l'émission a lieu aux fortes températures, à basse humidité, et avec un vent modéré. Ces conditions favorisent une déshydratation passive qui provoque l'éclatement des anthères i.e. elles ont besoin d'être sèches pour se rompre. Au contraire, les herbes telles que l'ambroisie nécessitent des températures basses et une forte humidité, l'éclatement des anthères étant piloté par un processus plus hygroscopique i.e. elles ont besoin de gonfler pour se rompre. En conséquence, des paramétrisations différentes doivent être définies selon la plante étudiée.

En 2013, (Zink *et al.* 2013) présentent le module EMPOL qui exploite une approche généralisée pour la paramétrisation des émissions de pollens. Trois paramétrisations utilisées

dans les systèmes de modélisation de la dispersion des pollens sont présentées, prenant exemple sur le pollen de bouleau :

- Paramétrisation de Helbig *et al.* (2004) implémentée par Météo Suisse dans le système COSMO-Art : H_{orig} .
- Paramétrisation de Helbig optimisée : H_{opt} .
- Paramétrisation de Sofiev *et al.* (Prank *et al.* 2013) implémentée par le *Finnish Meteorological Institute* dans le système SILAM : S13.

1.1. Description de la saison pollinique

Le modèle phénologique qui concerne la production du pollen détermine la cinétique générale d'une saison pollinique (Figure 55). L'état de la saison pollinique influence de manière importante la quantité de pollen à maturité et donc disponible pour les émissions. En début et en fin de saison, il y a peu de fleurs et la quantité de pollens disponibles est faible au regard des conditions météorologiques.

Pour reproduire ces aspects, le modèle mathématique utilisé doit décrire, de manière plus ou moins complexe, la saison pollinique sur une base journalière. La paramétrisation H_{orig} considère que la saison pollinique pour le bouleau a une forme fixe parabolique et dure 30 jours (Helbig *et al.* 2004). L'approche est identique pour la modélisation de la saison pollinique de l'ambroisie (Zink *et al.* 2012). Dans la paramétrisation H_{opt} , la distribution a la même forme générale mais est plus sophistiquée et asymétrique ; la durée de la saison n'est pas fixe et dépend de la température. Un printemps chaud se traduira ainsi par une saison pollinique courte et intense pour le bouleau tandis qu'un printemps frais sera associé à une saison pollinique plus longue, car les arbres ne fleuriront pas de manière simultanée. La paramétrisation S13 introduit un modèle interne pour représenter la courbe de la saison pollinique où l'accumulation de température permet de prévoir la date de début de la saison. La montée et la descente de la courbe utilisent des fonctions de relaxation traduisant la probabilité de floraison chaque jour. La saison se termine lorsqu'une quantité *a priori* de pollen a été émise.

Dans le cas du pollen d'ambroisie, le système SILAM exploite deux facteurs pour définir la saison pollinique : le nombre de jours biologiques et la photopériode⁴⁸ (Deen, Swanton, et Hunt 2001, Prank *et al.* 2013). Le nombre de jours biologiques est calculé à partir de la rupture de la dormance des graines, elle-même définie lorsque la température moyenne journalière dépasse 7,5°C et qu'il n'y a plus de gel – à partir de l'équinoxe de printemps. Dans le modèle, la floraison de l'ambroisie est initiée lorsque 25 jours biologiques sont atteints à partir de la rupture de la dormance, sous réserve que la photopériode soit inférieure à 14,5 heures. La distribution de la floraison est supposée gaussienne, centrée à mi-chemin entre les dates de début et de fin de floraison. La largeur de la gaussienne, reflétant la durée de la saison, correspond à deux écarts-types i.e. aux dates correspondant aux 2,5% et 97,5% du compte pollinique total sur la saison.

1.2. Influence des conditions météorologiques

Les émissions de pollens à court-terme sont pilotées par les conditions météorologiques telles que la température, l'humidité relative et la vitesse du vent – qui influence la vitesse de friction. Le soulèvement et l'entraînement des pollens provoqués par le vent sont exprimés à l'aide d'une échelle de vitesse. Dans les approches H_{orig} et H_{opt} , une vitesse seuil doit être atteinte pour permettre l'émission des pollens (méthode proche de celle utilisée pour l'entraînement des poussières). Dans l'approche S13, la vitesse du vent à 10 mètres du sol et la vitesse convective sont utilisées pour prendre en compte l'entraînement des pollens dans

⁴⁸ Rapport entre la durée du jour et la durée de la nuit.

l'atmosphère. Les termes de corrections diffèrent entre les différentes paramétrisations et selon les plantes étudiées.

Dans les approches H_{orig} et H_{opt} , les précipitations sont prises en compte dans le lessivage. Dans la paramétrisation S13, l'humidité relative et les précipitations sont considérées comme une entrave à l'émission. Cependant, au sein de l'approche S13, la température n'est pas intégrée dans le processus des émissions à court terme.

1.3. Autres caractéristiques des paramétrisations

Dans les paramétrisations H_{orig} et H_{opt} , la quantité de grains de pollens émise se base sur deux paramètres spécifiques à la plante d'intérêt, tous deux facteurs inversement proportionnels aux émissions de pollens : le *Leaf Area Index*⁴⁹ et la hauteur de la plante. En effet, les plantes avec beaucoup de feuilles sont supposées émettre moins car les feuilles gardent les grains de pollen à l'intérieur de la canopée. Le *Leaf Area Index* et la hauteur de la plante peuvent avoir une influence négligeable pour les arbres mais peuvent devenir prépondérants pour les plantes d'un mètre ou moins. Il est intéressant de prendre ces paramètres en compte s'ils varient dans le temps et l'espace ; sinon, ils peuvent simplement être considérés comme des facteurs d'ajustement. Dans l'approche S13, ces paramètres ne sont pas pris en compte.

Les paramétrisations H_{orig} et S13 utilisent un nombre total de grains de pollens qui peut être produit par saison. Ce nombre permet d'anticiper la fin de la saison – prescrite à 30 jours – dans l'approche H_{orig} et il définit la fin de la saison dans l'approche S13. Par contre, le nombre total de grains de pollen émis a été retiré de l'approche H_{opt} car considéré trop variable d'une plante à l'autre. L'altitude est cependant incluse dans la paramétrisation H_{opt} , permettant de prendre en compte l'influence du changement des conditions climatiques sur une espèce. En effet, certaines espèces comme le bouleau sont connues pour émettre moins de grains de pollen en altitude.

2. Paramétrisation des émissions existantes

2.1. Paramétrisation proposée par Helbig *et al.* (2004)

Cette approche a notamment été utilisée dans la paramétrisation des émissions du module de dispersion RegCM (Liu *et al.* 2016).

2.1.1. *Formulation générale*

La formulation générale des émissions considère le flux d'émissions F_e comme le produit d'une concentration caractéristique par une vitesse caractéristique : $F_e = c_e \times K_e \times c^* \times u_*$. On retrouve dans la formulation les termes relatifs à la description pollinique (cycle saisonnier) et les termes relatifs à la météorologie et représentatifs du cycle journalier :

- u_* : vitesse de friction caractéristique, fonction des conditions météorologiques ;
- c^* : concentration spécifique selon $c^* = \frac{q_p}{I_c}$ où q_p est le nombre de grains au km² produits pendant une saison et I_c est la longueur caractéristique donnée par $LAI \times h_c$. Dans Liu *et al.* (2016) pour l'ambroisie, LAI est égal à 3, h_c est égal à 1 m, et la formulation de q_p est $\log_{10}(q_p) = 7.22 + 1.12 \log_{10}(\text{biomasse sèche de la plante})$ selon (Fumanal, Chauvel, et Bretagnolle 2007). Les valeurs considérées par Helbig *et al.* (2004) pour l'aulne et le noisetier sont visibles dans le Tableau 27.
- K_e : facteur d'ajustement météorologique de limitation de l'émission ;

⁴⁹ Indice de surface foliaire, une grandeur adimensionnelle qui traduit la surface foliaire d'une plante par unité de surface du sol.

- c_e : facteur caractéristique de la plante qui décrit la probabilité de floraison, permettant de prendre en compte l'éclosion des fleurs au fil de la saison (pas toutes en même temps) : $c_e = 4 \times c_b \times \left(\frac{d}{S} - \frac{d^2}{S^2} \right)$ où d est le jour courant de la saison pollinique se terminant sur la durée S . En dehors de la saison pollinique, c_e est à 0. En considérant que K_e et u_* constants sur la journée, c_b peut être estimé de manière grossière par $\frac{3 \times I_c}{2 \times S \times K_e \times u_*}$. Pour une saison de 30 jours : $c_b \sim 10^{-4}$.

Tableau 27. Données d'entrée utilisées dans la paramétrisation des émissions des pollens d'aulne et de noisetier (Helbig et al. 2004)

	Hazel		Alder	
	Property	Reference	Property	Reference
q_p in pollen grains/m ²	$1 \cdot 10^9$	Pohl (1937a)	$2.1 \cdot 10^9$	Pohl (1937a)
S in days	30			30
LAI	1			2
h_c in m	5			22
Emission height in m	6			~20
Major and minor principal radius in μm	$a = b = 11$	Helbig (2003)	$a = 12.5$ $b = 13.5$	Pohl (1937b)
d_p in μm	22	Winkler et al. (2002)	29 ^a	
d_d in μm	15.4 ^b			26 ^c
ρ_p in kg/m ³	1008	Pohl (1937b)	752	Pohl (1937b)
ρ_{solid} in kg/m ³	1008 ^d			752 ^d

Si les conditions météorologiques ne sont pas favorables, les grains de pollens ne sont pas émis dans l'atmosphère ; le facteur K_e permet cet ajustement. Une vitesse de friction seuil, paramétrée pour les sol secs ou nus, est utilisée (selon une méthode analogue à celle utilisée pour le transport de poussières) :

$$u_{*t} = \left(a_1 \left[\frac{\rho_p}{\rho} \times g \times d_p + \frac{a_2}{\rho \times d_p} \right] \right)^{1/2}$$

Où :

- $a_1 = 0,0123$ et $a_2 = 3 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;
- ρ_p : densité de la particule ;
- ρ : densité de l'air ;
- g : gravité.

Cette valeur est adaptée pour les pollens selon $u_{*te} = u_{*t} \times \alpha$ où le paramètre α peut être interprété comme un terme de résistance du pollen à son émission vers l'atmosphère sous l'effet des conditions météorologiques. Il est calculé selon :

$$\alpha = \frac{3}{\alpha_T + \alpha_U + \alpha_V}$$

Avec trois termes de résistance :

- $\alpha_T = c_1 \frac{T}{T_{te}}$: résistance liée à la température ;
- $\alpha_U = c_2 \frac{U_{te}}{U}$: résistance liée à l'humidité relative ;
- $\alpha_V = c_3 \frac{|\vec{v}|}{|\vec{v}|_{te}}$: résistance liée à la vitesse du vent.

T_{te} , U_{te} , et $|\vec{v}|_{te}$ sont les valeurs seuil définies pour les trois paramètres météorologiques (température, humidité relative, et vent). Différentes valeurs T_{te} doivent être définies pour différentes plantes. Aucune valeur U_{te} , et $|\vec{v}|_{te}$ n'ont été trouvées dans la littérature pour

l'ambroisie. Les valeurs considérées par Helbig *et al.* (2004) pour l'aulne et le noisetier sont visibles dans le Tableau 28.

Tableau 28. Données d'entrée utilisées dans la paramétrisation des émissions des pollens d'aulne et de noisetier (Helbig *et al.* 2004)

	Hazel		Alder	
	Property	Reference	Property	Reference
q_p in pollen grains/m ²	$1 \cdot 10^9$	Pohl (1937a)	$2.1 \cdot 10^9$	Pohl (1937a)
S in days	30			30
LAI	1			2
h_c in m	5			22
Emission height in m	6			~20
Major and minor principal radius in μm	$a = b = 11$	Helbig (2003)	$a = 12.5$ $b = 13.5$	Pohl (1937b)
d_p in μm	22	Winkler <i>et al.</i> (2002)	29 ^a	
d_d in μm	15.4 ^b			26 ^c
ρ_p in kg/m ³	1008	Pohl (1937b)	752	Pohl (1937b)
ρ_{solid} in kg/m ³	1008 ^d			752 ^d

Le paramètre K_e est défini comme suit :

$$K_e = \left(1 - \frac{u_{*te}}{u_*}\right) \text{ si } u_* > u_{*te}$$

$$K_e = 0 \text{ si } u_* \leq u_{*te}$$

2.1.2. Modélisation du dépôt

Le dépôt est une voie d'élimination importante des particules. La particularité du grain de pollen tient à la variabilité de sa densité en fonction de l'humidité et à sa capacité à s'hydrater ou se déshydrater. La modélisation du dépôt (vitesse de sédimentation v_s) est décrite dans la publication de Helbig *et al.* (2004) par :

$$v_s^2 = \frac{4 \times \rho_p \times d_e \times g}{3 \times \rho \times c_d}$$

Avec :

- $d_e = 2\sqrt[3]{a^2b}$: diamètre aérodynamique du grain de pollen (valeur constante) où a et b sont les rayons majeurs et mineurs de la particule ;
- $\rho_p = \rho_{H_2O} \left(1 - \left(\frac{d_d}{d_e}\right)^3\right) + \rho_{solid} \left(\frac{d_d}{d_e}\right)^3$: densité du grain de pollen en fonction du contenu en eau où d_d est le diamètre du grain de pollen sec, ρ_{H_2O} est la densité de l'eau et ρ_{solid} est la densité du grain de pollen ;
- $c_d = \frac{24}{Re_p} \left(1 + 0,158 \cdot Re_p^{2/3}\right)$: coefficient de trainée où Re_p est le nombre de Reynolds de la particule ;
- ρ : densité de l'air ;
- g : gravité.

Le flux de sédimentation F_s est exprimé par $v_s \times c$ où c représente la densité des grains de pollen à proximité de la surface. Les valeurs des paramètres considérés par Helbig *et al.* (2004) pour l'aulne et le noisetier sont visibles dans le Tableau 27.

2.1.3. Modélisation de la remise en suspension

Le flux vertical de remise en suspension est exprimé par $F_r = c_r \times K_r \times F_s$ dans Helbig *et al.* (2004) avec :

- c_r : paramètre spécifique de la plante et du pollen prenant en compte les forces de flottaison – valeur constante ;
- F_s : flux de sédimentation (défini précédemment) ;
- K_r : facteur d'ajustement météorologique de limitation de la remise en suspension.

K_r est paramétré à l'aide d'une nouvelle vitesse de friction seuil u_{*tr} définie par $u_{*t} \times \beta \times c_s$ où :

- u_{*t} : vitesse de friction seuil pour l'émission, paramétrée pour les sol secs ou nus (définie précédemment) ;
- $\beta = \frac{2}{\beta_U + \beta_V}$: coefficient météorologique ne dépendant que de l'humidité relative et de la vitesse du vent, $\beta_U = c_4 \frac{u_{tr}}{U}$ et $\beta_V = c_5 \frac{|\vec{v}|}{|v|_{tr}}$. Les constantes c_4 et c_5 doivent être différentes de celles utilisées pour l'émission puisqu'en lien avec des processus différents ;
- c_s : constante dépendante de la surface = $2 \frac{z_0}{z_{0r}}$ avec z_{0r} utilisé comme normalisation égale à 1 (rugosité).

Le paramètre K_r est défini comme suit :

$$K_r = \left(1 - \frac{u_{*tr}}{u_*}\right) \quad u_* > u_{*tr}$$

$$K_r = 0 \quad u_* \leq u_{*tr}$$

2.1.4. Tests de sensibilité des émissions

Helbig *et al.* (2004) ont évalué leur paramétrisation des émissions des pollens de noisetier sur la base de simulations météorologiques et d'une source linéique.

La Figure 112 présente les cycles journaliers simulés des vitesses de friction et des valeurs seuils pour les émissions et la remise en suspension des pollens de noisetier. La période pendant laquelle les émissions sont possibles est plus courte que celle pendant laquelle la remise en suspension peut avoir lieu. La Figure 114 permet de visualiser les différences observées en termes de flux d'émission pour autre jours de simulation. Le maximum de flux est observé pour le jour 15 correspondant à la moitié de la saison pollinique. La différence entre les émissions du jour 1 et du jour 29 permet d'illustrer l'impact du nombre de grains de pollen déjà émis. La Figure 113 permet d'illustrer la baisse des niveaux de pollens dans l'air à mesure qu'on s'éloigne de la source. La Figure 115 est une coupe verticale des concentrations de pollen pour le jour 5 en fonction de la distance à la source. Elle permet de mettre en évidence que les pollens restent concentrés essentiellement dans les basses couches de l'atmosphère. Même pour le jour 15, correspondant au flux d'émission maximum, les concentrations demeurent dans les 250 premiers mètres. Ces simulations montrent donc que les grains de pollens sont rapidement éliminés de l'atmosphère, conclusions qui ne seront pas corroborées par les simulations 3D ultérieures.

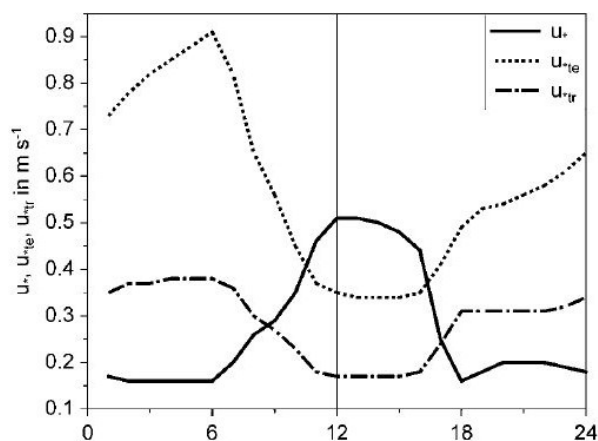


Figure 112. Cycles journaliers (de 0 à 24 heures) des vitesses de friction et vitesses de friction seuil pour les émissions et la remise en suspension du pollen de noisetier

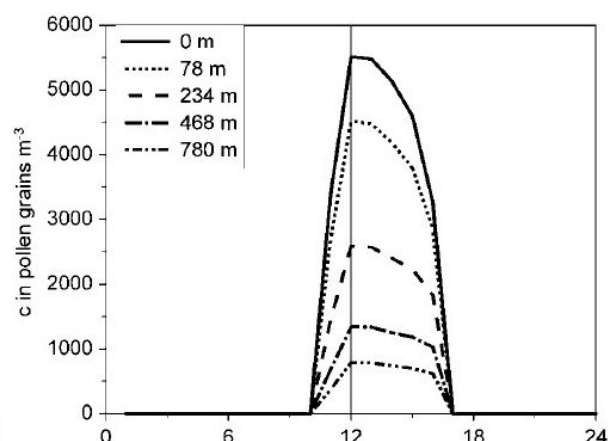


Figure 113. Cycles journaliers (de 0 à 24 heures) des concentrations en pollen de noisetier à différentes distances de la source pour le 5ᵉ jour de simulation

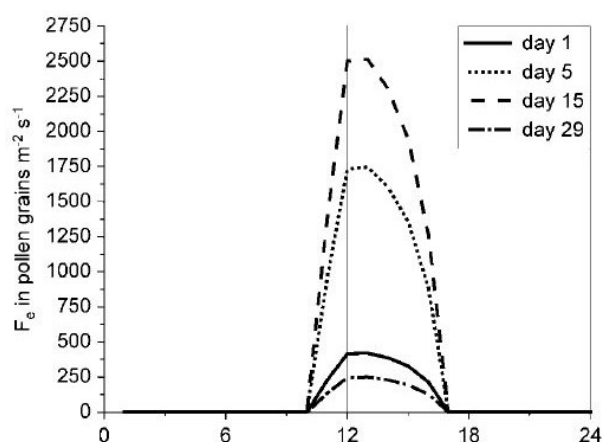


Figure 114. Cycles journaliers (de 0 à 24 heures) des flux d'émissions du pollen de noisetier pour 4 jours de simulation

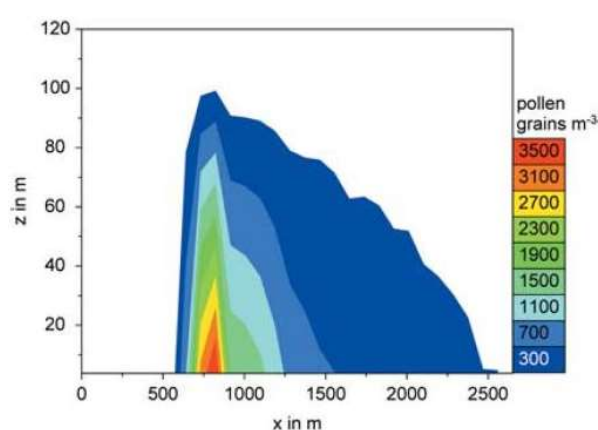


Figure 115. Coupe verticale des concentrations en pollen de noisetier à 12 heures pour le 5ᵉ jour de simulation

Des simulations 3D « académique » (vent géostrophique constant et rayonnement d'un jour particulier) ont ensuite été réalisées pour l'aulne sur un domaine couvrant le sud-ouest de l'Allemagne et les régions adjacentes (cartographié en Figure 116). Les flux d'émissions de pollen d'aulne sont présentés dans la Figure 117. Les champs de concentration modélisés en pollen à 12h et 18h sont présentés dans la Figure 118.

À 12h, les concentrations les plus fortes sont localisées à proximité des sources. À 18h, alors que les émissions de pollen chutent en raison de conditions météorologiques défavorables, les concentrations modélisées atteignent des valeurs plus importantes qu'à 12h : les phénomènes de convection limitent la sédimentation des grains de pollens. Les pollens transportés par un champ de vent 3D peuvent parcourir des distances très importantes et la durée de vie des grains de pollens s'accroît de manière importante.

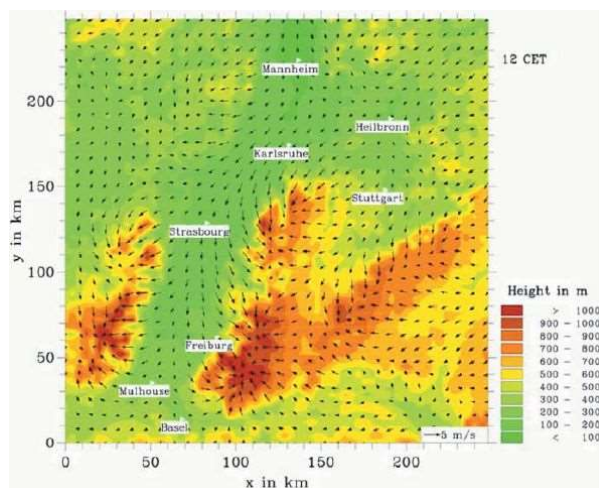


Figure 116. Topographie du domaine d'étude et champ de vent à 12 heures

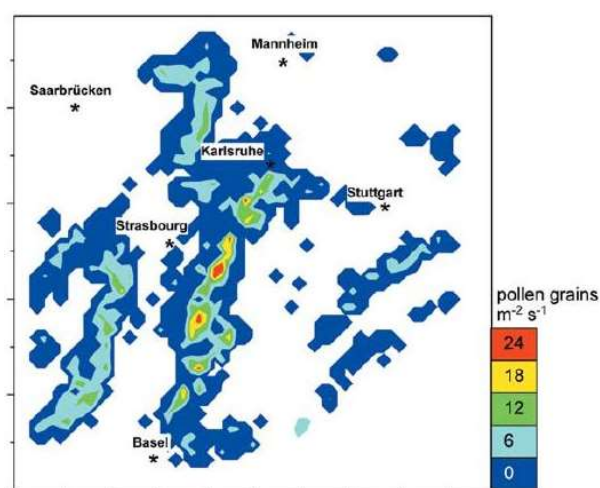


Figure 117. Flux d'émission de pollen d'aulne sur le domaine d'étude à 12 heures

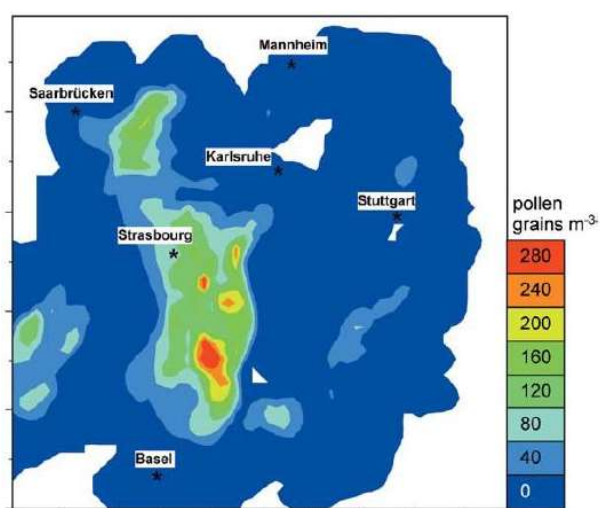
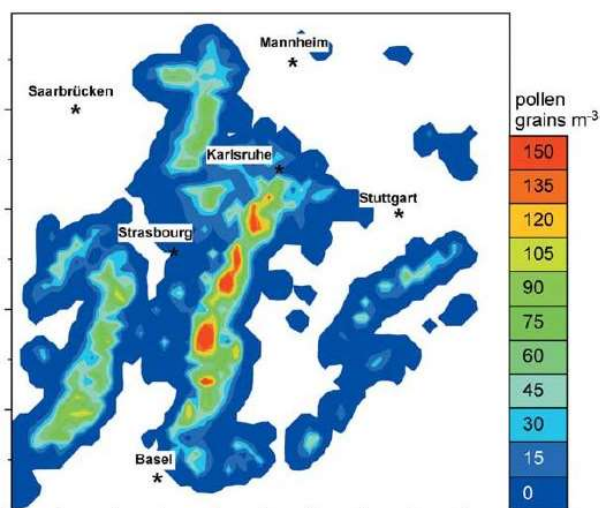


Figure 118. Cartographie des concentrations simulées de pollen d'aulne en surface (20 m du sol) en milieu de journée (12 heures, à gauche) et en fin de journée (18 heures, à droite)

2.2. Paramétrisation EMPOL proposée par Zink *et al.* (2013)

La paramétrisation EMPOL développée par Météo Suisse permet de généraliser à différentes espèces de plante la paramétrisation des émissions de pollen dans l'atmosphère. Elle prend en considération les processus biologiques et physiques aboutissant aux émissions de pollens. La nouvelle paramétrisation EMPOL a été évaluée sur la saison pollinique 2012, saison différente de celle utilisée pour la calibration (saisons 2010 et 2011).

Les processus sont modélisés dans EMPOL en 2 étapes, la libération depuis les fleurs et l'entraînement dans l'atmosphère :

- Selon les conditions biologiques et météorologiques, un certain nombre de pollens sont libérés par les fleurs et emplissent un réservoir de pollens. Le réservoir peut être vu comme une surface sur laquelle les pollens sont déposés (feuille) après avoir été libérés des anthères.
- Si les conditions météo sont favorables, les pollens du réservoir sont entraînés dans l'atmosphère.

Conceptuellement, la paramétrisation se base sur un facteur constant $Q_{pollen,day}$ correspondant à la quantité de pollen par m^2 pouvant être libérée au pic de la saison pollinique si les conditions de libération et d'entraînement étaient parfaites. Les autres facteurs (entre 0 et 1) décrivent les résistances à l'émission du pollen. Ils incluent des conditions météorologiques défavorables, une faible couverture de la plante, ou une date anticipée ou tardive dans la saison pollinique.

Le réservoir R_{pollen} au temps t est constitué du pollen libéré par les fleurs au temps t ainsi que du pollen présent dans le réservoir au temps $t - 1$. Il est considéré que cette quantité peut être perdue en raison de processus aléatoires (par exemple, des animaux passant à côté de la plante entraînant le dépôt du pollen au sol). Un facteur de précipitation peut également lessiver une partie du réservoir. R_{pollen} est exprimé par :

$$R_{pollen} = (\Psi_{random} \cdot R_{pollen,old} + \Delta R_{pollen}) \Psi_{précip}$$

$\Delta R_{pollen} = \Phi_{plant} \cdot \Phi_{met} \cdot \Phi_{biol}$ représente la quantité de pollen libérée par les fleurs à chaque pas de temps :

- $\Phi_{plant} = Q_{pollen,\Delta t} \cdot f_{Q,COV} \cdot f_{Q,alt} \cdot f_{Q,seas}$ représente la quantité de pollen pouvant être libérée sous des conditions météorologiques parfaites au niveau d'une maille du domaine de calcul. $Q_{pollen,\Delta t}$ est la quantité maximale de pollen pouvant être libérée pendant un pas de temps. Ce maximum est réduit d'un facteur décrivant le pourcentage de sol couvert par la plante $f_{Q,COV}$ (entre 0 et 1), le cours de la saison pollinique $f_{Q,seas}$ et l'influence de l'altitude $f_{Q,alt}$.
- $\Phi_{met} = f_{R,T} \cdot f_{R,RH}$ décrit l'influence de la météorologie sur la libération du pollen. Ces fonctions décrivent les probabilités que l'anthèse se produise dans les conditions météorologiques courantes. Seuls la température ($f_{R,T}$) et l'humidité relative ($f_{R,RH}$) sont considérées. Les conditions de libération des pollens étant très différentes selon les espèces, ces fonctions sont dépendantes des plantes et doivent être adaptées.
- Φ_{biol} est ajouté pour annihiler la libération de pollens lorsque la quantité journalière de pollens libérés a atteint un certain seuil, et ce même si les conditions restent favorables.

La seconde partie de la paramétrisation des émissions décrit l'entraînement des pollens depuis le réservoir dans l'atmosphère. Ce processus est piloté par les conditions météorologiques, l'humidité et les turbulences. Le flux d'entraînement $F_{E,pollen}$ est exprimé par $\frac{R_{pollen}}{\Delta t} \cdot f_{E,TKE} \cdot f_{E,RH}$, où :

- Δt : pas de temps de la simulation ;
- R_{pollen} : réservoir de pollen, défini précédemment ;
- $f_{E,RH}$: influence de l'humidité relative entre 0 et 1 (dans des conditions humides, l'entraînement du pollen est réduit, les pollens restant collés sur les surfaces) ;
- $f_{E,TKE}$: influence des turbulences de l'atmosphère, entre 0 et 1.

Les paramètres des fonctions ont été calculés sur la base des mesures de concentrations ($Q_{pollen,day}$, $Q_{pollen,\Delta t}$, $f_{R,T}$, $f_{R,RH}$, $f_{E,TKE}$, $f_{E,RH}$, Ψ_{random} , $\Psi_{précip}$) et de simulations COSMO-Art pour le pollen de bouleau. Les fonctions décrivant l'influence des variables météorologiques sur la libération des pollens sont illustrées dans la Figure 119.

Le biais observé entre les mesures et les résultats de modèle a été utilisé pour calculer $Q_{pollen,day}$ qui correspond au nombre maximum de pollen libéré quotidiennement au plus fort de la saison pollinique. Il est supposé, qu'au plus fort de la saison, les fleurs ont libéré l'ensemble des grains de pollen après 16 heures d'une libération constante.

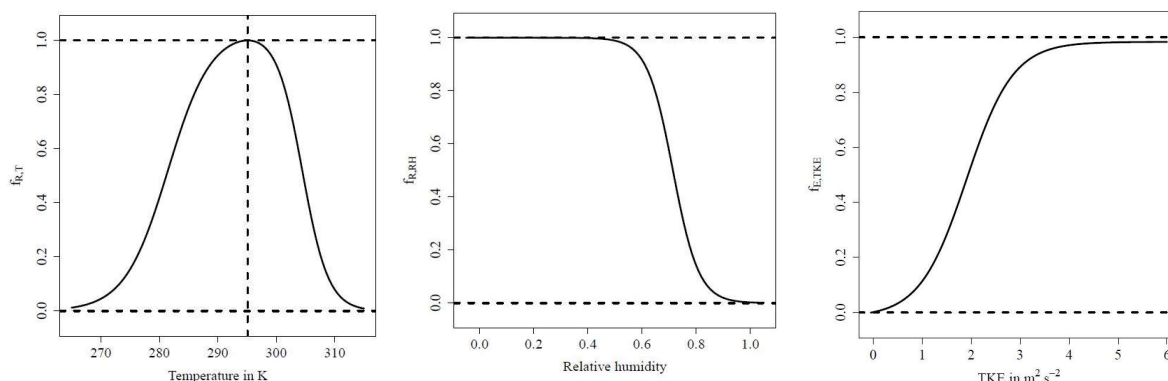


Figure 119. Fonction décrivant l'influence de la température (à gauche), de l'humidité relative (au centre) et de la turbulence de l'atmosphère (à droite) sur la libération du pollen de bouleau

Les fonctions $f_{R,T}$, $f_{R,RH}$ et $f_{E,TKE}$, ont été calibrées en calculant l'erreur absolue entre la mesure et les sorties de modèle pour chacune des stations. Ces erreurs sont tracées en fonction des variables météorologiques. Ces tracés sont utilisés pour ajuster les fonctions décrivant l'influence des paramètres météorologiques.

La quantité de pollen perdue du réservoir en raison des processus aléatoires est paramétrisée sur la base du concept de demi-vie. Le processus aléatoire, s'il est le seul processus d'élimination des pollens du réservoir, aboutit à l'élimination de la moitié des pollens présents dans le réservoir en 12 heures. Le pourcentage de pollen perdu du réservoir par pas de temps s'écrit :

$$\Psi_{random} = \exp\left\{\frac{\ln 0.5 \times \Delta t}{12 \times 3600}\right\} \text{ où } \Delta t \text{ correspond au pas de temps de la simulation.}$$

Le lessivage du réservoir par les précipitations est donné par :

$$\Psi_{precip} = -2000p + 1 \quad \text{si } 0 < p < 0.0005$$

$$\Psi_{precip} = 0 \quad \text{si } p \geq 0.0005$$

Où p désigne la quantité de précipitation exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

La fonction décrivant la tendance du pollen à se fixer à la surface sous l'effet de l'humidité est donnée par :

$$\begin{cases} f_{E,RH} = 1 & RH \leq 90\% \\ f_{E,RH} = 0.5 & 90\% < RH \leq 95\% \\ f_{E,RH} = 0 & 95\% < RH \leq 100\% \end{cases}$$

2.3. Paramétrisation des émissions utilisée au sein du projet ATOPICA

Au sein du projet ATOPICA, c'est le modèle de végétation ORCHIDEE développé par le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement qui a été adapté pour l'ambroisie (Hamaoui-Laguel *et al.* 2015). Les adaptations apportées concernent le taux maximum de photosynthèse et certains paramètres phénologiques. La plateforme de modélisation phénologique (*phenology modelling platform*) intégrée au sein du modèle ORCHIDEE a été utilisée pour modéliser les processus de floraison de l'ambroisie. Cette modélisation intègre la germination (fonction de la température à 2 mètres et de l'humidité du sol) et la croissance (fonction de la température à 2 mètres et de la photopériode). La date de floraison de la plante est déduite des taux de développement calculés à partir de ces facteurs. La fin de la saison pollinique est basée sur les paramètres calculés par la plateforme de modélisation phénologique et l'apparition des premiers gels.

2.4. Paramétrisation des émissions développée par Atmo Auvergne Rhône Alpes

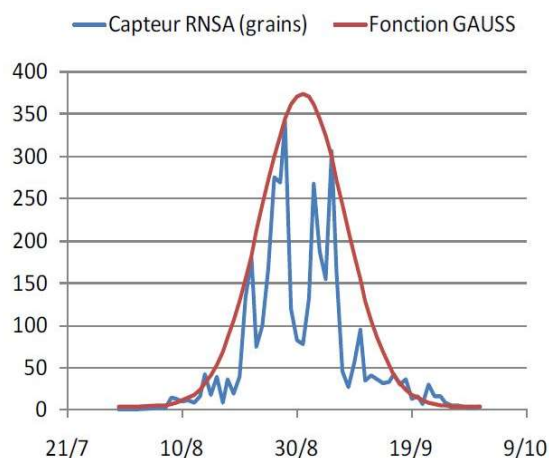
Au sein de la chaîne de modélisation de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, une approche empirique a été mise en place pour caractériser la phénologie de l'ambroisie, sur la base des

comptes de pollens dans l'air ambiant depuis 2002 (Atmo Rhône-Alpes 2010). À partir de la détection du début de la saison pollinique, un modèle de dispersion est opéré pour la semaine. Le début de la saison pollinique est détecté lorsque les conditions suivantes sont remplies :

- Le nombre de grains mesurés sur un capteur est supérieur à 3 grains/m³ sur une journée ;
- Au moins trois capteurs mesurent du pollen d'ambroisie (au moins 1 grain/m³).

La fin de la saison pollinique se produit lorsque les deux conditions ne sont plus remplies. Le pic de la saison pollinique (en date et en intensité) est calculé en utilisant la quantité journalière de grains maximum mesurée aux stations pour une année donnée. Deux coefficients de gaussienne sont ajustés (1/2 durée de la saison pollinique et le max de la gaussienne). Ces deux coefficients sont évalués à partir des données obtenues sur la station de Roussillon puis extrapolés à l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes (représentation schématique en Figure 120).

De la même manière, une approche empirique est utilisée par Atmo Auvergne Rhône Alpes pour modéliser la libération des pollens. Un profil temporel quotidien de libération a été modélisé sur la base des comptes pollinique bi-horaires du réseau RNSA pour l'année 2007 (Figure 121). Les données issues de la station Roussillon, située au cœur de la région infestée par l'ambroisie, sont spécifiquement utilisées car la contribution des pollens issus du transport longue distance y est supposée négligeable. Les jours sélectionnés correspondent à des périodes de régime anticyclonique (période ensoleillée, sans précipitation...) permettant de négliger l'effet des conditions météorologiques sur le profil de libération. Une correction est finalement apportée pour prendre en compte la dynamique des pollens dans l'atmosphère : le profil est corrigé du volume d'air de dispersion à l'aide de la hauteur de la couche limite. Cependant, il est à noter que le modèle empirique de libération ainsi obtenu n'est pas corrigé des conditions météorologiques qui peuvent impacter de manière importante les émissions.



Coefficients ajustés : 1/2 durée de la saison pollinique. Sur la figure, durée de la saison pollinique : (28 septembre–3 août) / 2 = 28 jours. Pic de la saison pollinique : 370 grains/m³.

Figure 120. Principe d'ajustement du modèle phénologique de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur les données du capteur Roussillon.

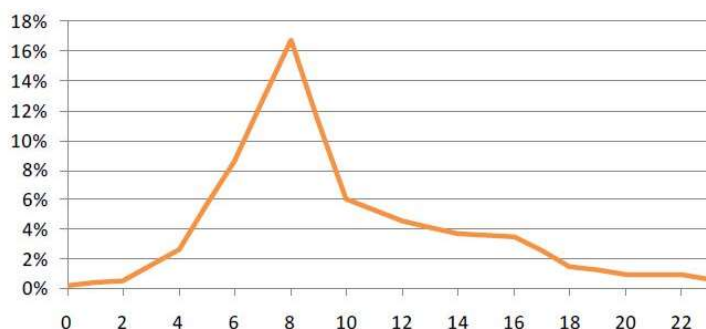


Figure 121. Profil quotidien (de 0 à 24 heures) du facteur d'émissions des pollens d'ambroisie modélisé en pourcentage de la dose journalière totale émise (Atmo Rhône-Alpes 2010)

Annexe 5 Questionnaire et retours de la consultation nationale à destination des professionnels de santé

Le questionnaire utilisé dans le cadre de la présente expertise, à destination des professionnels de santé, est visible ci-dessous. Il a été mis en ligne et diffusé le 28 août 2019. Au 30 septembre 2019, 107 répondants avaient complété le questionnaire. Le temps moyen de saisi enregistré était de 418 secondes. Une description brève des réponses est également présentée.

Questionnaire

- Vous êtes médecin :

- Généraliste
 Allergologue
 Pneumologue
 Autre

Vous exercez dans le département :

- Connaissez-vous l'ambroisie ?

- Non
 Oui

- Êtes-vous concerné par la problématique de l'ambroisie dans votre exercice ?

- Non
 Oui

- Suspectez-vous toujours le rôle de l'ambroisie dans les symptômes rapportés par vos patients (par exemple : écoulement nasal, démangeaisons, larmoiements) lors de saison de pollinisation ?

- Non
 Oui

- Évaluez-vous la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie chez un patient suspecté allergique ?

- Non
 Oui, mais presque jamais
 Oui, de temps en temps
 Oui, de manière systématique

- Durant votre exercice, quelles sont les manifestations cliniques les plus typiques de l'allergie au pollen d'ambroisie ?

	Jamais	Rarement	Occasionnellement	Assez souvent	Très souvent
Écoulement nasal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Congestion nasale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Éternuements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Démangeaisons de la gorge ou du nez	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Jamais	Rarement	Occasionnellement	Assez souvent	Très souvent
Toux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Larmolement ou démangeaison oculaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autres symptômes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Si autres symptômes, lesquels ?

- Pensez-vous que les manifestations cliniques de l'allergie au pollen d'ambroisie sont plus sévères que celles de l'allergie à d'autres pollens ?

Non

Oui

Commentaires éventuels sur ce point :

- Quelle stratégie de soins pratiquez-vous auprès des patients allergiques (ou suspectés allergiques) au pollen d'ambroisie ?

Recommandations – De quelle nature ?

Prescriptions médicamenteuses – Quels types de médicaments ?

Désensibilisation allergique – Dans quels cas ?

- Pensez-vous que les manifestations cliniques de l'allergie au pollen d'ambroisie sont plus difficiles à contrôler que celles de l'allergie à d'autres pollens ?

Non

Oui

Commentaires éventuels sur ce point :

- Si vous le souhaitez, autres commentaires :

Description des réponses

Vous êtes médecin :	N	%
Généraliste	2	1,9%
Allergologue	84	78,5%
Pneumologue	12	11,2%
Autre	9	8,4%

Vous exercez dans le département (seuls les 10 départements les plus fréquents sont présentés) :	N	%
Rhône	7	7,40%
Maine-et-Loire	6	6,40%

Vous exercez dans le département (seuls les 10 départements les plus fréquents sont présentés) :	N	%
Bas-Rhin	5	5,30%
Haute-Garonne	4	4,30%
Gironde	4	4,30%
Isère	4	4,30%
Sarthe	4	4,30%
Finistère	3	3,20%
Loire-Atlantique	3	3,20%
Marne	3	3,20%

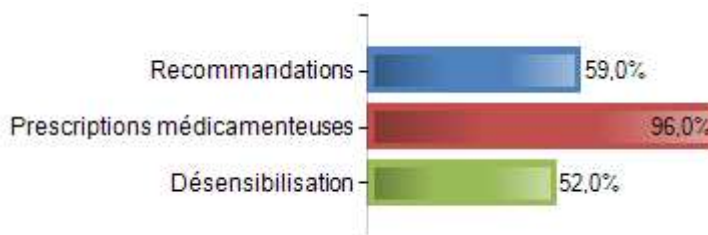
Êtes-vous concerné par la problématique de l'ambroisie dans votre exercice?	N	%
Non	50	48,5%
Oui	53	51,5%

Suspectez-vous toujours le rôle de l'ambroisie dans les symptômes rapportés par vos patients lors de saison de pollinisation ?	N	%
Non	31	30,7%
Oui	70	69,3%

NB : 22 (21,78%) répondants se sont déclarés non concernés par la problématique de l'ambroisie dans leur exercice mais rapportent suspecter le rôle de l'ambroisie dans les symptômes rapportés par les patients.

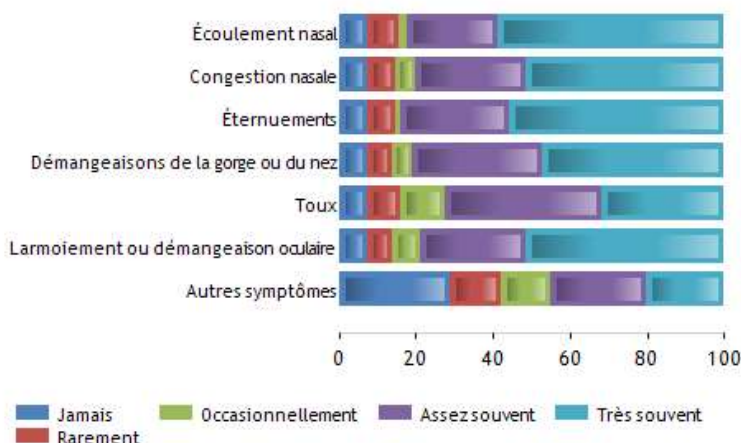
Évaluez-vous la sensibilisation allergique au pollen d'ambroisie chez un patient suspecté allergique ?	N	%
Non	5	4,9%
Oui, mais presque jamais	13	12,7%
Oui, de temps en temps	30	29,4%
Oui, de manière systématique	54	52,9%

Quelle stratégie de soins pratiquez-vous auprès des patients allergiques (ou suspectés allergiques) au pollen d'ambroisie ?



NB : les recommandations les plus rapportées incluent des mesures d'évitement des pollens, l'anticipation de la saison pollinique, et le lavage du visage, des mains et des cheveux. Les prescriptions médicamenteuses les plus rapportées incluent les collyres, les antihistaminiques en comprimés, et les sprays nasaux.

Durant votre exercice, quelles sont les manifestations cliniques les plus typiques de l'allergie au pollen d'ambroisie ?



NB : parmi les « autres symptômes », l'asthme était le plus fréquemment rapporté (73,8%).

Pensez-vous que les manifestations cliniques de l'allergie au pollen d'ambroisie sont plus sévères que celles de l'allergie à d'autres pollens ?

Réponse	N	%
Non	25	26%
Oui	71	74%

Pensez-vous que les manifestations cliniques de l'allergie au pollen d'ambroisie sont plus difficiles à contrôler que celles de l'allergie à d'autres pollens ?

Réponse	N	%
Non	35	38,5%
Oui	56	61,5%

Annexe 6 Questionnaire de la consultation internationale à destination des organismes, agences ou institutions nationaux responsables de la gestion ou de la lutte contre l'ambroisie

Le questionnaire utilisé dans le cadre de la présente expertise à destination d'institutions, d'agences ou organismes responsables de la gestion de l'ambroisie, est visible ci-dessous. Il a été diffusé à partir du 14 mai 2019 en anglais et en français. Au 04 septembre 2019, 11 répondants avaient complété le questionnaire. Une description des informations communiquées est présentée par la suite. Les retours présentés concernent l'Amérique du Nord et l'Europe.

Questionnaire

1. Coordonnées de la personne répondant aux questions

Nom, prénom :	
Institution :	
Région/état, pays :	
Fonction :	
Téléphone :	
Email :	

2. L'ambroisie à feuille d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*) ou une autre espèce proche (*Ambrosia Trifida* et *Ambrosia Psilostachya*) constitue-t-elle une problématique sérieuse, modérée, mineure ou inexistante dans votre région/État ou pays ?

Sérieuse Modérée Mineure Inexistante

Détails, sources (liens, références) :

3. Existe-t-il une loi, politique publique ou réglementation applicable dans votre région/État ou pays en lien avec la problématique de l'ambroisie ?

Non, reportez-vous à la question 4.

Oui :

3A. Ces lois, politiques publiques ou réglementations portent sur...	Pouvez-vous les décrire brièvement ? Quelle est l'institution ou l'organe responsable de la mise en place ? À quelle échelle (locale, régionale, nationale) ?	Elles s'appliquent...	Sources (liens, références)
<input type="checkbox"/> la surveillance ?		<input type="checkbox"/> à la population <input type="checkbox"/> au secteur agricole <input type="checkbox"/> au secteur industriel <input type="checkbox"/> à d'autres :	
<input type="checkbox"/> la prévention ?		<input type="checkbox"/> à la population <input type="checkbox"/> au secteur agricole <input type="checkbox"/> au secteur industriel <input type="checkbox"/> à d'autres :	

3A. Ces lois, politiques publiques ou réglementations portent sur...	Pouvez-vous les décrire brièvement ? Quelle est l'institution ou l'organe responsable de la mise en place ? À quelle échelle (locale, régionale, nationale) ?	Elles s'appliquent...	Sources (liens, références)
<input type="checkbox"/> l'éradication ?		<input type="checkbox"/> à la population <input type="checkbox"/> au secteur agricole <input type="checkbox"/> au secteur industriel <input type="checkbox"/> à d'autres :	
<input type="checkbox"/> la diffusion de l'information ou la sensibilisation ?		<input type="checkbox"/> à la population <input type="checkbox"/> au secteur agricole <input type="checkbox"/> au secteur industriel <input type="checkbox"/> à d'autres :	
<input type="checkbox"/> d'autres éléments ?		<input type="checkbox"/> à la population <input type="checkbox"/> au secteur agricole <input type="checkbox"/> au secteur industriel <input type="checkbox"/> à d'autres :	

3B. Existe-t-il des indicateurs (qualitatifs ou quantitatifs) estimant l'impact ou l'efficacité de la mise en place de ces lois, politiques publiques ou réglementations à court, moyen ou long terme ?

Non Oui

Détails, sources (liens, références) :

3C. Des mesures correctives sont-elles engagées en cas de non-respect de ces lois, politiques publiques ou réglementations ?

Non Oui

Détails, sources (liens, références) :

4. Une estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie a-t-elle été conduite dans votre région/état ou pays ? Une estimation des coûts associés à cet impact sanitaire est-elle disponible ?

Non, reportez-vous à la question 5.

Oui :

4A. Quelle est l'institution à l'origine de cette estimation ?	
4B. Pouvez-vous brièvement décrire la méthodologie utilisée ?	
4C. Une telle estimation a été réalisée...	<input type="checkbox"/> Une fois <input type="checkbox"/> Deux fois <input type="checkbox"/> De manière répétée
4D. Considérez-vous l'impact sanitaire de l'ambroisie dans votre région/État ou pays comme...	<input type="checkbox"/> Mineur ? <input type="checkbox"/> Modéré ? <input type="checkbox"/> Majeur ?

4E. Pensez-vous que cette estimation a été à l'origine de lois, politiques publiques ou réglementations en lien avec l'ambroisie (à l'échelle locale, régionale ou nationale) ?	<input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui Détails :
4F. Sources (liens, références) :	

5. Une estimation de l'impact de l'ambroisie sur le secteur agricole a-t-elle été conduite dans votre région/État ou pays ? Une estimation des coûts associés à cet impact est-elle disponible ?

Non, reportez-vous à la question 6.

Oui :

5A. Quelle est l'institution à l'origine de cette estimation ?	
5B. Pouvez-vous brièvement décrire la méthodologie utilisée ?	
5C. Une telle estimation a été réalisée...	<input type="checkbox"/> Une fois <input type="checkbox"/> Deux fois <input type="checkbox"/> De manière répétée
5D. Considérez-vous l'impact de l'ambroisie sur le secteur agricole dans votre région/État ou pays comme...	<input type="checkbox"/> Mineur ? <input type="checkbox"/> Modéré ? <input type="checkbox"/> Majeur ?
5E. Pensez-vous que cette estimation a été à l'origine de lois, politiques publiques ou réglementations en lien avec l'ambroisie (à l'échelle locale, régionale ou nationale) ?	<input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui Détails :
5F. Sources (liens, références) :	

6. Si vous n'êtes pas en mesure de répondre à ces questions, pouvez-vous nous indiquer les coordonnées d'une personne ou d'une institution compétente dans votre pays ?

Nom, prénom :		
Institution :		
Téléphone :		
Email :		

Synthèse des retours de la consultation internationale (11 répondants)

Importance de la problématique « ambroisie »	N
Inexistante	1
Mineure	3
Modérée	2
Sérieuse	5

Existence d'une politique publique relative à l'ambroisie	N
Non	2
Oui	9

Dans les pays disposant d'une politique publique relative à l'ambroisie :

Existence d'une politique publique en matière de prévention	N
NA	1
Oui	8
Existence d'une politique publique en matière de lutte	N
NA	3
Oui	6
Existence d'une politique publique d'information/communication	N
NA	1
Oui	8
Évaluation des politiques publiques	N
Non	6
Oui	3

Existence d'une politique publique relative à la surveillance de l'ambroisie	N
NA	2
Non	2
Oui	7
Existence d'estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie	N
Non	5
Oui	6
Existence d'estimation de l'impact de l'ambroisie dans le domaine agricole	N
NA	1
Non	8
Oui	2

Annexe 7 Compte rendu de l'audition de l'Observatoire des ambrosies – FREDON France

L'audition s'est tenue le 03 septembre 2019 lors d'une réunion du groupe de travail « Ambroisie » au siège de l'Anses (Maisons-Alfort).

Étaient présents :

- Marilou MOTTET : Coordinatrice de l'Observatoire des ambrosies ;
- Olivier PECHAMAT : Directeur FREDON France ;
- Les membres du groupe de travail « ambroisie » et les membres coordinateurs Anses.

En début d'audition, un rappel du contexte autour de la saisine a été rappelé à l'ensemble des participants. Les échanges se sont articulés autour d'un support de présentation réalisé par les auditionnés.

1. Présentation de la Fredon France et de l'Observatoire des ambrosies

FREDON est un réseau d'experts indépendant exerçant dans le champ de la santé végétale en interaction avec l'environnement et l'humain.

L'Observatoire des ambrosies a été créé en 2011 par les ministères chargés de la santé, de l'agriculture et de l'écologie. Il est actuellement piloté par FREDON France (Figure 122). Les objectifs de l'Observatoire des ambrosies sont :

- L'information du public, sur les effets sur la santé humaine associés à ces espèces et sur les mesures de prévention et de lutte contre ces espèces ;
- La valorisation et la diffusion des connaissances scientifiques relatives à ces espèces et à leurs impacts sur la santé humaine et les milieux ainsi que la réalisation des travaux et recherches et, le cas échéant, de leurs applications ;
- La valorisation, la diffusion et la coordination des actions de prévention, de lutte, de formation et d'information menées sur l'ensemble du territoire. Pour cela, il s'appuie sur l'expertise des acteurs nationaux et locaux compétents dans les différents domaines concernés et participe aux actions menées à l'échelle internationale dans ce domaine.

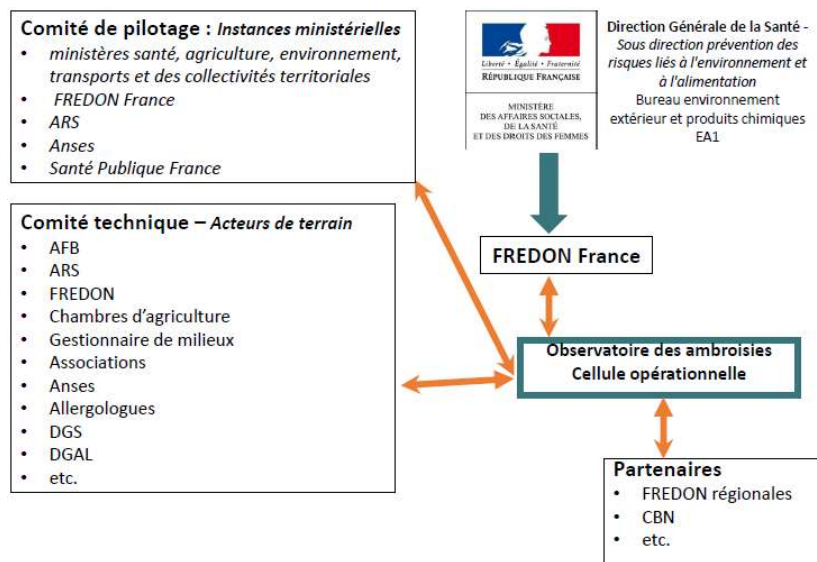


Figure 122. Fonctionnement de l'Observatoire des Ambrosies

En préambule des informations communiquées ci-après, il est précisé que de nombreuses données ont été produites dans le cadre d'un stage mené au sein de l'Observatoire des ambrosies visant un recueil d'expériences de gestion de l'ambroisie en contexte agricole. Ce stage s'appuie sur un panel de 109 réponses obtenues à partir d'un questionnaire diffusé

auprès d'agriculteurs et de 10 entretiens semi-directifs. Trois objectifs étaient visés : mieux cerner les difficultés auxquelles les agriculteurs sont confrontés ; améliorer la lutte en mettant en avant les pratiques les plus efficaces ; et donner des informations utiles à l'étayement d'un plan d'action et de sensibilisation au sein du monde agricole.

2. La problématique de l'ambroisie en contexte agricole

Cultures les plus impactées par la présence d'ambroisie en France

Dans la littérature scientifique, les cultures les plus impactées sont les cultures de printemps : tournesol, sorgho, maïs et soja pois. Des témoignages font également remonter la présence d'ambroisie en vigne, pomme de terre, betterave et carotte.

Les agriculteurs participants au recueil d'expérience de gestion de l'ambroisie en milieu agricole indiquent, en moyenne, une parcelle sur trois (31%) touchée par l'ambroisie. La majorité des parcelles touchées (58%) sont envahies à moins de 10%. Les témoignages indiquent différents postes de coûts en lien avec la gestion de l'ambroisie : les coûts du tri des graines, le coût de l'incinération des freintes, et le coût du désherbage manuel.

L'impact de l'ambroisie sur les cultures en France se traduit, d'une part, par une perte de rendement et, d'autre part, par une augmentation des charges opérationnelles, les deux diminuant la marge brute de la culture.

Connaissance de la problématique Ambroisie et actions privilégiées

Le recueil d'expérience de la gestion de l'ambroisie en milieu agricole montre que l'ambroisie est, en moyenne, plus connue dans les régions les plus infestées :

Région	Niveau de connaissance moyen (1 : pas de connaissance à 5 : forte connaissance)	Effectif
Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes	3,00	24
Pays de la Loire	1,67	3
Provence-Alpes-Côte d'azur	2,00	5
Bretagne	1,60	5
Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées	2,00	3
Bourgogne-Franche-Comté	2,33	3
Auvergne-Rhône-Alpes	3,20	44

Les actions diffèrent en fonction :

- de la culture en cours,
- du type d'agriculture,
- de l'emplacement géographique,
- du niveau d'envahissement,
- de la filière,
- de la date de découverte.

Pour être efficient, l'exploitant doit, de manière systématique, mettre en place une surveillance, des actions de gestion et un suivi des parcelles. Il est à souligner que les actions doivent être connues et visibles pour être adoptées par les exploitants agricoles.

Pratiques	% répondants utilisant la pratique (effectif total : 109)	Efficacité moyenne estimée par les répondants (1 : pas efficace à 5 : très efficace)
Mesures préventives	Surveillance de bords de champs (53%)	3,0
	Déchaumage d'été (28%)	
Méthodes mécaniques	Binage/sarclage (52%)	2,1
	Fauchage en bord de champs (46%)	
	Arrachage de l'ambroisie (39%)	
Pratiques culturales	Déchaumage (74%)	3,2
	Couvert d'interculture (45%)	
Méthodes chimiques	Glyphosate (80%)	3,6
	Imazamox (32%)	

3. Connaissance de l'ambroisie dans le reste de la population

Population générale

À partir de l'outil *Google Trends*, l'Observatoire des Ambrosies considère que la connaissance globale de la problématique « ambroisie » par la population est encore améliorable. L'importance de la présence de ce sujet dans les médias est toutefois constante depuis 10 ans à côté d'un panel d'autres sujets médiatiques en lien avec la santé ou l'environnement (moustique tigre par exemple). Les requêtes sur internet en lien avec l'ambroisie présentent clairement un pic saisonnier, sans pour autant apparaître comme le sujet majeur (en troisième position derrière le moustique tigre et la problématique tiques) (Figure 123).

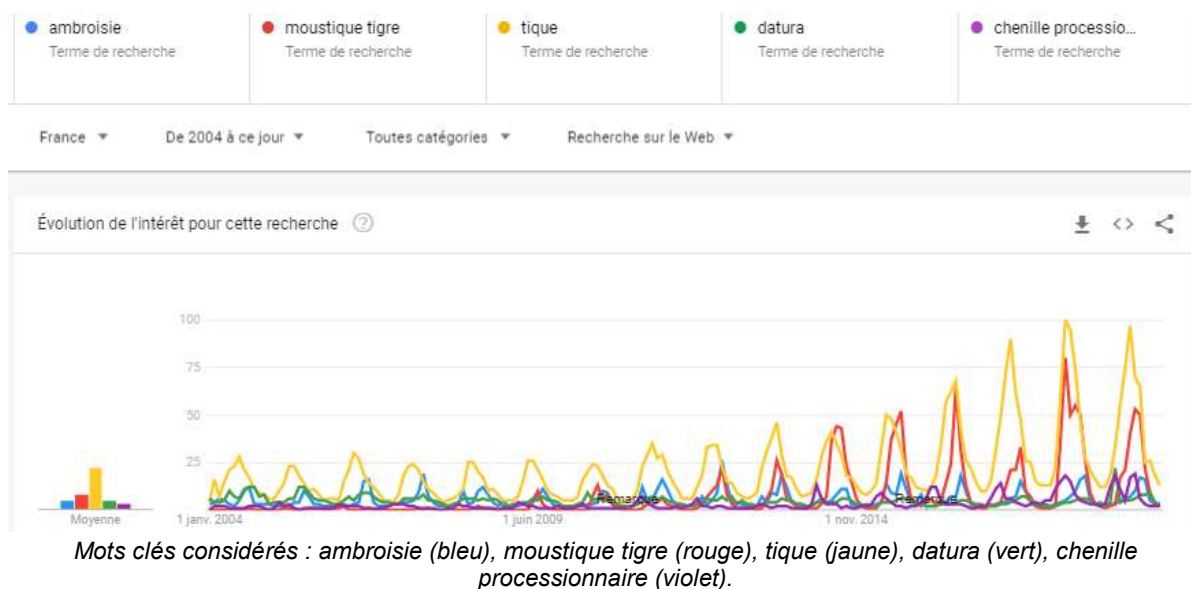


Figure 123. Nombre de requêtes journalières (en moyenne de 2004 à 2019) pour différents mots clés (source : Google Trends)

L'ambroisie est bien plus connue dans les zones infestées, notamment en Auvergne-Rhône-Alpes, région dans laquelle les individus, même non allergiques, y sont fréquemment confrontés (Figure 124). Il est à noter que les statistiques des requêtes des internautes montrent qu'elles viennent de toutes les régions de France (source : Google Trends – requête

santé) montrant ainsi une amélioration de la connaissance du phénomène. Il est également à noter qu'il existe beaucoup de confusions avec d'autres *plantes exotiques* envahissantes.

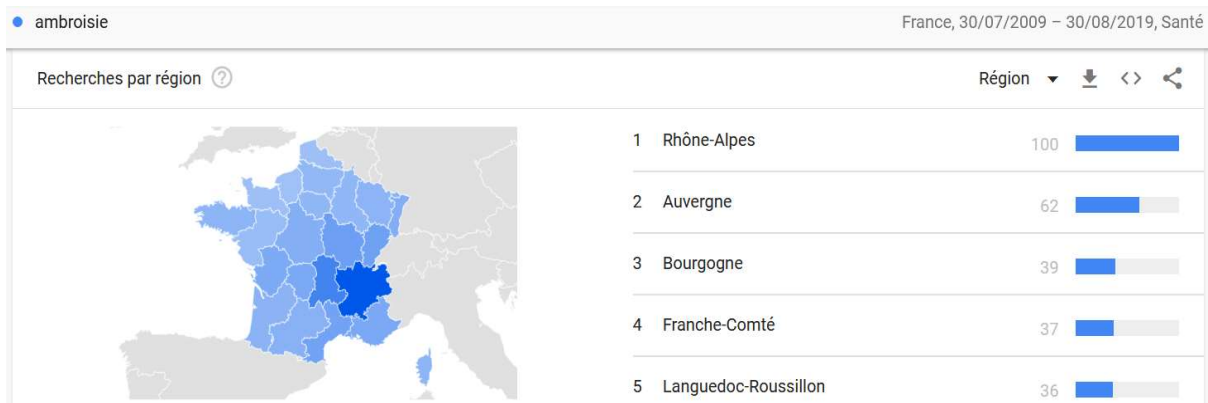


Figure 124. Nombre de requêtes associant le mot « ambroisie » à « santé » par régions (source : Google Trends).

Collectivités territoriales



Les collectivités sont de plus en plus sensibilisées, notamment *via* le canal de la collaboration naissante entre le Centre National de la Fonction Publique Territoriale et FREDON France – Observatoire des ambrosies pour la création de webinaires et de supports de formation.

Il est jugé que les collectivités ayant nommé un référent ambroisie ont un bon niveau de connaissance. Celles-ci sont pour le moment situées en grande majorité dans les zones les plus infestées. La visibilité est néanmoins limitée pour les petites communes.

Professionnels de santé

Dans le cadre du 14^{ème} Congrès Francophone d'Allergologie du 17 au 19 avril 2019, FREDON France – Observatoire des ambrosies a réalisé un sondage auprès des médecins allergologues présents. Il leur était demandé s'ils recherchaient systématiquement la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans les tests cutanés. Sur 67 allergologues interrogés, 44 (66%) recherchaient effectivement l'ambroisie. Ceux ne recherchant pas cet allergène connaissaient tout de même la plante et étaient majoritairement situés dans des régions où l'ambroisie n'est pas ou peu présente. Le ressenti de FREDON France – Observatoire des ambrosies sur cette expérience était que les médecins connaissaient l'allergène plus que la plante et son écologie (confusion possible avec l'armoise).

4. Une communication à plusieurs niveaux

La communication au grand public est assurée par :

- les médias qui permettent d'avoir un bruit de fond ;
- certaines institutions (Direction Générale de la Santé, Agence Régionale de Santé, FREDON France – Observatoire des ambrosies et partenaires) qui, par le biais de communiqués ou d'activités sur les réseaux sociaux, entretiennent le flux d'information.

Une communication différenciée est nécessaire pour toucher les centres d'intérêts spécifiques des différents publics cibles (Figure 125). FREDON France – Observatoire des ambrosies, avec son comité technique et ses partenaires, a développé des actions et des supports de communication, voire de gestion, adaptés aux éléments de langage des catégories professionnelles identifiées :

- Gestionnaires des bords de route (représentant un tiers des implantations d'ambrosies en Auvergne-Rhône-Alpes) ;
- Agriculteurs (représentant globalement un autre tiers des implantations d'ambrosies en Auvergne-Rhône-Alpes) ;
- Élus de collectivité territoriale ;
- Entrepreneurs de travaux agricoles ;
- Professionnels de santé.

Une communication personnalisée et locale au contact des populations est assurée par des personnes relais sur le terrain pour un accompagnement *in situ*. Une communication de sensibilisation et des formations auprès des jeunes publics (écoles) est également disponible.

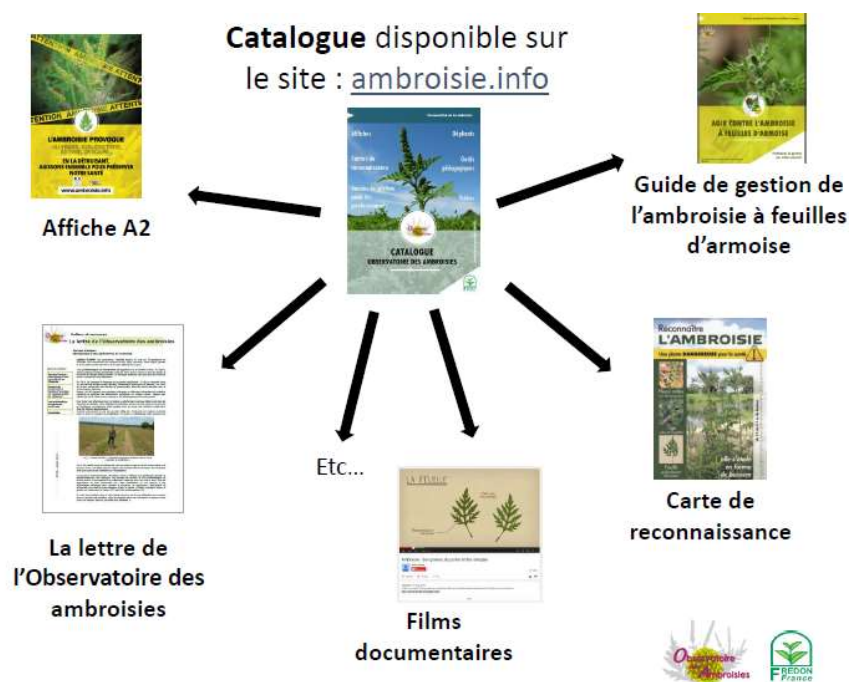
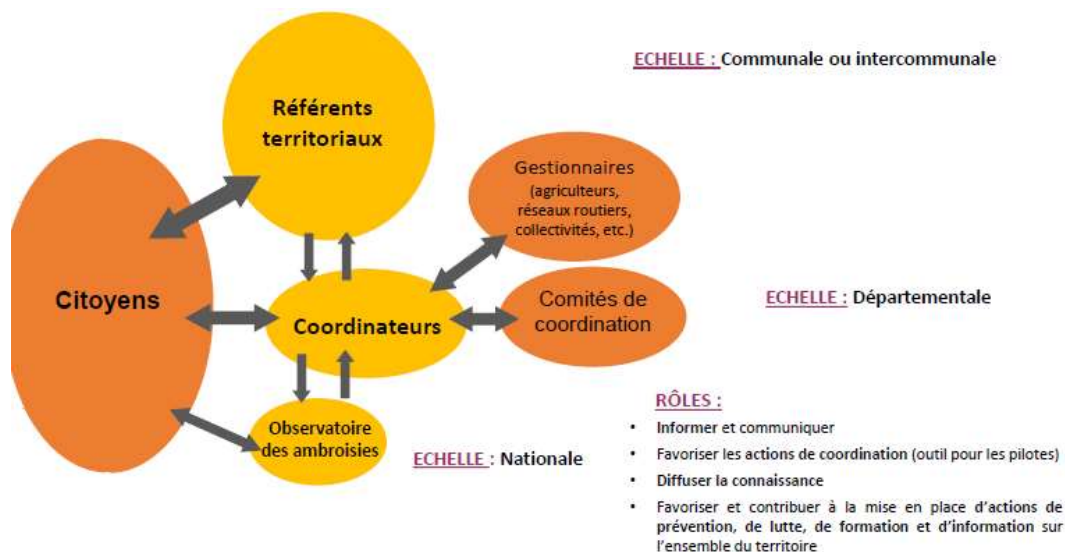


Figure 125. Documentations existantes pour divers publics

5. Organisation de la lutte contre l'ambroisie : de l'échelle communale à l'échelle régionale

L'instruction ministérielle de juillet 2018 complétée du Vademecum de l'Observatoire des ambrosies⁵⁰ de janvier 2019 décrivent l'architecture de l'organisation de la lutte contre l'ambroisie :

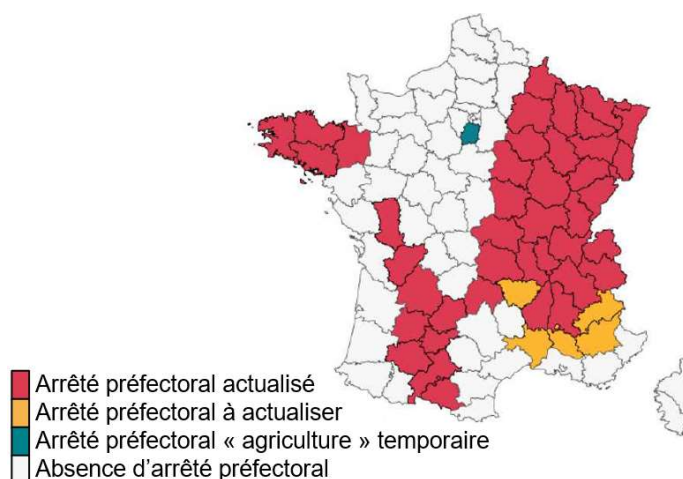


Les collectivités territoriales concernées par la présence d'ambrosie ou susceptibles de l'être peuvent désigner un ou plusieurs référents territoriaux. Ceux-ci peuvent être des élus, des employés municipaux, des agriculteurs, ou des particuliers désignés par le maire, dont le rôle est de :

- Repérer la présence d'ambrosies ;
- Participer à leur surveillance ;
- Informer les personnes concernées des mesures à mettre en œuvre pour prévenir l'apparition de ces espèces ou pour lutter contre leur prolifération ;
- Veiller et participer à la mise en œuvre de ces mesures.

Ces référents sont parfois employés spécifiquement par les collectivités (comme à Saint Priest dans le Rhône). Toutefois, ce sont des bénévoles dans la plupart des cas. Ces référents territoriaux peuvent, en cas de besoin, s'appuyer sur le coordonnateur de la lutte contre les ambrosies de leur territoire.

À l'échelle départementale, la stratégie de lutte contre l'ambroisie peut se structurer autour d'un arrêté pris par la préfecture :



⁵⁰ Arrêté du 2 juin 2017 portant désignation des organismes contribuant à certaines mesures nationales de prévention et de lutte relatives à l'ambroisie à feuille d'armoïse, l'ambroisie trifide et l'ambroisie à épis lisses : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrêté/2017/6/2/SSAP1713455A/jo/texte>

Sur le territoire de la région, le pilotage de l'action ambrosie est réalisé :

- soit en direct par les Agences Régionales de Santé,
- soit en collaboration avec des délégués missionnés pour ce rôle de coordonnateurs « ambrosie ».

Les FREDON régionales ont souvent ce rôle en raison de leur historique d'action et de la proximité immédiate d'avec FREDON France pilotant l'Observatoire des ambrosies (il existe un groupe de travail national interne sur ce thème). Dans certaines régions, il existe des partenariats FREDON-CPIE (Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement) ou FREDON-CBN (Conservatoires Botaniques Nationaux) pour assurer ces missions d'animation.

En pratique, il est constaté que les pilotes se voient le plus souvent confier des missions d'animation et de coordination des réseaux de référents territoriaux, de partage de l'information, de diffusion des outils et des actualités réglementaires, et de partage de bonnes pratiques d'une région à une autre. S'agissant d'une lutte collective, ces pilotes régionaux s'appuient sur des acteurs multiples (chambres d'agriculture, conservatoire botanique national, centre permanent d'initiatives à l'environnement, instituts techniques agricoles, etc.) qui participent à la lutte sur leur territoire.

6. Constats et propositions d'amélioration des dispositifs actuels

Constat à l'échelle française

Les arrêtés préfectoraux pris des années auparavant par certains départements n'ont pas permis de réduire l'infestation. Or, les arrêtés actuels sont en grande partie similaires aux arrêtés existants, parfois avec la disparition de possibles sanctions.

Selon FREDON France – Observatoire des ambrosies, les différentes réglementations (nuisibles santé humaine, organismes de quarantaine, et espèces exotiques envahissantes) des différentes politiques publiques sur les espèces nuisibles devraient tout à la fois être plus homogènes et mieux coordonnées pour permettre de meilleures traductions opérationnelles. Il existe en effet certaines contradictions réglementaires qui gênent la prise en charge de l'ambrosie (par exemple : les surfaces d'intérêt écologiques et le couvert végétal demandés par la directive nitrate interdisent la destruction du couvert).

Des actions à promouvoir pour améliorer la lutte contre l'ambrosie

Elles diffèrent selon le niveau de connaissance et d'infestation d'une zone :

- dans les zones peu infestées, les actions de communication sont à promouvoir car la détection et la gestion précoce sont les méthodes les plus efficaces ;
- dans les zones très infestées, les actions de gestion sont à promouvoir, par exemple : arrachage citoyen ou mise en place de « brigade verte » pouvant être appelées pour gérer directement une population (déjà en place pour la Berce du Caucase en région Normandie).

Le modèle Suisse, qui semble efficace, est évoqué pour la mobilisation de dispositifs financiers permettant, sous certaines conditions, une compensation économique à l'agriculteur à la découverte de l'adventice sur ses terres (et donc une destruction obligatoire) et une pénalisation économique les années suivantes si elle est toujours présente. Il serait intéressant de mettre en place un tel dispositif en France, au moins dans les zones peu infestées ou en front de colonisation. Cette possibilité n'est pas encore offerte en l'absence de classement des ambrosies comme nuisible à la santé des végétaux (agriculture).

La nécessité d'une réglementation à l'échelle européenne

Les trois ambrosies réglementées en France ont une identité bien établie, sont considérées comme des organismes nuisibles, et sont toujours susceptibles d'entrer, de s'établir, et de se disséminer sur le territoire. Cependant, des mesures réalisables et efficaces existent pour lutter ou éradiquer ces espèces dans les zones infestées ou de front.

FREDON France – Observatoire des ambrosies souligne l'importance et la nécessité d'une réglementation homogène au niveau européen, dans une optique de coordination des actions, d'homogénéisation des obligations, et de limitation du risque des transferts de graines d'ambroisie entre les pays.

Freins identifiés dans la mise en place d'actions et leviers d'amélioration

Les principaux freins à la mise en place d'actions de terrain contre l'ambroisie sont :

- L'existence des incompatibilités réglementaires entre lutte contre les ambrosies et dispositifs agricoles, freinant ainsi la mise en place des actions ;
- L'offre de soin en allergologie limitée dans certaines régions et la méconnaissance de l'allergie au pollen d'ambroisie par les médecins généralistes, conduisant à une sous-détection de cette allergie et une trivialisat ion des symptômes ;
- Le choix des décideurs et des acteurs à prioriser d'autres sujets du domaine santé environnement.

Les leviers d'amélioration identifiés font écho aux freins évoqués précédemment :

- La levée des contradictions réglementaires ;
- L'augmentation d'une communication ciblée et de proximité qui fédère et ne soit pas clivante ;
- La sensibilisation des médecins généralistes à la problématique ambroisie ;
- La possibilité juridique explicite du maire de prendre des arrêtés sur la base de son pouvoir général de police sanitaire.
- La possibilité d'indemniser la perte de récolte en cas d'envahissement malgré des mesures de prévention.

Annexe 8 Compte rendu de l'audition de l'Agence Régionale de Santé (ARS) et de l'Observatoire Régional de Santé (ORS) de la région Auvergne-Rhône-Alpes

L'audition s'est tenue le 29 mars 2019 lors d'une réunion du groupe de travail « Ambroisie » au siège de l'Anses (Maisons-Alfort).

Étaient présents, pour l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes :

- Pierre-Jean CHAMBARD : Responsable du service statistiques et études, direction de la stratégie et des parcours ;
- Hervé BERTRAND : Technicien du génie sanitaire, service Santé-Environnement, référent régional pollens et ambroisie, direction de la santé publique.

Et pour l'ORS Auvergne-Rhône-Alpes :

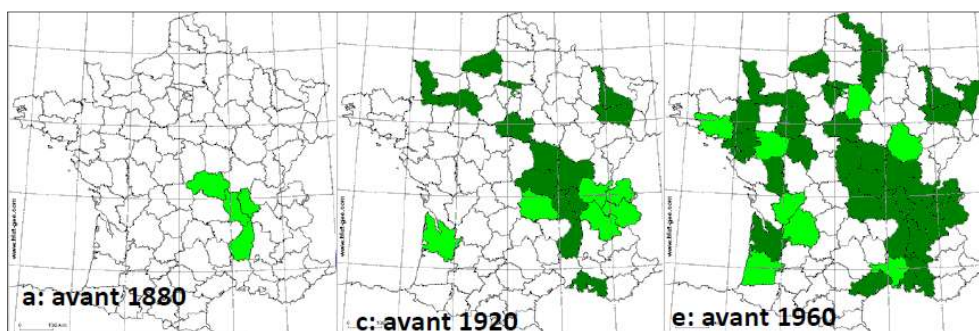
- Lucie ANZIVINO : Docteure en épidémiologie, chargée d'étude santé environnementale et évaluation d'impact sur la santé ;
- Magali VENZAC : Chargée d'études statistiques.

Un rappel du contexte autour de la saisine est rappelé à l'ensemble des participants. Les échanges se sont articulés autour d'un support de présentation réalisé par les auditionnés.

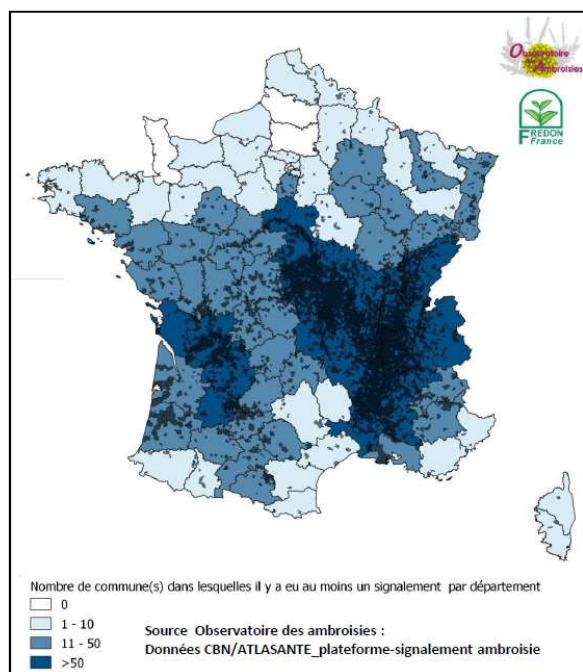
1. État des lieux

- Auvergne-Rhône-Alpes : une région historiquement infestée et mobilisée sur cette problématique

L'ambroisie s'est considérablement répandue sur le territoire métropolitain depuis son introduction, avec une accélération après la première guerre mondiale :



La précision de ces cartes est à relativiser selon l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes (uniquement deux niveaux de couleurs). Elles attestent essentiellement de la diffusion mais peu de l'intensité de la présence de l'ambroisie.



La carte la plus récente (ci-contre) concernant la répartition de l'ambroisie à feuilles d'armoise à l'échelle de la France métropolitaine compile des données des conservatoires nationaux botaniques et de la plateforme « signalement ambroisie ».

La dernière campagne a permis d'enregistrer 12 000 signalements. Une évolution du dispositif vers des signalements surfaciques est en développement.

Ces cartes cumulent les observations d'une année sur l'autre. Les éventuelles éradications ne sont donc pas retranscrites. Cependant, ce cumul ne semble pas poser de risques (i.e. identification de sites contaminés sans présence réelle) en raison de la durée de vie importante des semences présentes dans le sol, qui peuvent rester viables pendant plusieurs années – voire dizaines d'années.

Selon les observations du terrain, il apparaît que l'infestation continue son développement, notamment dans les environnements agricoles. Les cultures de printemps sont les plus concernées car elles correspondent au cycle de l'ambroisie, notamment tournesol et soja.

Alors même que les instituts techniques ont développé une large recherche sur les enjeux agronomiques associés à l'ambroisie, il apparaît que les méthodes de lutte ne sont pas encore assez diffusées et peu adoptées par le monde agricole.

La disparition de terres agricoles au profit de construction (bâti, infrastructure routière) peut jouer un rôle dans l'éradication de l'ambroisie. Ce point reste toutefois à nuancer puisque les terres de remblais associées à ces chantiers peuvent être contaminées. Par ailleurs, la graine d'ambroisie a une capacité de germination très importante.

b. Une action publique de plus de 20 ans en Rhône-Alpes et en France

Années 1980 : premières publications sur les effets sanitaires publiées par l'association française d'étude des ambrosies (AFEDA).

1999-2000 : première étude (« point zéro ») relative à la connaissance de la pollinose à l'ambroisie et notamment au chiffrage de sa prévalence sur des zones identifiées comme très infestées. Environ 8,5% de la population est suspectée d'être allergique à l'ambroisie dans la zone d'étude (étude du Centre Rhône-Alpes d'Epidémiologie et de Prévention Sanitaire – CAREPS).

Décembre 2001 : le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France publie ses recommandations concernant « l'évaluation et la gestion du risque lié à la pollution pollinique : le cas de l'ambroisie ». Il est fait le constat que les premières années de lutte contre cette plante n'avaient pas permis d'arrêter sa prolifération. Il est mis en avant la nécessité d'une politique de prévention sous l'autorité des préfets et d'un plan intégré avec des responsabilités désignées, des objectifs clairement fixés et d'une évaluation afin d'aboutir à un travail coordonné associant les acteurs concernés.

2006-2010 : le Plan Régional Santé-Environnement (PRSE) Rhône-Alpes comportait une fiche-action sur l'ambroisie. L'action a été étendue à l'ensemble du territoire métropolitain dans le second et troisième Plan National Santé-Environnement, ce qui a permis de renforcer significativement les actions de l'ARS.

En 2008, un colloque européen (« Ambroisie 2008 : de la connaissance à l'action ») alertait dans ses conclusions sur l'ampleur du problème de santé publique posé par l'ambroisie dans plusieurs régions d'Europe (plaine du Pô en Italie, Hongrie, Croatie, région Rhône-Alpes en

France) et proposait de mener des actions conjointes. A ce jour, peu d'actions conjointes se sont concrétisées.

Au niveau national, un dispositif réglementaire a été récemment développé depuis la loi de santé de janvier 2016 et l'arrêté et décret d'avril 2017. Trois ambrosies sont considérées comme espèces dangereuses pour la santé humaine (ambroisie à feuilles d'armoise, ambroisie trifide et ambroisie à épis lisses).

L'action de l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes et de ses partenaires : RNSA , ATMO, ORS, FREDON, CPIE, CNFPT, Région Auvergne-Rhône-Alpes, Collectivités territoriales, etc...

❖ **Développer la connaissance et la prise en compte du risque sanitaire :**

- Maintenir la surveillance des pollens (financement de capteurs de pollens, Plateforme signalement, modélisation exposition aux pollens)
- Améliorer la connaissance du risque sanitaire et maintenir le dispositif d'information des personnes sensibles (étude Prévalence, médico-économique, bulletins polliniques, sites internet)

❖ **Développer les actions visant à freiner la progression de la plante et ses impacts :**

- Participation à la définition de la politique nationale (Observatoire des Ambrosies, cartographie, formation, plateforme)
- Mettre en œuvre la réglementation en Auvergne-Rhône-Alpes (comités et plans de lutte départementaux, mobilisation services de l'Etat, arrêtés préfectoraux)
- Soutenir et faire connaître les actions mises en œuvre sur le territoire
- Sensibiliser le grand public à la reconnaissance de la plante et à la lutte
- Développer, animer, et accompagner le réseau de référents territoriaux (2800 communes ont un référent ambroisie , total de près de 5000 référents)
- Poursuivre la recherche d'appuis sectoriels (Agriculture, Grands linéaires, Milieux aquatiques et espaces naturels)

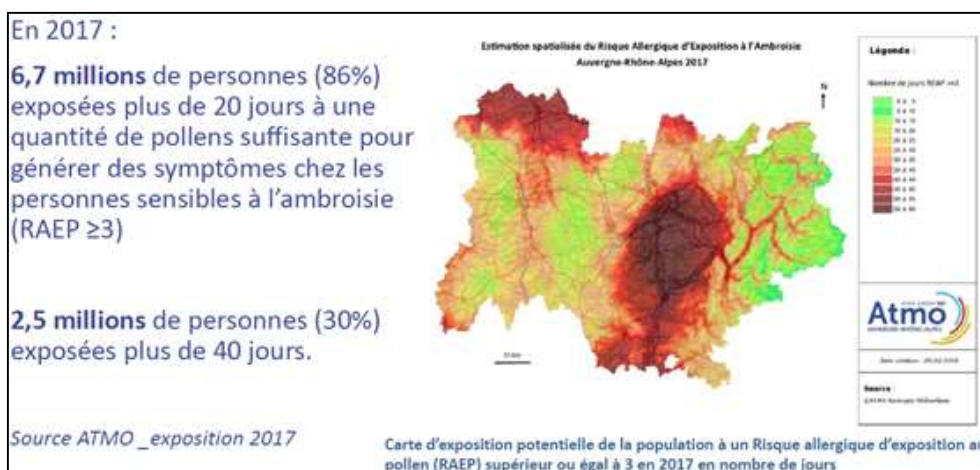
266 k€ dédiés à l'ambroisie par l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes pour 2018

La démarche de l'ARS repose sur l'action multi-partenaire et une lutte dans les territoires

Il est à noter que l'ARS va refonder ses actions en lien avec la mise en œuvre de la réglementation au regard des évolutions récentes, notamment autour de la police des préfets et maires. Cela va permettre de redynamiser l'ensemble de la lutte.

Toutes les régions ne sont pas aussi motrices sur la question de l'ambroisie malgré la présence d'une politique nationale. Dans ce cadre, il est rappelé que l'ensemble des régions et départements doivent mettre en place un plan de lutte. L'évaluation des actions de lutte actuelles est complexe. Il existe peu de retour sur leur efficacité réelle. Les signalements ambroisie ne sont pas encore en mesure d'estimer l'efficacité d'un dispositif de gestion en termes d'exposition des populations aux pollens d'ambroisie. L'absence d'indicateurs pertinents est une difficulté dans les échanges entre administration et acteurs locaux.

Un partenariat avec le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA, pour la mesure des pollens dans l'air et leur suivi) et avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (pour la modélisation de la dispersion des pollens sur le territoire) permet de suivre l'exposition des populations à l'échelle régionale sur la base du Risque Allergique d'Exposition au Pollen (RAEP) :



2. Développement d'études à l'échelle régionale

Face à cette problématique, l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes a développé deux types d'étude :

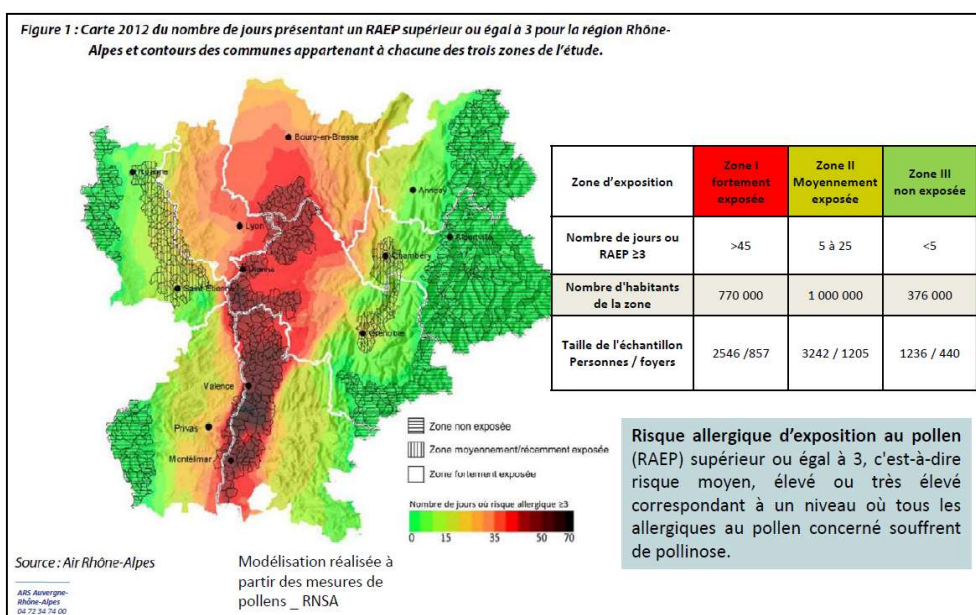
<p>Etude de Prévalence de la pollinose liée à l'Ambroisie</p> <p>ESTIMATION PREVALENCE</p>	<p>▶ Etude statistique basée sur un sondage de populations réparties sur des zones d'expositions typées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimer le % de population touchée par la pollinose à l'ambroisie
<p>Impact médico-économique de l'allergie à l'ambroisie</p> <p>CONSOMMATION DE SOINS</p>	<p>▶ Etude statistique basée sur l'exploitation des registres de consommation de soins sur tous les territoires, quelle que soit l'exposition des populations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimer le coût sanitaire de la pollinose à l'ambroisie en Nombre de personnes concernées et en coût des soins consommés

Dans le cas de l'étude économique, l'objectif est de développer un indicateur simple permettant la mobilisation des acteurs concernés.

a. Études de prévalence

Une première série d'études a porté sur l'estimation de la prévalence et la place de l'allergie à l'ambroisie parmi les pollinoses dans certains secteurs en Rhône-Alpes. Elles ont été conduites par le CAREPS (publiées en **2004**). Les terrains d'étude étaient positionnés sur différentes zones : nouvellement exposées, moyennement exposées, et très exposées – définies sur la base des comptes de pollens dans l'air ambiant. Au total, 2 406 foyers ont été interrogés (questionnaire téléphonique), correspondant à 6 509 participants. **Environ 11% de la population serait « allergique à l'ambroisie » sur la zone très exposée et environ 7% dans la zone nouvellement exposée.**

En **2013**, l'ARS a voulu faire un point afin d'estimer l'évolution de cette prévalence depuis 2004. Dans un objectif de comparaison des résultats, la méthodologie est restée relativement stable par rapport à 2004. La différence principale porte sur l'indicateur mobilisé pour définir les zones d'exposition : compte de pollens (2004) et RAEP (2013) (carte ci-dessous). Le questionnaire de 2004 a évolué pour intégrer des questions sur la connaissance de la plante et les pratiques d'éradication. La personne interrogée répondait pour elle et les autres membres du foyer. Le sondage a été réalisé à proximité de la saison des pollens d'ambroisie mais sans faire de focus immédiat sur l'ambroisie pour ne pas orienter les réponses des participants.



Au total, 2 502 foyers ont été interrogés, soit 7 024 participants. Il a été estimé que **21% de la population était « allergiques à l'ambroisie » sur la zone fortement exposée et 9% dans les autres types de zones identifiées.**

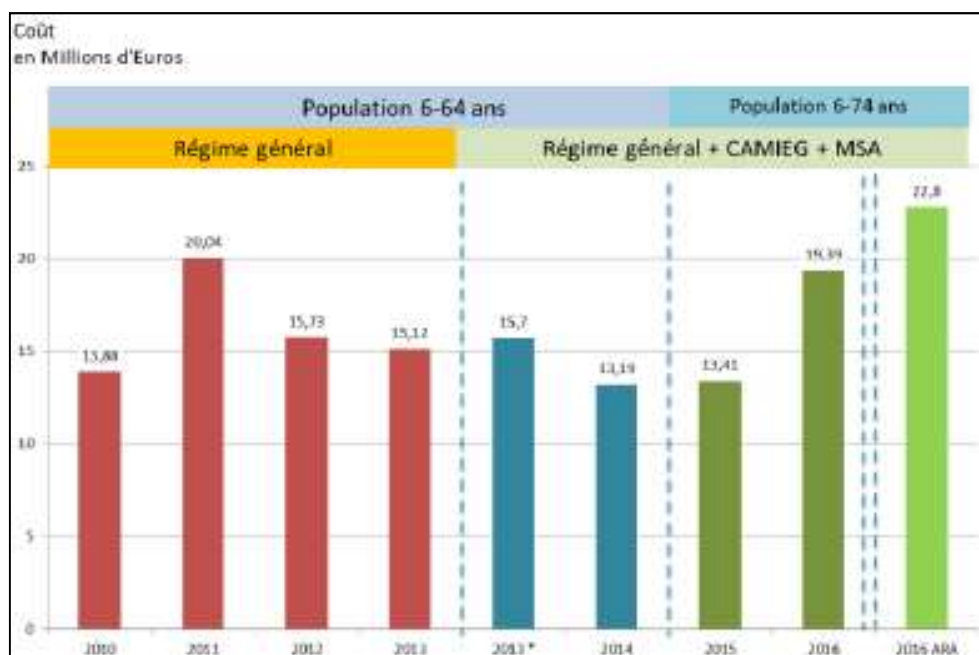
Le coût de l'étude étant important et, sachant que ce n'est pas la vocation de l'ARS de mener ce type de travaux, il n'est pas possible de la reproduire de façon systématique chaque année. Il serait néanmoins intéressant de mettre en place des études de suivi, de façon à pouvoir analyser une éventuelle évolution des résultats au cours du temps

b. Études médico-économiques

En 2009, l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes propose une nouvelle méthodologie afin d'estimer le nombre de personnes atteintes de pollinose, à savoir ayant consommé des soins spécifiques, et le coût financier associé à partir des données de la sécurité sociale de 2008⁵¹. Le coût de la prise en charge a été estimé entre 5,6 et 8,5 millions d'euros pour 113 000 à 161 000 personnes concernées. Plusieurs éditions ont suivi cette première étude médico-économique.

Au fil des années, la population d'étude ainsi que les données de remboursement mobilisées ont varié. Concernant la population d'étude, au-delà d'une évolution des critères d'âges permettant l'inclusion, sont principalement distingués deux types de population :

- La population « fortement présumés allergiques » à l'ambroisie, car ayant eu une consommation de soins pendant les périodes de pollinisation de l'ambroisie et pas durant la période suivante – de novembre à décembre.
- Une population plus large incluant les patients « fortement présumés allergiques » auxquels on rajoute des patients « potentiellement allergiques » à l'ambroisie, mais dont l'allergie à l'ambroisie n'est pas prouvée car ils ont également consommé des antiallergiques hors de la période ambroisie, de novembre à décembre.

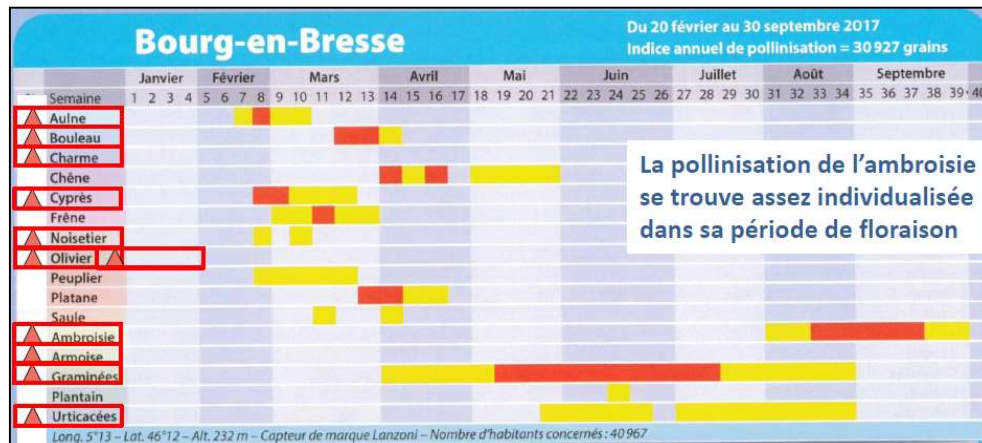


⁵¹ À cette fin une liste de médicaments traceurs a été établie. Une première liste de médicaments antiallergiques, définie a priori par un groupe d'experts, a ensuite été enrichie avec les médicaments antiallergiques présentant un pic de délivrance sur la période de pollinisation de l'ambroisie (juillet à septembre). Cette méthodologie est issue d'une revue bibliographique menée par l'ARS mettant en avant l'intérêt de l'utilisation de traitements médicamenteux pour l'analyse de l'allergie. Toutefois, aucune analyse de sensibilité n'a été réalisée.

Il est noté que ces définitions, non standardisées, peuvent conduire à inclure des individus non-allergiques. Inversement des individus peuvent être affectés par l'ambroisie sans qu'un traitement ne soit remboursé. Une estimation de l'automédication⁵² réalisée auprès des pharmaciens aboutit à une estimation d'environ 10% des actes d'achat. Les médicaments délivrés dans ce cadre ne sont généralement pas les plus efficaces.

Avant 2017, les données exploitées étaient contenues dans la base Erasme de l'Assurance maladie. À partir de 2017, les données de la base DCIRS de l'Assurance maladie (Datamart Consommation inter-régime simplifiée), qui inclut plus de régime d'assurance, a été mobilisée.

Par ailleurs, la période considérée a évolué au cours des années. Les premières études considérant la période entre la 33^{ème} et la 42^{ème} semaine. La période s'étend désormais de la 28^{ème} à la 42^{ème} semaine (voir figure ci-dessous).



Cette approche pourrait nécessiter des analyses de sensibilité :

- Faire varier la période (à la baisse) en fonction de la zone (nord/sud) ;
- Étudier les associations entre le risque allergique (RAEP) et les cas identifiés par la base de données en agrégeant les données sur une ou deux semaines, par exemple ;
- Analyser les corrélations spatiales plutôt que sur la seule visualisation de la cohérence des cartes.

Ces analyses de sensibilité permettraient de consolider les résultats.

Il est à noter que de nombreux médicaments « traceurs » ont été déremboursés au cours des différentes études. Cela a pour conséquence l'ajustement de la liste des médicaments « traceurs » selon les années. Il est raisonnable de penser que des individus ne sont plus repérés par la méthode de sélection de la population du fait du tarissement de l'offre de soins.

Une fois les cas identifiés, il est possible de rattacher l'ensemble des prises en charge auprès de la sécurité sociale :

- Coûts des médicaments antiallergiques remboursés par l'Assurance maladie (AM),
- Coûts des tests biologiques d'identification d'Immunoglobulines E (IgE) spécifiques,
- Coûts des produits de désensibilisation (sur l'ensemble de l'année)⁵³,
- Coûts des médicaments de traitement de la crise d'asthme,
- Coûts des tests allergologiques cutanés,

⁵² Il est entendu ici par automédication, un achat de médicament en pharmacie sans ordonnance d'un médecin.

⁵³ Pas d'information connue dans la littérature sur le fait qu'une désensibilisation orale est privilégiée pour l'ambroisie.

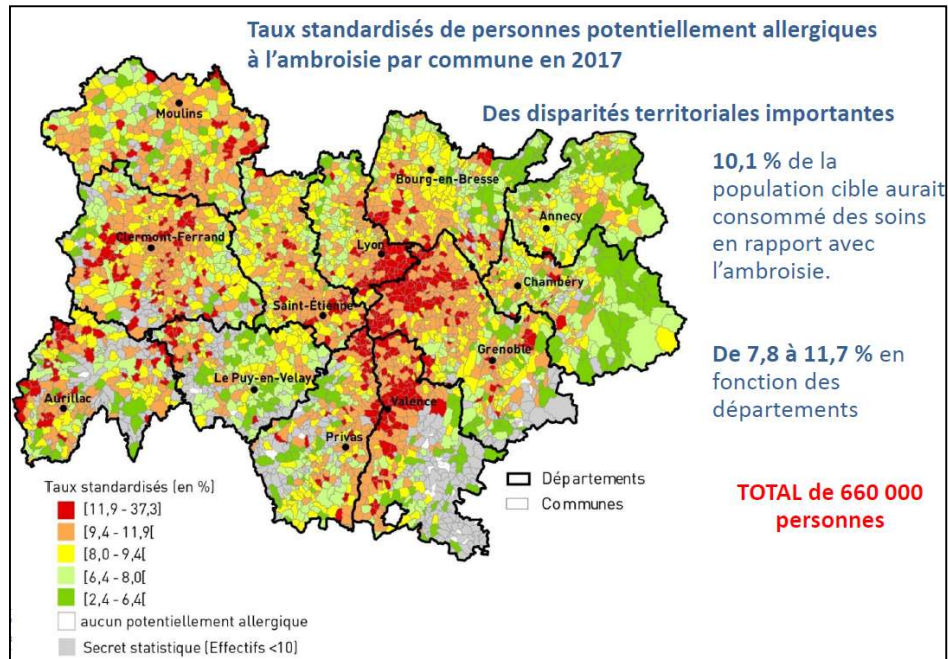
- Coûts des actes de consultations,
- Versement d'indemnités journalières du fait d'arrêt de travail.

Le reste à charge des individus est pris en compte dans le coût total présenté dans les rapports ARS-ORS.

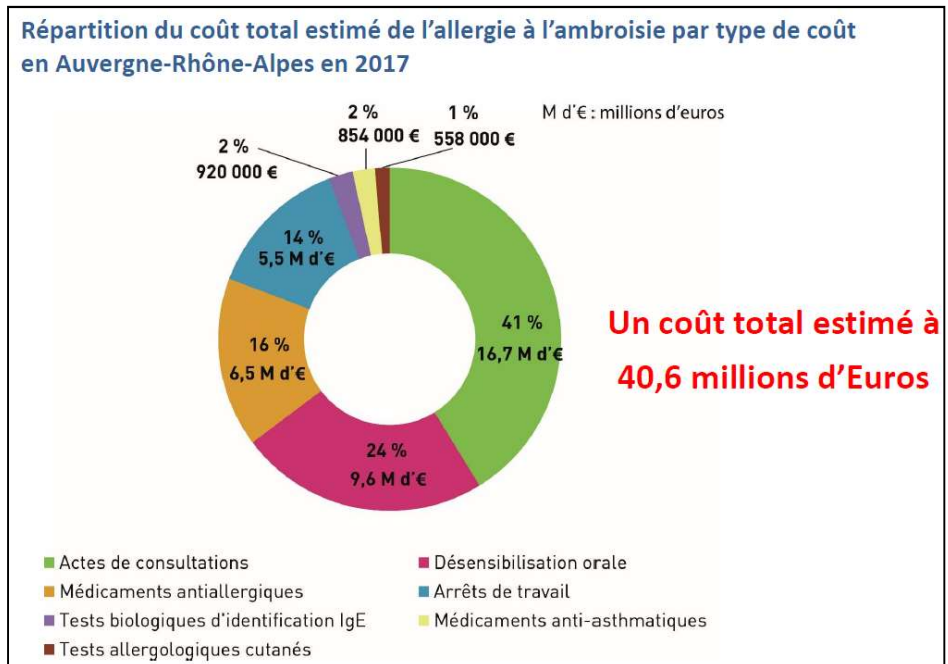
c. Focus sur l'étude médico-économique réalisée à partir de données de 2017

La différence majeure avec les études précédentes repose sur la base de données exploitée. Désormais, l'étude exploite la base DCIRS (Datamart Consommation inter-régime simplifié) sous le SNDS (Système National des Données de Santé). Tous les régimes de l'assurance maladie sont inclus : régime général, régime agricole, régime social des indépendants, régimes spéciaux.

La répartition géographique des cas de pollinose identifiés par cette approche médico-économique est cohérente par rapport à celle des comptages polliniques :



Des disparités régionales sur la répartition des coûts sont observés :



Plusieurs limites à l'approche médico-économique sont mises en avant par les représentants de l'ARS et ORS :

- Analyse des bases de données de l'Assurance maladie et non étude individuelle : les personnes sélectionnées sont allergiques, mais pas de manière certaine à l'ambroisie (surestimation possible).
- Les consommations de soins ou les arrêts de travail prescrits ne sont pas de manière certaine liés à l'ambroisie (surestimation possible).
- Des personnes allergiques à l'ambroisie ont pu avoir eu une prescription plus tôt dans l'année (sous-estimation possible).
- Automédication non prise en compte (sous-estimation possible).
- La période de pollinisation de l'ambroisie retenue, du 9 juillet au 21 octobre 2017, est en réalité variable d'un département à l'autre.
- Enfin, l'évolution dans les modalités de requêtage due à l'exploitation de la base DCIRS sous le SNDS ne permet pas de comparer les coûts 2017 aux années antérieures .
- En effet, difficile cette année de faire la part des choses entre l'évolution réelle et celle liée aux changements de méthodes. Toutefois, à méthode constante, l'impact sanitaire de 2017 serait supérieur à 2016.

3. Valorisation des travaux

Il est indiqué que la réalisation de ce type d'étude (exploitation du SNDS) coûte environ 15 000€, coût largement inférieur à celui d'une étude de prévalence en population (telle que celles réalisées en 2004 et 2014). De plus, s'il ne semble pas pertinent de produire une étude médico-économique chaque année, il est cependant possible d'actualiser les résultats en requêtant la base DCIRS sous le SNDS après une simple mise à jour de la liste des médicaments « traceurs ».

Les travaux peuvent être valorisés localement afin de sensibiliser ces acteurs :

- Comités régionaux,
- Comités départementaux,
- Réunions publiques sur invitation de certaines collectivités,
- Réunions des référents à l'échelle intercommunale.

Annexe 9 Questionnaire de la consultation européenne menée par Bullock et al. (2013)

	Main question	Subsidiary questions
Human health impacts	1) Have human allergic reactions to ragweed been reported?	a) What types of reaction are reported (e.g. hay-fever, asthma, contact dermatitis) b) What is the incidence of allergic reactions (e.g. number of reports, % of population affected) c) Are there any hospitalisations due to the allergic events? d) Have the reactions affected people's ability to attend work and how many work days are lost?
	2) Has the incidence of allergic reactions increased over the last 10 years?	a) What types of reaction are reported? b) What are the changes in incidence?
	3) Are the allergic reactions reported to be worse, less, or no different from those to other plant allergens (e.g. grass or <i>Brassica napus</i> pollen)?	a) What types of reaction are reported? b) What are the differences in reactions, including the plant species against which ragweed was compared?
	4) Over what distances from ragweed infestations are allergic reactions to its pollen manifest?	a) What types of reaction are reported? b) At what distances are allergic reactions manifest?
	5) What concentrations of ragweed pollen cause allergic symptoms: i.e. what is the minimum concentration for which responses are reported?	a) What types of reaction are reported? b) At what minimum concentration are responses reported? c) How does the response change with pollen concentration?
	6) Are certain sectors of the human population more affected by ragweed and its pollen?	a) What are the determinants of sensitivity? b) What groups are more affected and what is the size of the effect on these groups relative to others? c) What percentage of the total population are these groups?
	7) Has sensitisation to ragweed and its pollen led to sensitivity to other allergens?	a) What types of reaction are reported? b) To which other allergens has ragweed increased sensitivity?
	8) What medication is used to relieve	a) What types of reaction are considered?

	Main question	Subsidiary questions
Animal health impacts	allergic responses?	b) Which other allergies is this used for?
	1) Have allergic reactions of animals to ragweed been reported?	a) Which animal species are affected (pets, livestock, etc)? b) What types of reaction are reported? c) What is the incidence of allergic reactions?
	2) Has the incidence of allergic reactions increased over the last 10 years?	a) What types of reaction are reported? b) What are the changes in incidence?
	3) Are the allergic reactions reported to be worse, less, or no different from those to other plant allergens (e.g. grass or <i>Brassica napus</i> pollen)?	a) What types of reaction are reported on which animals? b) What are the differences in reactions, including the plant species against which ragweed was compared?
	4) Over what distances from ragweed infestations are allergic reactions to its pollen manifest?	a) What types of reaction are reported on which animals? b) At what distances are allergic reactions manifest?
Biodiversity impacts	5) What concentrations of ragweed pollen cause allergic symptoms?	a) What types of reaction are reported on which animals b) At what minimum concentration are responses reported? c) How does the response change with pollen concentration?
	1) Which ecosystems are most invaded by ragweed, and does this vary geographically?	a) Which ecosystems have been studied? b) For each ecosystem what is the degree of invasion? c) What impacts are reported on the biodiversity of each ecosystem (e.g. decline of native species)? d) Do time since invasion or ragweed density change impacts?
	2) Are protected sites invaded by ragweed – e.g. Natura 2000 sites?	a) For each site what is the degree of invasion? b) What impacts are reported on the biodiversity of each site?
	3) Are species of conservation concern affected by ragweed?	a) Which protected species have been studied? b) What impacts on this species are ascribed to ragweed?
	4) How serious are the effects of ragweed in the context on national conservation goals and strategies?	a) Which national conservation goals or strategies are considered? b) What is the impact of ragweed on achieving the conservation goal?

	Main question	Subsidiary questions
Impacts on the wider environment	1) What are the impacts of ragweed on the functioning and services of invaded ecosystems?	a) Which ecosystem functions or services which are reported to be affected by ragweed for each ecosystem type? b) What data exist describing these impacts?
	2) What effects do ragweed control measures have on ecosystem functions and services?	a) Which ecosystems have been studied? b) Which ragweed control or eradication measures were used? c) Which ecosystem functions or services were affected by the control or eradication measures and to what degree?
Impacts on arable agriculture and horticulture	1) Where is ragweed an agricultural weed?	a) Is ragweed a serious, moderate or minor agricultural weed in the regions considered? b) What area of cropped land in each region is affected?
	2) Which crops are affected by ragweed?	a) What area of each crop is affected by ragweed in each region considered? b) What are the yield losses to ragweed of each crop is affected by ragweed in each region considered?
	3) Are certain agricultural systems more likely to suffer ragweed problems: e.g. organic farms; or farms with agri-environment management	a) What is the evidence for differential susceptibility of ragweed invasion?

Annexe 10 Modélisation de l'exposition au pollen d'ambroisie en France métropolitaine

Les Tableau 29 et Tableau 30 rassemblent les estimations centrales, hautes et basses de l'exposition des populations au pollen d'ambroisie, par départements et régions métropolitains, selon les modélisations du système SILAM. Deux indicateurs d'exposition ont été dérivés : le nombre total annuel de grains de pollen d'ambroisie par m³ et le nombre de jours annuel avec ≥6 grains de pollens d'ambroisie par m³. Ces estimations ont été obtenues à partir des estimations dérivées à l'échelle des établissements public de coopération intercommunale composant les départements et régions (*via* une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants). Les données présentées sont annuelles moyennes pour la période 2005-2011. Les données ont été calibrées. Le détail des méthodes est visible au paragraphe 6.2.

Tableau 29. Exposition moyenne estimée de la population au pollen d'ambroisie dans les départements métropolitains selon les modélisations du système SILAM

		Estimation de l'exposition moyenne de la population métropolitaine au pollen d'ambroisie selon SILAM, pour la période 2005-2011	
		Estimation centrale [basse - haute]	
	Département	Exprimée en nombre de grains/m ³ par an	Exprimée en N jours avec ≥6 grains/m ³
1	Ain	693,31 [642 - 747,27]	22,27 [21,15 - 23,55]
2	Aisne	21,17 [20,39 - 21,92]	0,24 [0,24 - 0,29]
3	Allier	163,84 [155,13 - 173,54]	7,53 [6,87 - 8,03]
4	Alpes-de-Haute-Provence	227,19 [215,76 - 237,07]	9,41 [8,65 - 9,44]
5	Hautes-Alpes	148,26 [141,66 - 154,88]	6,65 [6,11 - 7,25]
6	Alpes-Maritimes	149,28 [147,71 - 150,97]	5,47 [5,47 - 5,64]
7	Ardèche	1 173,94 [921,23 - 1 481,36]	28,41 [24,77 - 32]
8	Ardennes	18,24 [17,78 - 18,75]	0
9	Ariège	37,8 [34,65 - 40,8]	0
10	Aube	117,52 [109,46 - 125,97]	4,67 [4,6 - 4,88]
11	Aude	39,46 [37,83 - 41,26]	0
12	Aveyron	32,19 [31,56 - 32,87]	0
13	Bouches-du-Rhône	239,17 [222,78 - 256,35]	10,26 [9,21 - 11,33]
14	Calvados	4,59 [4,48 - 4,69]	0
15	Cantal	31,63 [30,83 - 32,51]	0,24 [0,24 - 0,28]
16	Charente	92,16 [87,43 - 97,24]	2,55 [1,72 - 2,59]
17	Charente-Maritime	28,44 [27,31 - 29,59]	0,13 [0,13 - 0,18]
18	Cher	391,52 [357,56 - 426,63]	15,00 [13,75 - 16,59]

		Estimation de l'exposition moyenne de la population métropolitaine au pollen d'ambroisie selon SILAM, pour la période 2005-2011 Estimation centrale [basse - haute]	
	Département	Exprimée en nombre de grains/m³ par an	Exprimée en N jours avec ≥6 grains/m³
19	Corrèze	28,6 [27,97 - 29,21]	0
21	Côte-d'Or	198,83 [179,1 - 215,13]	9,78 [8,65 - 11,06]
22	Côtes-d'Armor	3,23 [3,15 - 3,32]	0
23	Creuse	61,26 [59,79 - 62,86]	2,09 [1,95 - 2,2]
24	Dordogne	32,91 [31,96 - 33,9]	0
25	Doubs	86,17 [84,6 - 87,75]	2,72 [2,67 - 2,88]
26	Drôme	2 670,31 [2 443,1 - 2 906,13]	45,38 [44,07 - 47,26]
27	Eure	10,5 [10,27 - 10,74]	0
28	Eure-et-Loir	22,53 [21,6 - 23,47]	0,09 [0,09 - 0,14]
29	Finistère	3,76 [3,66 - 3,85]	0
30	Gard	243,5 [223,02 - 266,06]	9,95 [8,85 - 11,08]
31	Haute-Garonne	66,34 [65,59 - 67,09]	0
32	Gers	35,97 [33,6 - 38,5]	0
33	Gironde	21,65 [21,12 - 22,2]	0
34	Hérault	68,43 [65,55 - 71,37]	1,4 [0,95 - 1,45]
35	Ille-et-Vilaine	5,76 [5,62 - 5,9]	0
36	Indre	107,25 [100,51 - 114,88]	3,9 [3,81 - 4,05]
37	Indre-et-Loire	35 [32,75 - 37,33]	0,23 [0,23 - 0,23]
38	Isère	1 222,34 [1 121,96 - 1 330,61]	27,6 [26,43 - 29,06]
39	Jura	177 [168,48 - 185,97]	8,12 [7,55 - 8,51]
40	Landes	16,67 [16,31 - 17,08]	0
41	Loir-et-Cher	58,3 [55,03 - 61,68]	1,93 [1,61 - 2,4]
42	Loire	331,53 [279,43 - 404,35]	11,79 [10,04 - 14,08]
43	Haute-Loire	111,06 [105,56 - 117,02]	3,9 [3,64 - 4,15]
44	Loire-Atlantique	12,58 [12,35 - 12,81]	0
45	Loiret	134,53 [123,8 - 145,9]	4,48 [4,22 - 4,87]

		Estimation de l'exposition moyenne de la population métropolitaine au pollen d'ambroisie selon SILAM, pour la période 2005-2011 Estimation centrale [basse - haute]	
	Département	Exprimée en nombre de grains/m³ par an	Exprimée en N jours avec ≥6 grains/m³
46	Lot	32,3 [31,34 - 33,26]	0
47	Lot-et-Garonne	45,53 [43,51 - 47,61]	0
48	Lozère	49,07 [46,54 - 51,57]	0,99 [0,85 - 1,2]
49	Maine-et-Loire	13,56 [13,1 - 13,99]	0
50	Manche	3,25 [3,16 - 3,35]	0
51	Marne	36,8 [35,88 - 37,79]	0,25 [0,21 - 0,37]
52	Haute-Marne	73,67 [71,88 - 75,53]	2,73 [2,32 - 2,79]
53	Mayenne	6,52 [6,4 - 6,64]	0
54	Meurthe-et-Moselle	38,43 [37,8 - 39,07]	0,15 [0,15 - 0,68]
55	Meuse	41,09 [40,15 - 42,08]	0,63 [0,63 - 0,83]
56	Morbihan	6,42 [6,23 - 6,61]	0
57	Moselle	36,92 [35,89 - 38,02]	0,03 [0,03 - 0,27]
58	Nièvre	433,36 [396,66 - 471,68]	18,55 [17,01 - 20,09]
59	Nord	9,11 [8,91 - 9,33]	0
60	Oise	17,96 [17,29 - 18,59]	0,03 [0,03 - 0,13]
61	Orne	7,43 [7,2 - 7,66]	0
62	Pas-de-Calais	8,07 [7,93 - 8,2]	0
63	Puy-de-Dôme	173,07 [143,78 - 210,73]	7,02 [5,62 - 8,93]
64	Pyrénées-Atlantiques	17,2 [17 - 17,4]	0
65	Hautes-Pyrénées	16,26 [16,09 - 16,43]	0
66	Pyrénées-Orientales	29,05 [28,77 - 29,33]	0
67	Bas-Rhin	44,55 [43,84 - 45,23]	0
68	Haut-Rhin	67,62 [65,27 - 69,98]	0,53 [0,53 - 0,6]
69	Rhône	1 770,42 [1 643,25 - 1 907,76]	38,14 [36,92 - 39,38]
70	Haute-Saône	82,76 [80,25 - 85,38]	2,33 [2,14 - 2,36]
71	Saône-et-Loire	272,94 [259,45 - 286,7]	11,58 [11,06 - 12,47]

		Estimation de l'exposition moyenne de la population métropolitaine au pollen d'ambroisie selon SILAM, pour la période 2005-2011 Estimation centrale [basse - haute]	
	Département	Exprimée en nombre de grains/m³ par an	Exprimée en N jours avec ≥6 grains/m³
72	Sarthe	11,87 [11,32 - 12,43]	0
73	Savoie	195,49 [182,36 - 207,97]	9,33 [8,46 - 10,02]
74	Haute-Savoie	115,6 [107,97 - 123,24]	3,96 [3,55 - 4,49]
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne	34,75 [33,74 - 35,78]	1 [1 - 1]
76	Seine-Maritime	8,38 [8,28 - 8,47]	0
77	Seine-et-Marne	53,01 [50,01 - 55,95]	1,51 [1,43 - 1,64]
78	Yvelines	24,18 [22,98 - 25,35]	0,20 [0,20 - 0,35]
79	Deux-Sèvres	30,46 [29,42 - 31,51]	0,69 [0,69 - 0,69]
80	Somme	10,12 [9,95 - 10,28]	0
81	Tarn	48,06 [45,95 - 50,02]	0
82	Tarn-et-Garonne	58,23 [57,17 - 59,33]	0
83	Var	174,13 [170,21 - 178,30]	6,41 [6,28 - 6,45]
84	Vaucluse	709,19 [666,81 - 755,09]	25,34 [23,8 - 26,48]
85	Vendée	19,59 [19,24 - 19,93]	0,02 [0,02 - 0,02]
86	Vienne	45,81 [44,65 - 46,92]	0,94 [0,94 - 0,94]
87	Haute-Vienne	44,84 [44,14 - 45,55]	0,82 [0,82 - 0,91]
88	Vosges	49,55 [48,73 - 50,40]	0,6 [0,27 - 0,83]
89	Yonne	539,79 [470,13 - 613,34]	18,77 [17,16 - 20,64]
90	Territoire-de-Belfort	67,92 [66,73 - 69,11]	1 [1 - 1]
91	Essonne	41,43 [39,75 - 43,17]	1,02 [1,02 - 1,06]
95	Val-D'oise	25,18 [24,11 - 26,32]	0,3 [0,30 - 0,32]
2A	Corse-du-Sud	61,21 [59,92 - 62,41]	1,66 [1,66 - 1,73]
2B	Haute-Corse	73,84 [70,00 - 74,66]	2,38 [2,38 - 2,64]

Tableau 30. Exposition moyenne estimée de la population au pollen d'ambroisie dans les régions métropolitaines selon les modélisations du système SILAM

Région	Estimation de l'exposition moyenne de la population métropolitaine au pollen d'ambroisie selon SILAM, pour la période 2005-2011	
	Estimation centrale [basse - haute]	
	Exprimée en nombre de grains/m ³ par an	Exprimée en N jours avec ≥6 grains/m ³
ILE DE FRANCE	35,02 [33,72 - 36,34]	0,89 [0,88 - 0,93]
CENTRE VAL DE LOIRE	111,04 [102,47 - 120,04]	3,63 [3,36 - 4,01]
BOURGOGNE FRANCHE COMTE	232,62 [213,63 - 251,66]	9,32 [8,61 - 10,15]
NORMANDIE	7,13 [6,99 - 7,26]	0
HAUTS DE FRANCE	11,26 [10,96 - 11,56]	0,03 [0,03 - 0,04]
GRAND EST	48,6 [47,15 - 50,11]	0,54 [0,49 - 0,71]
PAYS DE LA LOIRE	13,43 [13,09 - 13,77]	0
BRETAGNE	4,9 [4,77 - 5,03]	0
NOUVELLE AQUITAINE	32,84 [31,81 - 33,9]	0,38 [0,32 - 0,39]
OCCITANIE	75,03 [71,23 - 79,1]	1,49 [1,27 - 1,64]
AUVERGNE RHONE ALPES	967,2 [882,99 - 1 060,67]	22,28 [21,09 - 23,67]
PROVENCE ALPES COTE D'AZUR	258,68 [245,42 - 272,71]	10,08 [9,41 - 10,71]
CORSE	67,93 [66,88 - 68,94]	2,04 [2,04 - 2,22]

Annexe 11 Estimation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise par départements et régions métropolitaines

La Figure 126 représente les deux relations exposition-risque (S1, S2) exprimant la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en fonction du nombre annuel total de grains de pollen d'ambroisie (en grains/m³). Les données quantitatives exploitées proviennent de la littérature scientifique (Tableau 31). Le détail des méthodes mises en œuvre est disponible dans le paragraphe 6.2.

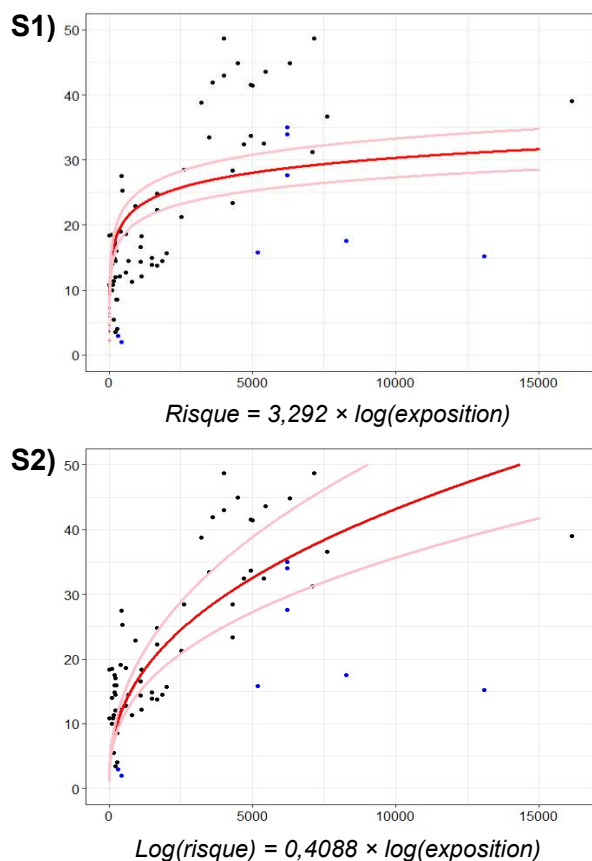


Figure 126. Relations exposition-risque (S1 et S2) dérivées des données de la littérature exprimant la prévalence de la sensibilisation allergique (%) en fonction du nombre total de grains de pollens d'ambroisie mesuré annuellement

En ordonnée, risque : prévalence (%) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie. En abscisse, exposition : nombre total annuel de grains de pollens d'ambroisie par m³. Modélisation centrale (rouge) et intervalle de confiance (rose) de la relation selon un modèle log (en haut) et log-log (en bas). Un point = une donnée de la littérature. En noir : les données issues des populations de patients. En bleu : les données issues de la population générale.

Tableau 31. Données quantitatives extraites de la littérature scientifique pour l'élaboration des relations exposition-risque (S1 et S2) présentant la prévalence (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie en fonction du compte total annuel de pollens d'ambroisie

Description synthétique des publications				Données extraites des publications		
Pays, région, ville...	Population examinée	Méthode de mesure de la sensibilisation allergique	Méthodes de mesure des pollens dans l'air	Description de la donnée extraite	Prévalence (%) de la sensibilisation allergique	Compte total annuel (grains de pollen d'ambroisie /m ³)
Agnew, et al. 2018. "Modifiable Risk Factors for Common Ragweed (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>) Allergy and Disease in Children: A Case-Control Study." <i>Int J Environ Res Public Health</i> 15 (7).						
Croatie, 4 villes	4015 enfants, 2 à 13 ans, recrutés entre 2012 et 2014	SPTs commercially available standard allergen extract, wheal size recorded according to the ISAAC standardized protocol.	Average total annual pollen grains/m ³ , modeling.	Ville 1	2,0	422
				Ville 2	15,8	5189
				Ville 3	17,5	8275
				Ville 4	15,2	13079
Albertini, et al. 2012. "Evolution of ragweed pollen concentrations, sensitization and related allergic clinical symptoms in Parma (northern Italy)." <i>Aerobiologia</i> 28 (3):347-354.						
Parme, Italie	Adultes, consultation externe service d'allergologie, 19 468 patients, années calendaires de 1992 à 2008.	SPT using ALK-Abello SpA diagno allergens, wheal >3 mm considered positive against controls.	Sum of daily counts. Only one site but representativity ok. Standardized methods, 1998-2008. But low pollen levels.	1998-2008 average	12,0	234
				1998	10,0	90
				1999	8,5	243
				2000	17,5	190
				2001	16,0	255
				2002	14,5	210
				2003	27,5	420
				2004	17,0	225
				2005	8,5	270
				2006	4,0	290
2007	5,5	172				
2008	3,5	209				
Bass, et al. 2000. "Late summer and fall (March-May) pollen allergy and respiratory disease in Northern New South Wales, Australia." <i>Ann Allergy Asthma Immunol</i> 85 (5):374-81.						
Australie, 2 villes, Nouvelle Galle du Sud : Casino et Alstonville	206 volunteers recruited for free allergy testing, July 1997, aged 5-77	Extracts by Hollister-Stier Bayer Pty. Ltd. ; Bayer Quintest skin test device used, positive SPT defined by wheal >3 mm.	Sum of weekly pollen counts over the season, 1997. Classic (but old) method with Burkard, 7-day trap. One site in Casino.	Overall 1997	34,0	6211
				Adults 1997	35,0	6211
				Children 1997	27,6	6211

Description synthétique des publications				Données extraites des publications		
Pays, région, ville...	Population examinée	Méthode de mesure de la sensibilisation allergique	Méthodes de mesure des pollens dans l'air	Description de la donnée extraite	Prévalence (%) de la sensibilisation allergique	Compte total annuel (grains de pollen d'ambroisie /m ³)
Gioulekas, et al. 2004. "Allergenic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece." Allergy 59 (2):174-84.						
Thessaloniki, Grèce, bordure de mer Egée	1744 patients, consultation externe de 1990 à 2001, 6 à 68 ans, résidents de la zone, tous symptomatiques.	SPT allergens produced by Allergopharma J. Ganzer KG, wheal diameter >3 mm compared with control test.	Total annual count and annual mean calculated from 10-day moving averages. Méthode Hirst classique, protocole normal.	Overall 1989-2001	11,4	172
Grewling, et al. 2018. "Cross-sensitization to Artemisia and Ambrosia pollen allergens in an area located outside of the current distribution range of Ambrosia." Postepy Dermatol Alergol 35 (1):83-89.						
Pologne, région de Poznan (nord-ouest)	119 patients, 3 à 66 ans, clinique dermato, tous avec une manifestation atopique (dermatite, rhinite, asthme).	IgE totaux et spécifiques dans le sérum, méthode immuno CAP (system 100, Phadia), extraits de pollen d'ambroisie et d'armoise.	Analyses conventionnelles, méthode Hirst, période longue, niveaux faibles.	Overall 2005-2013 (IgE)	18,5	101
				Overall 2005-2013 (SPT)	14,0	101
Hoflich, et al. 2016. "Potential health risk of allergenic pollen with climate change associated spreading capacity: Ragweed and olive sensitization in two German federal states." Int J Hyg Environ Health 219 (3):252-60.						
North Rhine-Westphalia (NRW) and Bavaria in Germany	935 patients with respiratory symptoms, hospitals, 20-65 years, resident for 20+ years, 2011-2013.	SPT according to Ga2LEN guidelines, ambrosia allergen from ALK-Abelló Hamburg Germany, positive if wheal >3 mm.	Sum of daily pollen counts per m ³ /year. Hirst classique, procédures conventionnelles, 2 sites, 2006-2011. Niveaux très faibles.	NRW, 2006-11	18,4	5
				Bavaria, 2006-11	10,8	4
Jäger, S. 2000. "Ragweed (Ambrosia) sensitisation rates correlate with the amount of inhaled airborne pollen. A 14-year study in Vienna, Austria." Aerobiologia 16 (1):149-153.						
Vienna, Austria	7298 patients from allergy hospital department.	SPT with standardized extracts + corresponding RAST and CAP.	Daily mean grains/m ³ and annual total counts pollen grains. Hirst classique, un seul site (université, Vienne), période longue 1976-1997.	Overall	14,5	681
				1984	14,8	181
				1985	19,0	408
				1986	15,9	191
				1987	11,3	801
				1988	10,8	130
				1989	12,7	594
				1990	12,1	388

Description synthétique des publications				Données extraites des publications		
Pays, région, ville...	Population examinée	Méthode de mesure de la sensibilisation allergique	Méthodes de mesure des pollens dans l'air	Description de la donnée extraite	Prévalence (%) de la sensibilisation allergique	Compte total annuel (grains de pollen d'ambroisie /m ³)
				1991	12,1	1144
				1992	14,5	1869
				1993	13,7	1683
				1994	16,6	1088
				1995	14,4	1090
				1996	18,3	1135
				1997	14,9	1490
Peternel, et al. 2013. "Influence of aeroallergens on the incidence of conjunctivitis in Zagreb and Zagreb County." Collegium Antropologicum 37 (SUPPL.1):13-17.						
3 areas in Croatia: Zagreb, Ivanic Grad, and Samobor	2 192 patients from respiratory or pulmonary clinic, 2003-2006	SPTs, allergens available from Institute of Immuno Zagreb.	Data retrieved from Peternel et al. (2006) "Airborne ragweed pollen concentrations in Croatia". Méthode Hirst, 2003-2006.	Rural Ivanic	39,1	16134
				Urban Zagreb	36,6	7605
Peternel, et al. 2008. "Airborne ragweed (<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.) pollen content in the city of Zagreb and implications on pollen allergy." Annals of Agricultural and Environmental Medicine 15 (1):125-130.						
Zagreb, Croatia	750 patients, 18-50 years, 2004, lung disease clinic.	SPT, allergens available from Institute of Immuno Zagreb.	Hirst method. Procédures conventionnelles. Un site, 4 années, 2002-2005.	2004	48,7	4015
				2002-05 average	48,7	7142
Rybníček, et al. 2000. "Ragweed in the Czech Republic." Aerobiologia 16 (2):287-290.						
Brno, Czech Republic	1995-1997, allergy clinic in Brno, patients with suspected pollen allergy, adults and children.	SPT: ALK Epipharm in adults, Stallergenes in children. Wheal ≥ 3 mm considered positive, specific IgE in a subgroup.	Méthode Hirst, procédures conventionnelles, 6 ans mais données anciennes. Pollens vraisemblablement issus du transport longue distance.	1995 adults	24,8	1685
				1996 adults	18,6	572
				1997 adults	25,3	452
				1995 children	22,3	1685
				1995-97 average	22,9	903
Scevkova, et al. 2015. "Influence of airborne pollen counts and length of pollen season of selected allergenic plants on the concentration of sIgE antibodies on the population of Bratislava, Slovakia." Ann Agric Environ Med 22 (3):451-5.						
Bratislava, Slovakia	198 patients, 3-65 years, 76% children, recruited 2002-2003, all with allergic rhinitis, rhino conjunctivitis, or asthma	Specific IgE, Immuno-CAP system (Phadia, Uppsala, Sweden), positive sensitization if value ≥ 0.36 kU/l.	Méthode Hirst, procédures conventionnelles, un seul site, deux années (2002-2003). Données anciennes.	2002	21,3	2536
				2003	13,9	1492
				2002-03 average	15,7	2014

Description synthétique des publications				Données extraites des publications		
Pays, région, ville...	Population examinée	Méthode de mesure de la sensibilisation allergique	Méthodes de mesure des pollens dans l'air	Description de la donnée extraite	Prévalence (%) de la sensibilisation allergique	Compte total annuel (grains de pollen d'ambroisie /m ³)
Taramarcaz, et al. 2015. "Prevalence of ragweed allergy in rural Geneva - a pilot study." Swiss Med Wkly 145:w14198.						
La petite Gave, Geneva, Switzerland	35 adults, recruited in 2009 by mail.	SPT performed (ALK Abello, Wedel, Germany), positive if wheal ≥ 3 mm.	Data retrieved from figure. Hirst monitors very likely, 1999-2014.	2009	2,9	310
Tosi, et al. 2011. "Time lag between Ambrosia sensitisation and Ambrosia allergy: a 20-year study (1989-2008) in Legnano, northern Italy." Swiss Med Wkly 141:w13253.						
Legnano, Italy	1100 patients aged 14+, respiratory symptoms, outpatient clinic, 1989-2008.	SPT (Alyostal, Stallergènes, seldom Soluprick ALK-Abelló), positive if wheal ≥ 3 mm.	Sum of daily counts over the season. Méthode Hirst, procédures conventionnelles, Legnano depuis 1995, Lugano depuis 1991.	1995	28,5	2600
				1996	33,4	3500
				1997	32,5	5400
				1998	28,4	4300
				1999	23,4	4300
				2000	31,2	7100
				2001	33,7	4950
				2002	41,9	3600
				2003	41,4	5000
				2004	44,8	6300
				2005	44,9	4500
				2006	43,6	5450
				2007	41,5	4950
2008	43,0	4000				
1990-2008	32,4	4711				

Abréviations : Ga2LEN : Global Allergy and Asthma European Network ; IgE : immunoglobuline E ; ISAAC : International Study of Asthma and Allergies in Childhood ; RAST : Radioallergosorbent Test ; SPT : Skin Prick Test (test cutané).

Les Tableau 32 et Tableau 33 rassemblent les estimations moyennes, hautes, et basses de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie (en %) dans les départements et régions métropolitains selon les 4 relations exposition-risque. Ces estimations ont été obtenues à partir des estimations dérivées à l'échelle des établissements public de coopération intercommunale composant les départements et régions (via une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants). Le détail des méthodes est disponible dans le paragraphe 6.2.

Tableau 32. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie (en %) dans les départements de France métropolitaine selon les 4 relations exposition-risque issues des données françaises

		Prévalence estimée (en %) de l'allergie à l'ambroisie			
		Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
1	Ain	8,94 [8,59 - 9,29]	8,73 [8,11 - 9,4]	8,06 [7,48 - 8,71]	7,19 [6,22 - 8,37]
2	Aisne	4,27 [4,1 - 4,43]	2,79 [2,69 - 2,88]	0 [0 - 0]	0,24 [0,24 - 0,29]
3	Allier	7,15 [6,89 - 7,43]	5,56 [5,27 - 5,89]	5,24 [4,66 - 5,71]	3,6 [3,15 - 4,05]
4	Alpes-de-Haute-Provence	7,61 [7,34 - 7,88]	6,21 [5,87 - 6,56]	5,89 [5,33 - 6,23]	4,17 [3,65 - 4,54]
5	Hautes-Alpes	6,99 [6,73 - 7,24]	5,36 [5,09 - 5,64]	4,81 [4,33 - 5,4]	3,31 [2,93 - 3,77]
6	Alpes-Maritimes	7,09 [6,88 - 7,3]	5,45 [5,23 - 5,67]	4,59 [4,33 - 4,92]	2,98 [2,81 - 3,24]
7	Ardèche	9,58 [9,03 - 10,1]	10,25 [9,06 - 11,57]	8,77 [7,92 - 9,61]	8,44 [6,87 - 10,34]
8	Ardennes	4,09 [3,95 - 4,24]	2,67 [2,59 - 2,75]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
9	Ariège	5,05 [4,8 - 5,29]	3,37 [3,19 - 3,55]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
10	Aube	6,71 [6,44 - 6,99]	4,99 [4,71 - 5,29]	4,03 [3,78 - 4,38]	2,66 [2,5 - 2,9]
11	Aude	5,18 [4,99 - 5,39]	3,46 [3,32 - 3,61]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
12	Aveyron	4,91 [4,75 - 5,07]	3,23 [3,13 - 3,34]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
13	Bouches-du-Rhône	7,74 [7,44 - 8,05]	6,38 [5,98 - 6,8]	6,29 [5,66 - 6,92]	4,47 [3,85 - 5,2]
14	Calvados	2,14 [2,05 - 2,23]	1,67 [1,64 - 1,7]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
15	Cantal	4,87 [4,7 - 5,04]	3,21 [3,1 - 3,32]	0 [0 - 0]	0,24 [0,24 - 0,28]
16	Charente	6,35 [6,11 - 6,61]	4,59 [4,36 - 4,83]	2,16 [1,33 - 2,36]	1,74 [1,23 - 1,83]
17	Charente-Maritime	4,68 [4,5 - 4,85]	3,07 [2,96 - 3,19]	0 [0 - 0]	0,13 [0,13 - 0,18]
18	Cher	8,32 [7,99 - 8,66]	7,4 [6,89 - 7,95]	7,07 [6,48 - 7,72]	5,6 [4,83 - 6,61]
19	Corrèze	4,74 [4,58 - 4,9]	3,11 [3,01 - 3,21]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
21	Côte-d'Or	7,48 [7,13 - 7,8]	5,99 [5,57 - 6,4]	6,12 [5,45 - 6,79]	4,32 [3,69 - 5,09]
22	Côtes-d'Armor	1,65 [1,57 - 1,73]	1,49 [1,46 - 1,51]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]

		Prévalence estimée (en %) de l'allergie à l'ambroisie Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
23	Creuse	5,82 [5,63 - 6,01]	4,03 [3,88 - 4,18]	1,9 [1,64 - 2,21]	1,6 [1,49 - 1,7]
24	Dordogne	4,93 [4,76 - 5,11]	3,26 [3,15 - 3,37]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
25	Doubs	6,3 [6,1 - 6,5]	4,51 [4,34 - 4,69]	2,27 [2,1 - 2,61]	1,84 [1,76 - 2]
26	Drôme	11 [10,57 - 11,43]	14,1 [12,91 - 15,39]	10,27 [9,62 - 10,97]	11,61 [9,94 - 13,7]
27	Eure	3,31 [3,19 - 3,43]	2,21 [2,16 - 2,27]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
28	Eure-et-Loir	4,37 [4,2 - 4,55]	2,85 [2,75 - 2,96]	0 [0 - 0]	0,09 [0,09 - 0,14]
29	Finistère	1,86 [1,77 - 1,94]	1,56 [1,53 - 1,59]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
30	Gard	7,64 [7,31 - 7,97]	6,28 [5,86 - 6,74]	5,87 [5,19 - 6,53]	4,27 [3,64 - 5,01]
31	Haute-Garonne	5,9 [5,72 - 6,08]	4,12 [3,98 - 4,26]	0	0
32	Gers	4,97 [4,74 - 5,2]	3,31 [3,15 - 3,48]	0	0
33	Gironde	4,34 [4,19 - 4,49]	2,83 [2,74 - 2,92]	0	0
34	Hérault	5,92 [5,71 - 6,14]	4,14 [3,96 - 4,33]	1,04 [0,22 - 1,1]	1,11 [0,86 - 1,19]
35	Ille-et-Vilaine	2,44 [2,33 - 2,54]	1,8 [1,76 - 1,83]	0	0
36	Indre	6,54 [6,28 - 6,81]	4,81 [4,56 - 5,09]	3,49 [3,27 - 3,76]	2,36 [2,22 - 2,54]
37	Indre-et-Loire	5,01 [4,78 - 5,24]	3,32 [3,16 - 3,48]	0	0,23 [0,23 - 0,23]
38	Isère	9,47 [9,1 - 9,85]	10,11 [9,33 - 10,96]	8,68 [8,06 - 9,33]	8,26 [7,12 - 9,67]
39	Jura	7,29 [7,03 - 7,56]	5,74 [5,43 - 6,06]	5,53 [5,01 - 5,96]	3,81 [3,37 - 4,24]
40	Landes	3,98 [3,84 - 4,12]	2,59 [2,52 - 2,67]	0	0
41	Loir-et-Cher	5,61 [5,38 - 5,85]	3,87 [3,69 - 4,07]	1,4 [1,08 - 2,31]	1,33 [1,16 - 1,66]
42	Loire	7,97 [7,56 - 8,43]	6,82 [6,23 - 7,57]	6,47 [5,7 - 7,33]	4,8 [3,98 - 5,93]
43	Haute-Loire	6,53 [6,28 - 6,78]	4,82 [4,58 - 5,08]	2,91 [2,62 - 3,23]	2,26 [2,06 - 2,48]
44	Loire-Atlantique	3,58 [3,46 - 3,7]	2,35 [2,3 - 2,41]	0	0
45	Loiret	6,54 [6,24 - 6,84]	4,92 [4,62 - 5,24]	3,08 [2,74 - 3,52]	2,41 [2,19 - 2,71]
46	Lot	4,9 [4,73 - 5,08]	3,23 [3,12 - 3,35]	0	0
47	Lot-et-Garonne	5,36 [5,15 - 5,57]	3,62 [3,46 - 3,78]	0	0
48	Lozère	5,47 [5,26 - 5,69]	3,71 [3,55 - 3,88]	0,26 [0 - 0,4]	0,93 [0,85 - 1,12]

		Prévalence estimée (en %) de l'allergie à l'ambroisie Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
49	Maine-et-Loire	3,65 [3,5 - 3,8]	2,4 [2,33 - 2,48]	0	0
50	Manche	1,61 [1,53 - 1,69]	1,48 [1,45 - 1,5]	0	0
51	Marne	5,06 [4,89 - 5,23]	3,37 [3,25 - 3,48]	0,18 [0,1 - 0,25]	0,21 [0,19 - 0,32]
52	Haute-Marne	6,07 [5,87 - 6,27]	4,28 [4,11 - 4,45]	2,55 [2,03 - 2,81]	1,88 [1,65 - 1,99]
53	Mayenne	2,65 [2,55 - 2,75]	1,89 [1,85 - 1,92]	0	0
54	Meurthe-et-Moselle	5,16 [5 - 5,32]	3,44 [3,33 - 3,55]	0	0,15 [0,15 - 0,68]
55	Meuse	5,23 [5,06 - 5,41]	3,5 [3,38 - 3,63]	0	0,63 [0,63 - 0,83]
56	Morbihan	2,61 [2,49 - 2,72]	1,87 [1,83 - 1,91]	0	0
57	Moselle	5,09 [4,92 - 5,27]	3,39 [3,27 - 3,51]	0	0,03 [0,03 - 0,27]
58	Nièvre	8,41 [8,06 - 8,76]	7,58 [7,04 - 8,15]	7,66 [7,01 - 8,33]	6,43 [5,49 - 7,55]
59	Nord	3,1 [2,98 - 3,21]	2,1 [2,05 - 2,15]	0	0
60	Oise	4,05 [3,89 - 4,21]	2,64 [2,56 - 2,73]	0	0,03 [0,03 - 0,13]
61	Orne	2,77 [2,66 - 2,89]	1,95 [1,9 - 2]	0	0
62	Pas-de-Calais	2,95 [2,85 - 3,06]	2,03 [1,99 - 2,07]	0	0
63	Puy-de-Dôme	7,19 [6,77 - 7,63]	5,63 [5,13 - 6,23]	4,87 [4,11 - 5,76]	3,41 [2,79 - 4,30]
64	Pyrénées-Atlantiques	4,01 [3,89 - 4,14]	2,61 [2,55 - 2,68]	0	0
65	Hautes-Pyrénées	3,95 [3,83 - 4,07]	2,57 [2,51 - 2,63]	0	0
66	Pyrénées-Orientales	4,76 [4,62 - 4,91]	3,13 [3,04 - 3,21]	0	0
67	Bas-Rhin	5,37 [5,2 - 5,54]	3,61 [3,5 - 3,73]	0	0
68	Haut-Rhin	5,95 [5,74 - 6,17]	4,16 [3,98 - 4,34]	0	0,53 [0,53 - 0,60]
69	Rhône	10,47 [10,08 - 10,87]	12,39 [11,43 - 13,43]	9,75 [9,11 - 10,40]	10,35 [8,89 - 12,08]
70	Haute-Saône	6,2 [5,99 - 6,41]	4,42 [4,24 - 4,62]	1,75 [1,45 - 1,88]	1,65 [1,51 - 1,71]
71	Saône-et-Loire	7,76 [7,49 - 8,03]	6,49 [6,13 - 6,86]	6,21 [5,75 - 6,82]	4,68 [4,16 - 5,40]
72	Sarthe	3,48 [3,32 - 3,64]	2,3 [2,23 - 2,38]	0	0
73	Savoie	7,21 [6,93 - 7,49]	5,74 [5,41 - 6,09]	4,93 [4,42 - 5,36]	3,92 [3,39 - 4,47]
74	Haute-Savoie	6,63 [6,35 - 6,9]	4,92 [4,65 - 5,2]	3,17 [2,65 - 3,76]	2,31 [2,04 - 2,67]

		Prévalence estimée (en %) de l'allergie à l'ambroisie Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne	5,03 [4,85 - 5,2]	3,33 [3,21 - 3,45]	0	1,00 [1,00 - 1,00]
76	Seine-Maritime	2,99 [2,9 - 3,09]	2,05 [2,01 - 2,09]	0	0
77	Seine-et-Marne	5,51 [5,29 - 5,73]	3,77 [3,6 - 3,94]	0,81 [0,70 - 1,00]	1,27 [1,22 - 1,35]
78	Yvelines	4,49 [4,3 - 4,68]	2,93 [2,82 - 3,05]	0	0,2 [0,20 - 0,35]
79	Deux-Sèvres	4,81 [4,63 - 4,99]	3,17 [3,05 - 3,28]	0	0,69 [0,69 - 0,69]
80	Somme	3,26 [3,15 - 3,37]	2,18 [2,14 - 2,23]	0	0
81	Tarn	5,47 [5,26 - 5,68]	3,7 [3,54 - 3,86]	0	0
82	Tarn-et-Garonne	5,75 [5,57 - 5,93]	3,96 [3,82 - 4,1]	0	0
83	Var	7,3 [7,08 - 7,54]	5,74 [5,48 - 6,01]	5,01 [4,68 - 5,31]	3,3 [3,05 - 3,54]
84	Vaucluse	9,23 [8,9 - 9,56]	9,14 [8,54 - 9,78]	8,68 [8,02 - 9,28]	7,96 [6,82 - 9,21]
85	Vendée	4,2 [4,07 - 4,34]	2,74 [2,66 - 2,81]	0	0,02 [0,02 - 0,02]
86	Vienne	5,4 [5,22 - 5,59]	3,65 [3,52 - 3,78]	0	0,94 [0,94 - 0,94]
87	Haute-Vienne	5,38 [5,21 - 5,55]	3,62 [3,51 - 3,75]	0	0,82 [0,82 - 0,91]
88	Vosges	5,52 [5,35 - 5,7]	3,75 [3,62 - 3,88]	0,06 [0,00 - 0,07]	0,58 [0,27 - 0,82]
89	Yonne	8,65 [8,23 - 9,05]	8,09 [7,4 - 8,84]	7,5 [6,83 - 8,21]	6,39 [5,42 - 7,60]
90	Territoire-de-Belfort	5,97 [5,79 - 6,16]	4,17 [4,02 - 4,33]	0	1,00 [1,00 - 1,00]
91	Essonne	5,26 [5,06 - 5,46]	3,52 [3,38 - 3,67]	0,03 [0,03 - 0,13]	1,01 [1,01 - 1,04]
95	Val-D'oise	4,55 [4,37 - 4,74]	2,98 [2,86 - 3,09]	0	0,30 [0,30 - 0,32]
2A	Corse-du-Sud	5,82 [5,64 - 6,01]	4,03 [3,88 - 4,18]	1,23 [1,16 - 1,45]	1,37 [1,34 - 1,44]
2B	Haute-Corse	6,09 [5,91 - 6,27]	4,29 [4,14 - 4,44]	2,22 [2,10 - 2,71]	1,73 [1,68 - 1,93]

Tableau 33. Prévalence estimée de l'allergie à l'ambroisie dans les régions de France métropolitaine selon les 4 relations exposition-risque issues des données françaises

		Prévalence estimée (en %) de l'allergie à l'ambroisie Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]			
REGION		Relation 1	Relation 2	Relation 3	Relation 4
ILE DE FRANCE		4,99 [4,80 - 5,17]	3,31 [3,18 - 3,44]	0,08 [0,07 - 0,11]	0,86 [0,86 - 0,89]
CENTRE VAL DE LOIRE		5,91 [5,66 - 6,17]	4,35 [4,11 - 4,61]	2,14 [1,92 - 2,48]	1,75 [1,57 - 2,02]

	Prévalence estimée (en %) de l'allergie à l'ambroisie			
	Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]			
BOURGOGNE FRANCHE COMTE	7,32 [7,04 - 7,6]	5,93 [5,58 - 6,31]	4,96 [4,50 - 5,46]	3,89 [3,41 - 4,48]
NORMANDIE	2,65 [2,55 - 2,75]	1,91 [1,87 - 1,95]	0	0
HAUTS DE FRANCE	3,31 [3,19 - 3,44]	2,23 [2,17 - 2,29]	0	0,03 [0,03 - 0,04]
GRAND EST	5,38 [5,2 - 5,56]	3,65 [3,52 - 3,79]	0,33 [0,29 - 0,37]	0,39 [0,35 - 0,57]
PAYS DE LA LOIRE	3,61 [3,48 - 3,75]	2,39 [2,32 - 2,45]	0	0
BRETAGNE	2,17 [2,08 - 2,27]	1,69 [1,66 - 1,73]	0	0
NOUVELLE AQUITAINE	4,76 [4,59 - 4,92]	3,16 [3,06 - 3,28]	0,17 [0,11 - 0,19]	0,32 [0,28 - 0,34]
OCCITANIE	5,72 [5,51 - 5,93]	4,04 [3,86 - 4,22]	0,92 [0,67 - 1,01]	0,75 [0,62 - 0,85]
AUVERGNE RHONE ALPES	8,77 [8,40 - 9,14]	8,90 [8,21 - 9,66]	7,25 [6,63 - 7,91]	6,82 [5,84 - 8,03]
PROVENCE ALPES COTE D'AZUR	7,66 [7,39 - 7,93]	6,33 [5,99 - 6,7]	5,88 [5,40 - 6,37]	4,28 [3,78 - 4,85]
CORSE	5,96 [5,78 - 6,15]	4,17 [4,02 - 4,32]	1,76 [1,66 - 2,13]	1,56 [1,52 - 1,70]

REGION	Prévalence estimée (en milliers d'individus) de l'allergie à l'ambroisie			
	Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]			
	Relation 1	Relation 2	Relation 3	Relation 4
ILE DE FRANCE	607 [585 - 630]	403 [388 - 419]	10 [9 - 14]	105 [104 - 109]
CENTRE VAL DE LOIRE	156 [149 - 163]	115 [109 - 122]	57 [51 - 65]	46 [41 - 53]
BOURGOGNE FRANCHE COMTE	212 [204 - 221]	172 [162 - 183]	144 [131 - 158]	113 [99 - 130]
NORMANDIE	89 [86 - 93]	64 [63 - 66]	0	0
HAUTS DE FRANCE	202 [194 - 209]	136 [132 - 139]	0	2 [2 - 3]
GRAND EST	305 [295 - 315]	207 [200 - 215]	19 [16 - 21]	22 [20 - 32]
PAYS DE LA LOIRE	134 [129 - 139]	88 [86 - 91]	0	0
BRETAGNE	73 [70 - 76]	57 [56 - 58]	0	0
NOUVELLE AQUITAINE	286 [276 - 296]	190 [184 - 197]	10 [7 - 11]	19 [17 - 20]
OCCITANIE	333 [321 - 345]	235 [225 - 246]	53 [39 - 59]	43 [36 - 50]
AUVERGNE RHONE ALPES	693 [664 - 723]	704 [649 - 764]	574 [524 - 625]	540 [462 - 635]
PROVENCE ALPES COTE D'AZUR	392 [378 - 406]	324 [307 - 343]	301 [277 - 326]	219 [193 - 248]
CORSE	20 [19 - 20]	14 [13 - 14]	6 [5 - 7]	5 [5 - 6]

Les Tableau 34 et Tableau 35 rassemblent les estimations moyennes, hautes, et basses de la prévalence de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans les départements et régions

métropolitains, selon les 4 relations exposition-risque. Ces estimations ont été obtenues à partir des estimations dérivées à l'échelle des établissements public de coopération intercommunale composant les départements et régions (via une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants). Le détail des méthodes est disponible dans le paragraphe 6.2.

Tableau 34. Prévalence estimée de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans les départements métropolitains selon les relations exposition-risque issues des données de la littérature

	Département	Prévalence estimée (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie	
		Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]	
		Relation S1)	Relation S2)
1	Ain	20,78 [18,51 - 23,09]	13,76 [11,66 - 16,28]
2	Aisne	9,92 [8,83 - 11,02]	3,45 [3,19 - 3,73]
3	Allier	16,63 [14,83 - 18,46]	7,95 [7 - 9,05]
4	Alpes-de-Haute-Provence	17,69 [15,8 - 19,58]	9,08 [7,96 - 10,35]
5	Hautes-Alpes	16,24 [14,51 - 17,99]	7,6 [6,73 - 8,59]
6	Alpes-Maritimes	16,47 [14,83 - 18,13]	7,74 [6,95 - 8,63]
7	Ardèche	22,26 [19,46 - 25,11]	16,76 [13,28 - 21,19]
8	Ardennes	9,52 [8,51 - 10,55]	3,27 [3,05 - 3,51]
9	Ariège	11,73 [10,34 - 13,15]	4,34 [3,9 - 4,83]
10	Aube	15,6 [13,86 - 17,37]	6,97 [6,15 - 7,92]
11	Aude	12,05 [10,75 - 13,39]	4,48 [4,08 - 4,92]
12	Aveyron	11,4 [10,22 - 12,59]	4,13 [3,81 - 4,47]
13	Bouches-du-Rhône	18 [16,02 - 20,02]	9,36 [8,13 - 10,81]
14	Calvados	4,97 [4,41 - 5,54]	1,86 [1,78 - 1,94]
15	Cantal	11,32 [10,13 - 12,53]	4,09 [3,77 - 4,44]
16	Charente	14,77 [13,16 - 16,42]	6,3 [5,62 - 7,08]
17	Charente-Maritime	10,87 [9,69 - 12,07]	3,88 [3,57 - 4,23]
18	Cher	19,35 [17,21 - 21,53]	11,24 [9,61 - 13,17]
19	Corrèze	11,02 [9,87 - 12,18]	3,93 [3,64 - 4,25]
21	Côte-d'Or	17,39 [15,36 - 19,38]	8,68 [7,47 - 10,02]
22	Côtes-d'Armor	3,84 [3,39 - 4,31]	1,61 [1,56 - 1,67]
23	Creuse	13,53 [12,13 - 14,95]	5,37 [4,89 - 5,91]

		Prévalence estimée (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie	
		Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]	
	Département	Relation S1)	Relation S2)
24	Dordogne	11,47 [10,26 - 12,69]	4,16 [3,83 - 4,53]
25	Doubs	14,64 [13,14 - 16,14]	6,17 [5,58 - 6,82]
26	Drôme	25,57 [22,77 - 28,4]	24,48 [20,05 - 29,94]
27	Eure	7,69 [6,87 - 8,53]	2,61 [2,46 - 2,76]
28	Eure-et-Loir	10,16 [9,04 - 11,3]	3,55 [3,27 - 3,85]
29	Finistère	4,32 [3,82 - 4,82]	1,71 [1,65 - 1,78]
30	Gard	17,75 [15,75 - 19,81]	9,22 [7,95 - 10,73]
31	Haute-Garonne	13,72 [12,33 - 15,11]	5,52 [5,04 - 6,06]
32	Gers	11,54 [10,21 - 12,92]	4,25 [3,84 - 4,71]
33	Gironde	10,09 [9,03 - 11,17]	3,51 [3,26 - 3,78]
34	Hérault	13,76 [12,29 - 15,26]	5,57 [5,02 - 6,18]
35	Ille-et-Vilaine	5,66 [5,03 - 6,3]	2,03 [1,94 - 2,13]
36	Indre	15,2 [13,54 - 16,92]	6,67 [5,91 - 7,55]
37	Indre-et-Loire	11,64 [10,3 - 13,02]	4,26 [3,85 - 4,71]
38	Isère	22,02 [19,59 - 24,49]	16,53 [13,8 - 19,84]
39	Jura	16,94 [15,13 - 18,78]	8,24 [7,26 - 9,37]
40	Landes	9,25 [8,27 - 10,24]	3,16 [2,95 - 3,38]
41	Loir-et-Cher	13,05 [11,58 - 14,55]	5,14 [4,62 - 5,74]
42	Loire	18,52 [16,29 - 20,96]	10,2 [8,55 - 12,43]
43	Haute-Loire	15,18 [13,53 - 16,86]	6,7 [5,95 - 7,55]
44	Loire-Atlantique	8,32 [7,44 - 9,20]	2,81 [2,65 - 2,99]
45	Loiret	15,19 [13,44 - 16,99]	6,90 [6,04 - 7,91]
46	Lot	11,39 [10,19 - 12,61]	4,13 [3,79 - 4,49]
47	Lot-et-Garonne	12,46 [11,09 - 13,85]	4,73 [4,29 - 5,22]
48	Lozère	12,72 [11,32 - 14,13]	4,88 [4,41 - 5,39]
49	Maine-et-Loire	8,49 [7,54 - 9,44]	2,88 [2,69 - 3,09]

		Prévalence estimée (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie	
		Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]	
	Département	Relation S1)	Relation S2)
50	Manche	3,75 [3,30 - 4,21]	1,60 [1,55 - 1,66]
51	Marne	11,76 [10,53 - 13]	4,33 [3,98 - 4,72]
52	Haute-Marne	14,11 [12,65 - 15,59]	5,78 [5,24 - 6,39]
53	Mayenne	6,16 [5,50 - 6,83]	2,15 [2,05 - 2,25]
54	Meurthe-et-Moselle	11,99 [10,76 - 13,23]	4,44 [4,09 - 4,82]
55	Meuse	12,16 [10,89 - 13,44]	4,54 [4,17 - 4,96]
56	Morbihan	6,06 [5,37 - 6,75]	2,13 [2,02 - 2,24]
57	Moselle	11,84 [10,6 - 13,10]	4,36 [4,00 - 4,76]
58	Nièvre	19,54 [17,35 - 21,76]	11,57 [9,86 - 13,6]
59	Nord	7,19 [6,42 - 7,98]	2,45 [2,32 - 2,59]
60	Oise	9,42 [8,38 - 10,47]	3,24 [3,00 - 3,49]
61	Orne	6,44 [5,73 - 7,17]	2,24 [2,13 - 2,37]
62	Pas-de-Calais	6,86 [6,14 - 7,60]	2,35 [2,23 - 2,47]
63	Puy-de-Dôme	16,71 [14,58 - 18,97]	8,08 [6,79 - 9,73]
64	Pyrénées-Atlantiques	9,33 [8,38 - 10,28]	3,19 [2,99 - 3,40]
65	Hautes-Pyrénées	9,18 [8,24 - 10,12]	3,13 [2,94 - 3,33]
66	Pyrénées-Orientales	11,07 [9,95 - 12,19]	3,96 [3,68 - 4,26]
67	Bas-Rhin	12,48 [11,2 - 13,76]	4,71 [4,33 - 5,14]
68	Haut-Rhin	13,84 [12,37 - 15,32]	5,59 [5,05 - 6,19]
69	Rhône	24,33 [21,7 - 27,01]	20,91 [17,37 - 25,23]
70	Haute-Saône	14,41 [12,91 - 15,93]	6,03 [5,44 - 6,69]
71	Saône-et-Loire	18,03 [16,13 - 19,96]	9,59 [8,39 - 10,99]
72	Sarthe	8,08 [7,15 - 9,04]	2,74 [2,55 - 2,94]
73	Savoie	16,76 [14,93 - 18,61]	8,29 [7,25 - 9,48]
74	Haute-Savoie	15,40 [13,69 - 17,14]	6,86 [6,05 - 7,77]
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne	11,68 [10,45 - 12,93]	4,27 [3,92 - 4,65]

	Département	Prévalence estimée (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie	
		Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]	
		Relation S1)	Relation S2)
76	Seine-Maritime	6,95 [6,24 - 7,68]	2,38 [2,26 - 2,5]
77	Seine-et-Marne	12,80 [11,39 - 14,23]	4,97 [4,48 - 5,51]
78	Yvelines	10,43 [9,25 - 11,63]	3,66 [3,36 - 4,00]
79	Deux-Sèvres	11,18 [9,98 - 12,40]	4,02 [3,7 - 4,38]
80	Somme	7,58 [6,79 - 8,38]	2,57 [2,43 - 2,71]
81	Tarn	12,71 [11,32 - 14,11]	4,86 [4,4 - 5,36]
82	Tarn-et-Garonne	13,37 [12 - 14,75]	5,26 [4,80 - 5,77]
83	Var	16,98 [15,24 - 18,73]	8,24 [7,34 - 9,26]
84	Vaucluse	21,45 [19,16 - 23,77]	14,46 [12,33 - 17,01]
85	Vendée	9,77 [8,76 - 10,8]	3,37 [3,15 - 3,61]
86	Vienne	12,56 [11,25 - 13,88]	4,77 [4,36 - 5,21]
87	Haute-Vienne	12,51 [11,23 - 13,79]	4,73 [4,34 - 5,15]
88	Vosges	12,84 [11,53 - 14,16]	4,93 [4,52 - 5,38]
89	Yonne	20,09 [17,74 - 22,5]	12,54 [10,46 - 15,07]
90	Territoire-de-Belfort	13,88 [12,47 - 15,31]	5,61 [5,10 - 6,17]
91	Essonne	12,23 [10,91 - 13,58]	4,57 [4,17 - 5,03]
95	Val-D'oise	10,58 [9,42 - 11,78]	3,73 [3,43 - 4,06]
2A	Corse-du-Sud	13,54 [12,14 - 14,93]	5,37 [4,89 - 5,90]
2B	Haute-Corse	14,15 [12,72 - 15,58]	5,8 [5,28 - 6,37]

Tableau 35. Prévalence estimée de la sensibilisation allergique à l'ambroisie dans les régions de France métropolitaine selon les relations exposition-risque issues des données de la littérature

Région	Prévalence estimée (en %) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie		Prévalence estimée (en milliers d'individus) de la sensibilisation allergique à l'ambroisie	
	Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]		Estimation centrale [estimation basse - estimation haute]	
	Relation S1	Relation S2	Relation S1	Relation S2
ILE DE FRANCE	11,59 [10,34 - 12,86]	4,24 [3,88 - 4,64]	1 411 [1 259 - 1 566]	517 [473 - 565]
CENTRE VAL DE LOIRE	13,74 [12,19 - 15,33]	5,99 [5,30 - 6,80]	363 [322 - 405]	158 [140 - 180]

BOURGOGNE FRANCHE COMTE	17,01 [15,15 - 18,89]	8,65 [7,52 - 9,95]	494 [440 - 548]	251 [218 - 289]
NORMANDIE	6,15 [5,49 - 6,83]	2,18 [2,08 - 2,29]	208 [186 - 231]	74 [70 - 77]
HAUTS DE FRANCE	7,70 [6,88 - 8,55]	2,64 [2,48 - 2,8]	469 [419 - 521]	161 [151 - 171]
GRAND EST	12,50 [11,19 - 13,82]	4,79 [4,37 - 5,25]	709 [635 - 784]	272 [248 - 298]
PAYS DE LA LOIRE	8,40 [7,49 - 9,31]	2,86 [2,68 - 3,05]	311 [277 - 345]	106 [99 - 113]
BRETAGNE	5,05 [4,48 - 5,63]	1,89 [1,81 - 1,97]	170 [151 - 190]	64 [61 - 67]
NOUVELLE AQUITAINE	11,06 [9,89 - 12,24]	4,03 [3,71 - 4,38]	666 [595 - 737]	243 [223 - 264]
OCCITANIE	13,29 [11,88 - 14,73]	5,43 [4,90 - 6,04]	774 [692 - 858]	316 [285 - 352]
AUVERGNE RHONE ALPES	20,37 [18,09 - 22,72]	14,29 [11,96 - 17,15]	1 612 [1 431 - 1 797]	1 130 [946 - 1 357]
PROVENCE ALPES COTE D'AZUR	17,80 [15,92 - 19,71]	9,32 [8,16 - 10,67]	912 [815 - 1 010]	477 [418 - 546]
CORSE	13,86 [12,45 - 15,28]	5,60 [5,10 - 6,15]	46 [41 - 50]	18 [17 - 20]

Annexe 12 Monétarisation de l'impact sanitaire de l'ambroisie à feuille d'armoise par départements métropolitains

Le Tableau 36 rassemble les estimations moyennes, hautes et basses du coût de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains. Le Tableau 37 rassemble les estimations moyennes, hautes et basses du coût de la prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains. Le Tableau 38 rassemble les estimations moyennes, hautes et basses du coût de la perte de qualité de vie associée à l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains.

Ces estimations sont basées sur celles de la prévalence de l'allergie à l'ambroisie dérivée à l'échelle des établissements public de coopération intercommunale composant (via une moyenne pondérée sur le nombre d'habitants) selon 4 différentes relations exposition-risque. Le détail des méthodes est disponible dans les paragraphes 6.2 et 6.3.

Tableau 36. Estimation du coût annuel (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains selon 4 relations exposition-risque

		Coût estimé (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
1	Ain	2 992 [2 876 - 3 109]	2 921 [2 715 - 3 144]	2 699 [2 504 - 2 914]	2 405 [2 081 - 2 802]
2	Aisne	1 253 [1 204 - 1 301]	818 [790 - 846]	0 [0 - 0]	69 [69 - 86]
3	Allier	1 335 [1 286 - 1 387]	1 039 [983 - 1 099]	979 [869 - 1 065]	673 [588 - 756]
4	Alpes-de-Haute-Provence	629 [606 - 651]	513 [485 - 542]	486 [441 - 515]	345 [302 - 375]
5	Hautes-Alpes	585 [564 - 606]	449 [426 - 472]	403 [363 - 452]	277 [246 - 316]
6	Alpes-Maritimes	4 128 [4 008 - 4 249]	3 172 [3 048 - 3 303]	2 672 [2 522 - 2 866]	1 737 [1 634 - 1 884]
7	Ardèche	1 518 [1 432 - 1 602]	1 626 [1 436 - 1 835]	1 391 [1 256 - 1 524]	1 338 [1 090 - 1 639]
8	Ardennes	622 [600 - 644]	405 [393 - 417]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
9	Ariège	423 [402 - 443]	282 [268 - 297]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
10	Aube	1 124 [1 078 - 1 171]	837 [790 - 887]	676 [633 - 734]	446 [419 - 486]
11	Aude	1 015 [977 - 1 055]	678 [651 - 707]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
12	Aveyron	735 [711 - 759]	485 [470 - 501]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
13	Bouches-du-Rhône	8 458 [8 121 - 8 796]	6 966 [6 536 - 7 424]	6 865 [6 178 - 7 561]	4 881 [4 205 - 5 679]
14	Calvados	783 [750 - 816]	612 [600 - 623]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
15	Cantal	389 [376 - 402]	256 [248 - 265]	0 [0 - 0]	20 [20 - 22]
16	Charente	1 225 [1 178 - 1 274]	885 [841 - 932]	416 [256 - 455]	336 [238 - 353]
17	Charente-Maritime	1 626 [1 564 - 1 688]	1 069 [1 030 - 1 110]	0 [0 - 0]	44 [44 - 61]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
18	Cher	1 393 [1 337 - 1 449]	1 239 [1 154 - 1 331]	1 183 [1 084 - 1 292]	938 [808 - 1 106]
19	Corrèze	630 [609 - 651]	413 [400 - 426]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
21	Côte-d'Or	2 192 [2 089 - 2 284]	1 755 [1 630 - 1 874]	1 793 [1 597 - 1 989]	1 266 [1 081 - 1 492]
22	Côtes-d'Armor	529 [504 - 555]	476 [468 - 484]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
23	Creuse	377 [365 - 390]	261 [251 - 271]	123 [106 - 143]	103 [97 - 110]
24	Dordogne	1 091 [1 053 - 1 130]	721 [696 - 746]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
25	Doubs	1 802 [1 745 - 1 858]	1 291 [1 242 - 1 343]	648 [602 - 748]	527 [502 - 572]
26	Drôme	3 122 [3 000 - 3 244]	4 003 [3 665 - 4 370]	2 916 [2 730 - 3 114]	3 296 [2 821 - 3 889]
27	Eure	1 027 [989 - 1 066]	686 [669 - 703]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
28	Eure-et-Loir	1 026 [985 - 1 068]	670 [646 - 695]	0 [0 - 0]	21 [21 - 33]
29	Finistère	917 [875 - 958]	771 [757 - 785]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
30	Gard	2 860 [2 737 - 2 985]	2 353 [2 196 - 2 524]	2 198 [1 944 - 2 445]	1 599 [1 362 - 1 877]
31	Haute-Garonne	4 211 [4 084 - 4 339]	2 938 [2 838 - 3 042]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
32	Gers	527 [503 - 551]	351 [334 - 369]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
33	Gironde	3 585 [3 460 - 3 711]	2 334 [2 264 - 2 408]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
34	Hérault	3 538 [3 409 - 3 668]	2 475 [2 368 - 2 589]	622 [133 - 657]	664 [513 - 711]
35	Ille-et-Vilaine	1 419 [1 361 - 1 478]	1 047 [1 026 - 1 070]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
36	Indre	815 [783 - 848]	599 [568 - 634]	435 [407 - 468]	295 [277 - 316]
37	Indre-et-Loire	1 638 [1 564 - 1 713]	1 086 [1 035 - 1 140]	0 [0 - 0]	77 [77 - 77]
38	Isère	6 406 [6 151 - 6 662]	6 837 [6 310 - 7 409]	5 869 [5 452 - 6 311]	5 585 [4 815 - 6 536]
39	Jura	1 036 [999 - 1 074]	815 [772 - 861]	786 [713 - 847]	541 [479 - 602]
40	Landes	879 [848 - 910]	572 [557 - 589]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
41	Loir-et-Cher	1 004 [962 - 1 047]	693 [659 - 728]	251 [193 - 413]	237 [208 - 297]
42	Loire	3 270 [3 103 - 3 460]	2 800 [2 558 - 3 107]	2 655 [2 337 - 3 009]	1 972 [1 635 - 2 434]
43	Haute-Loire	810 [779 - 842]	598 [568 - 630]	360 [325 - 400]	280 [256 - 307]
44	Loire-Atlantique	2 598 [2 509 - 2 687]	1 709 [1 668 - 1 752]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
45	Loiret	2 401 [2 292 - 2 511]	1 807 [1 696 - 1 926]	1 130 [1 008 - 1 294]	886 [805 - 995]
46	Lot	482 [465 - 499]	318 [307 - 329]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
47	Lot-et-Garonne	974 [935 - 1 012]	657 [629 - 686]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
48	Lozère	224 [215 - 233]	152 [145 - 159]	11 [0 - 17]	38 [35 - 46]
49	Maine-et-Loire	1 484 [1 423 - 1 543]	976 [946 - 1 006]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
50	Manche	428 [407 - 449]	392 [386 - 399]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
51	Marne	1 557 [1 505 - 1 609]	1 035 [1 001 - 1 072]	54 [30 - 77]	65 [57 - 98]
52	Haute-Marne	611 [591 - 631]	430 [414 - 448]	256 [204 - 283]	190 [166 - 200]
53	Mayenne	444 [428 - 460]	316 [310 - 322]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
54	Meurthe-et-Moselle	2 039 [1 974 - 2 104]	1 358 [1 315 - 1 403]	0 [0 - 0]	59 [59 - 268]
55	Meuse	541 [523 - 559]	362 [350 - 375]	0 [0 - 0]	65 [65 - 85]
56	Morbihan	1 019 [976 - 1 062]	731 [714 - 748]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
57	Moselle	2 881 [2 782 - 2 981]	1 915 [1 848 - 1 985]	0 [0 - 0]	15 [15 - 152]
58	Nièvre	962 [922 - 1 002]	867 [806 - 933]	877 [803 - 954]	736 [628 - 865]
59	Nord	4 358 [4 196 - 4 523]	2 960 [2 891 - 3 032]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
60	Oise	1 801 [1 729 - 1 872]	1 175 [1 136 - 1 214]	0 [0 - 0]	14 [14 - 57]
61	Orne	440 [422 - 459]	310 [303 - 318]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
62	Pas-de-Calais	2 317 [2 237 - 2 399]	1 590 [1 558 - 1 624]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
63	Puy-de-Dôme	2 519 [2 372 - 2 674]	1 975 [1 796 - 2 183]	1 707 [1 441 - 2 019]	1 195 [977 - 1 506]
64	Pyrénées-Atlantiques	1 460 [1 415 - 1 505]	951 [928 - 975]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
65	Hautes-Pyrénées	499 [483 - 514]	325 [317 - 332]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
66	Pyrénées-Orientales	1 212 [1 176 - 1 249]	796 [774 - 818]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
67	Bas-Rhin	3 220 [3 119 - 3 320]	2 167 [2 096 - 2 240]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
68	Haut-Rhin	2 446 [2 359 - 2 533]	1 708 [1 637 - 1 782]	0 [0 - 0]	218 [218 - 245]
69	Rhône	10 166 [9 784 - 10 551]	12 026 [11 099 - 13 037]	9 469 [8 845 - 10 101]	10 054 [8 637 - 11 725]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
70	Haute-Saône	835 [807 - 863]	595 [571 - 621]	236 [195 - 253]	222 [204 - 231]
71	Saône-et-Loire	2 346 [2264 - 2428]	1 962 [1 855 - 2 075]	1 877 [1 740 - 2 062]	1 415 [1 259 - 1 633]
72	Sarthe	1 057 [1 009 - 1 105]	700 [677 - 723]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
73	Savoie	1 654 [1 590 - 1718]	1 317 [1 241 - 1 396]	1 131 [1 014 - 1 231]	898 [777 - 1 025]
74	Haute-Savoie	2 567 [2 461 - 2 671]	1 905 [1 800 - 2 016]	1 226 [1 025 - 1 458]	894 [789 - 1 036]
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne	18 828 [18 166 - 19 496]	12 461 [12 024 - 12 917]	0 [0 - 0]	3 746 [3 746 - 3 746]
76	Seine-Maritime	2 062 [1 996 - 2 129]	1 412 [1 385 - 1 439]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
77	Seine-et-Marne	3 500 [3 361 - 3 638]	2 393 [2 285 - 2 504]	516 [445 - 633]	805 [774 - 858]
78	Yvelines	3 527 [3 375 - 3 678]	2 303 [2 212 - 2 397]	0 [0 - 0]	156 [156 - 279]
79	Deux-Sèvres	974 [938 - 1 010]	641 [618 - 665]	0 [0 - 0]	140 [140 - 140]
80	Somme	975 [942 - 1 007]	653 [638 - 667]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
81	Tarn	1 133 [1 089 - 1 176]	767 [734 - 800]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
82	Tarn-et-Garonne	791 [766 - 816]	544 [525 - 564]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
83	Var	4 050 [3 923 - 4 178]	3 181 [3 040 - 3 330]	2 776 [2 594 - 2 942]	1 830 [1 692 - 1 965]
84	Vaucluse	2 944 [2 838 - 3 052]	2 915 [2 724 - 3 122]	2 769 [2 561 - 2 960]	2 541 [2 176 - 2 939]
85	Vendée	1 502 [1 453 - 1 552]	977 [951 - 1 005]	0 [0 - 0]	9 [9 - 9]
86	Vienne	1 258 [1 215 - 1 300]	848 [818 - 880]	0 [0 - 0]	219 [219 - 219]
87	Haute-Vienne	1 098 [1 064 - 1 133]	739 [715 - 764]	0 [0 - 0]	167 [167 - 185]
88	Vosges	1 133 [1 097 - 1 168]	769 [743 - 795]	13 [0 - 13]	119 [54 - 167]
89	Yonne	1 621 [1 544 - 1 697]	1 517 [1 387 - 1 656]	1 406 [1 281 - 1 540]	1 197 [1 017 - 1 424]
90	Territoire-de-Belfort	467 [453 - 482]	327 [315 - 339]	0 [0 - 0]	78 [78 - 78]
91	Essonne	3 486 [3 355 - 3 620]	2 334 [2 241 - 2 432]	19 [18 - 83]	668 [668 - 688]
95	Val-D'oise	2 845 [2 731 - 2 962]	1 859 [1 790 - 1 932]	0 [0 - 0]	185 [185 - 202]
2A	Corse-du-Sud	476 [460 - 491]	329 [317 - 341]	101 [95 - 119]	112 [110 - 118]
2B	Haute-Corse	566 [549 - 583]	399 [385 - 413]	207 [195 - 252]	161 [156 - 179]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la prise en charge des soins de l'allergie à l'ambroisie <i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
	Tous (total national)	185 722 [178 710 - 192 790]	143 650 [136 402 - 151 426]	62 207 [56 138 - 68 214]	59 070 [51 942 - 68 181]

Tableau 37. Estimation du coût annuel (en milliers d'€) de prise en charge des arrêts de travail liés l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains selon 4 relations exposition-risque

		Coût estimé (en milliers d'€) de prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie <i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
1	Ain	486 [467 - 505]	474 [441 - 510]	438 [406 - 473]	390 [338 - 455]
2	Aisne	203 [195 - 211]	133 [128 - 137]	0 [0 - 0]	11 [11 - 14]
3	Allier	217 [209 - 225]	169 [160 - 178]	159 [141 - 173]	109 [95 - 123]
4	Alpes-de-Haute-Provence	102 [98 - 106]	83 [79 - 88]	79 [72 - 84]	56 [49 - 61]
5	Hautes-Alpes	95 [92 - 98]	73 [69 - 77]	65 [59 - 73]	45 [40 - 51]
6	Alpes-Maritimes	670 [650 - 689]	515 [495 - 536]	434 [409 - 465]	282 [265 - 306]
7	Ardèche	246 [232 - 260]	264 [233 - 298]	226 [204 - 247]	217 [177 - 266]
8	Ardennes	101 [97 - 105]	66 [64 - 68]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
9	Ariège	69 [65 - 72]	46 [43 - 48]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
10	Aube	182 [175 - 190]	136 [128 - 144]	110 [103 - 119]	72 [68 - 79]
11	Aude	165 [159 - 171]	110 [106 - 115]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
12	Aveyron	119 [115 - 123]	79 [76 - 81]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
13	Bouches-du-Rhône	1 372 [1 318 - 1 427]	1 130 [1 061 - 1 205]	1 114 [1 002 - 1 227]	792 [682 - 922]
14	Calvados	127 [122 - 132]	99 [97 - 101]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
15	Cantal	63 [61 - 65]	42 [40 - 43]	0 [0 - 0]	3 [3 - 4]
16	Charente	199 [191 - 207]	144 [137 - 151]	68 [42 - 74]	54 [39 - 57]
17	Charente-Maritime	264 [254 - 274]	173 [167 - 180]	0 [0 - 0]	7 [7 - 10]
18	Cher	226 [217 - 235]	201 [187 - 216]	192 [176 - 210]	152 [131 - 179]
19	Corrèze	102 [99 - 106]	67 [65 - 69]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
21	Côte-d'Or	356 [339 - 371]	285 [265 - 304]	291 [259 - 323]	205 [175 - 242]

		Coût estimé (en milliers d'€) de prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
22	Côtes-d'Armor	86 [82 - 90]	77 [76 - 79]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
23	Creuse	61 [59 - 63]	42 [41 - 44]	20 [17 - 23]	17 [16 - 18]
24	Dordogne	177 [171 - 183]	117 [113 - 121]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
25	Doubs	292 [283 - 302]	210 [202 - 218]	105 [98 - 121]	85 [82 - 93]
26	Drôme	507 [487 - 526]	650 [595 - 709]	473 [443 - 505]	535 [458 - 631]
27	Eure	167 [161 - 173]	111 [109 - 114]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
28	Eure-et-Loir	167 [160 - 173]	109 [105 - 113]	0 [0 - 0]	3 [3 - 5]
29	Finistère	149 [142 - 155]	125 [123 - 127]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
30	Gard	464 [444 - 484]	382 [356 - 410]	357 [315 - 397]	259 [221 - 304]
31	Haute-Garonne	683 [663 - 704]	477 [460 - 494]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
32	Gers	85 [82 - 89]	57 [54 - 60]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
33	Gironde	582 [561 - 602]	379 [367 - 391]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
34	Hérault	574 [553 - 595]	402 [384 - 420]	101 [22 - 107]	108 [83 - 115]
35	Ille-et-Vilaine	230 [221 - 240]	170 [166 - 174]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
36	Indre	132 [127 - 138]	97 [92 - 103]	71 [66 - 76]	48 [45 - 51]
37	Indre-et-Loire	266 [254 - 278]	176 [168 - 185]	0 [0 - 0]	12 [12 - 12]
38	Isère	1040 [998 - 1081]	1109 [1024 - 1202]	952 [885 - 1024]	906 [781 - 1061]
39	Jura	168 [162 - 174]	132 [125 - 140]	128 [116 - 137]	88 [78 - 98]
40	Landes	143 [138 - 148]	93 [90 - 96]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
41	Loir-et-Cher	163 [156 - 170]	112 [107 - 118]	41 [31 - 67]	38 [34 - 48]
42	Loire	531 [503 - 561]	454 [415 - 504]	431 [379 - 488]	320 [265 - 395]
43	Haute-Loire	131 [126 - 137]	97 [92 - 102]	58 [53 - 65]	45 [42 - 50]
44	Loire-Atlantique	422 [407 - 436]	277 [271 - 284]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
45	Loiret	390 [372 - 407]	293 [275 - 313]	183 [164 - 210]	144 [131 - 161]
46	Lot	78 [75 - 81]	52 [50 - 53]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
47	Lot-et-Garonne	158 [152 - 164]	107 [102 - 111]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]

		Coût estimé (en milliers d'€) de prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie <i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
48	Lozère	36 [35 - 38]	25 [24 - 26]	2 [0 - 3]	6 [6 - 7]
49	Maine-et-Loire	241 [231 - 250]	158 [154 - 163]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
50	Manche	69 [66 - 73]	64 [63 - 65]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
51	Marne	253 [244 - 261]	168 [162 - 174]	9 [5 - 13]	10 [9 - 16]
52	Haute-Marne	99 [96 - 102]	70 [67 - 73]	42 [33 - 46]	31 [27 - 33]
53	Mayenne	72 [69 - 75]	51 [50 - 52]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
54	Meurthe-et-Moselle	331 [320 - 341]	220 [213 - 228]	0 [0 - 0]	10 [10 - 43]
55	Meuse	88 [85 - 91]	59 [57 - 61]	0 [0 - 0]	11 [11 - 14]
56	Morbihan	165 [158 - 172]	119 [116 - 121]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
57	Moselle	467 [451 - 484]	311 [300 - 322]	0 [0 - 0]	2 [2 - 25]
58	Nièvre	156 [150 - 163]	141 [131 - 151]	142 [130 - 155]	119 [102 - 140]
59	Nord	707 [681 - 734]	480 [469 - 492]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
60	Oise	292 [280 - 304]	191 [184 - 197]	0 [0 - 0]	2 [2 - 9]
61	Orne	71 [69 - 74]	50 [49 - 52]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
62	Pas-de-Calais	376 [363 - 389]	258 [253 - 264]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
63	Puy-de-Dôme	409 [385 - 434]	320 [292 - 354]	277 [234 - 328]	194 [159 - 244]
64	Pyrénées-Atlantiques	237 [230 - 244]	154 [151 - 158]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
65	Hautes-Pyrénées	81 [78 - 83]	53 [51 - 54]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
66	Pyrénées-Orientales	197 [191 - 203]	129 [126 - 133]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
67	Bas-Rhin	522 [506 - 539]	352 [340 - 363]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
68	Haut-Rhin	397 [383 - 411]	277 [266 - 289]	0 [0 - 0]	35 [35 - 40]
69	Rhône	1 650 [1 588 - 1 712]	1 951 [1 801 - 2 116]	1 537 [1 435 - 1 639]	1 631 [1 401 - 1 903]
70	Haute-Saône	135 [131 - 140]	97 [93 - 101]	38 [32 - 41]	36 [33 - 37]
71	Saône-et-Loire	381 [367 - 394]	318 [301 - 337]	305 [282 - 335]	230 [204 - 265]
72	Sarthe	172 [164 - 179]	114 [110 - 117]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
73	Savoie	268 [258 - 279]	214 [201 - 227]	183 [165 - 200]	146 [126 - 166]

		Coût estimé (en milliers d'€) de prise en charge des arrêts de travail liés à l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
74	Haute-Savoie	417 [399 - 433]	309 [292 - 327]	199 [166 - 237]	145 [128 - 168]
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne	3 055 [2 948 - 3 164]	2 022 [1 951 - 2 096]	0 [0 - 0]	608 [608 - 608]
76	Seine-Maritime	335 [324 - 345]	229 [225 - 234]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
77	Seine-et-Marne	568 [545 - 590]	388 [371 - 406]	84 [72 - 103]	131 [126 - 139]
78	Yvelines	572 [548 - 597]	374 [359 - 389]	0 [0 - 0]	25 [25 - 45]
79	Deux-Sèvres	158 [152 - 164]	104 [100 - 108]	0 [0 - 0]	23 [23 - 23]
80	Somme	158 [153 - 163]	106 [104 - 108]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
81	Tarn	184 [177 - 191]	124 [119 - 130]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
82	Tarn-et-Garonne	128 [124 - 132]	88 [85 - 92]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
83	Var	657 [637 - 678]	516 [493 - 540]	451 [421 - 477]	297 [274 - 319]
84	Vaucluse	478 [461 - 495]	473 [442 - 507]	449 [415 - 480]	412 [353 - 477]
85	Vendée	244 [236 - 252]	159 [154 - 163]	0 [0 - 0]	1 [1 - 1]
86	Vienne	204 [197 - 211]	138 [133 - 143]	0 [0 - 0]	36 [36 - 36]
87	Haute-Vienne	178 [173 - 184]	120 [116 - 124]	0 [0 - 0]	27 [27 - 30]
88	Vosges	184 [178 - 190]	125 [121 - 129]	2 [0 - 2]	19 [9 - 27]
89	Yonne	263 [250 - 275]	246 [225 - 269]	228 [208 - 250]	194 [165 - 231]
90	Territoire-de-Belfort	76 [73 - 78]	53 [51 - 55]	0 [0 - 0]	13 [13 - 13]
91	Essonne	566 [544 - 587]	379 [364 - 395]	3 [3 - 14]	108 [108 - 112]
95	Val-D'oise	462 [443 - 481]	302 [290 - 313]	0 [0 - 0]	30 [30 - 33]
2A	Corse-du-Sud	77 [75 - 80]	53 [51 - 55]	16 [15 - 19]	18 [18 - 19]
2B	Haute-Corse	92 [89 - 95]	65 [63 - 67]	34 [32 - 41]	26 [25 - 29]
	Tous (total national)	30 136 [28 998 - 31 283]	23 309 [22 133 - 24 571]	10 094 [9 109 - 11 069]	9 585 [8 428 - 11 063]

Tableau 38. Estimation du coût annuel (en milliers d'€) associé à la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie par départements métropolitains selon 4 relations exposition-risque

		Coût estimé (en milliers d'€) de la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie <i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
1	Ain	20 795 [19 988 - 21 604]	21 313 [19 770 - 22 977]	19 243 [17 870 - 20 670]	18 054 [15 556 - 21 033]
2	Aisne	99 [95 - 102]	65 [62 - 67]	0 [0 - 0]	21 [21 - 21]
3	Allier	3 060 [2 946 - 3 177]	2 418 [2 286 - 2 560]	2 370 [2 135 - 2 577]	1 655 [1 452 - 1 866]
4	Alpes-de-Haute-Provence	1 793 [1 728 - 1 856]	1 485 [1 402 - 1 569]	1 437 [1 307 - 1 520]	1 034 [905 - 1 128]
5	Hautes-Alpes	1 192 [1 149 - 1 235]	931 [883 - 981]	891 [804 - 980]	612 [538 - 693]
6	Alpes-Maritimes	6 717 [6 521 - 6 914]	5 165 [4 961 - 5 378]	4 366 [4 122 - 4 688]	2 840 [2 671 - 3 085]
7	Ardèche	13 443 [12 665 - 14 198]	15 213 [13 349 - 17 284]	12 450 [11 271 - 13 594]	12 578 [10 196 - 15 450]
8	Ardennes	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
9	Ariège	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
10	Aube	1 583 [1 517 - 1 650]	1 189 [1 121 - 1 263]	999 [935 - 1 083]	660 [615 - 722]
11	Aude	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
12	Aveyron	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
13	Bouches-du-Rhône	25 855 [24 829 - 26 884]	21 355 [20 041 - 22 759]	21 033 [18 941 - 23 148]	15 011 [12 935 - 17 453]
14	Calvados	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
15	Cantal	30 [29 - 32]	20 [20 - 21]	0 [0 - 0]	6 [6 - 6]
16	Charente	957 [921 - 994]	702 [667 - 739]	438 [294 - 467]	309 [235 - 324]
17	Charente-Maritime	67 [64 - 70]	45 [43 - 46]	0 [0 - 0]	13 [13 - 13]
18	Cher	6 391 [6 124 - 6 656]	5 832 [5 408 - 6 283]	5 634 [5 151 - 6 162]	4 621 [3 943 - 5 500]
19	Corrèze	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
21	Côte-d'Or	6 401 [6 102 - 6 671]	5 145 [4 779 - 5 495]	5 296 [4 721 - 5 885]	3 764 [3 212 - 4 450]
22	Côtes-d'Armor	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
23	Creuse	236 [229 - 244]	164 [158 - 170]	85 [71 - 93]	67 [62 - 71]
24	Dordogne	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
25	Doubs	1 476 [1 431 - 1 521]	1 065 [1 025 - 1 107]	708 [657 - 779]	496 [469 - 533]
26	Drôme	42 604 [40 956 - 44 245]	55 486 [50 802 - 60 566]	39 699 [37 186 - 42 364]	45 351 [38 822 - 53 494]
27	Eure	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
28	Eure-et-Loir	30 [29 - 31]	20 [19 - 21]	0 [0 - 0]	6 [6 - 6]
29	Finistère	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
30	Gard	8 791 [8 419 - 9 169]	7 483 [6 975 - 8 038]	7 229 [6 485 - 7 969]	5 470 [4 685 - 6 401]
31	Haute-Garonne	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
32	Gers	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
33	Gironde	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
34	Hérault	1 540 [1 482 - 1 598]	1 098 [1 046 - 1 152]	448 [146 - 474]	395 [299 - 406]
35	Ille-et-Vilaine	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
36	Indre	972 [933 - 1 013]	727 [686 - 772]	562 [521 - 608]	376 [349 - 410]
37	Indre-et-Loire	123 [118 - 128]	82 [79 - 86]	0 [0 - 0]	23 [23 - 23]
38	Isère	55 778 [53 589 - 57 976]	64 261 [59 166 - 69 831]	51 355 [47 865 - 55 043]	52 087 [44 815 - 61 050]
39	Jura	2 535 [2 444 - 2 628]	2 015 [1 908 - 2 128]	1 990 [1 811 - 2 146]	1 389 [1 228 - 1 552]
40	Landes	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
41	Loir-et-Cher	633 [609 - 658]	453 [431 - 475]	312 [244 - 377]	227 [191 - 254]
42	Loire	11 903 [11 267 - 12 622]	10 737 [9 710 - 12 019]	9 928 [8 781 - 11 210]	7 778 [6 416 - 9 640]
43	Haute-Loire	1 003 [966 - 1 040]	768 [729 - 810]	629 [567 - 688]	439 [393 - 489]
44	Loire-Atlantique	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
45	Loiret	3 648 [3 493 - 3 805]	3 003 [2 809 - 3 212]	2 478 [2 255 - 2 723]	1 852 [1 644 - 2 115]
46	Lot	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
47	Lot-et-Garonne	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
48	Lozère	68 [65 - 71]	46 [44 - 49]	6 [0 - 8]	14 [12 - 15]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie <i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
49	Maine-et-Loire	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
50	Manche	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
51	Marne	132 [128 - 137]	91 [88 - 95]	32 [18 - 40]	33 [28 - 35]
52	Haute-Marne	503 [486 - 519]	356 [342 - 371]	236 [185 - 253]	166 [143 - 174]
53	Mayenne	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
54	Meurthe-et-Moselle	91 [88 - 94]	61 [59 - 63]	0 [0 - 0]	17 [17 - 17]
55	Meuse	105 [101 - 108]	71 [68 - 73]	0 [0 - 0]	19 [19 - 19]
56	Morbihan	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
57	Moselle	22 [21 - 23]	14 [14 - 15]	0 [0 - 0]	4 [4 - 4]
58	Nièvre	5 489 [5 262 - 5 716]	5 129 [4 757 - 5 527]	5 130 [4 702 - 5 560]	4 496 [3 820 - 5 292]
59	Nord	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
60	Oise	18 [17 - 19]	12 [11 - 12]	0 [0 - 0]	4 [4 - 4]
61	Orne	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
62	Pas-de-Calais	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
63	Puy-de-Dôme	5 446 [5 104 - 5 806]	4 357 [3 929 - 4 861]	4 078 [3 429 - 4 801]	2 827 [2 275 - 3 605]
64	Pyrénées-Atlantiques	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
65	Hautes-Pyrénées	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
66	Pyrénées-Orientales	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
67	Bas-Rhin	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
68	Haut-Rhin	395 [381 - 408]	278 [266 - 290]	0 [0 - 0]	65 [65 - 65]
69	Rhône	116 839 [112 513 - 121 196]	140 099 [129 351 - 151 846]	109 262 [102 219 - 116 378]	117 404 [100 919 - 136 808]
70	Haute-Saône	601 [580 - 622]	438 [419 - 458]	264 [225 - 281]	197 [177 - 208]
71	Saône-et-Loire	8 468 [8 166 - 8 771]	7 382 [6 954 - 7 837]	7 299 [6 763 - 7 925]	5 785 [5 083 - 6 669]
72	Sarthe	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
73	Savoie	4 977 [4 779 - 5 169]	4 160 [3 901 - 4 427]	4 317 [3 912 - 4 687]	3 352 [2 877 - 3 870]

		Coût estimé (en milliers d'€) de la perte de qualité de vie liée à l'allergie à l'ambroisie			
		<i>Estimation centrale [estimation basse – estimation haute]</i>			
	Département	Relation 1)	Relation 2)	Relation 3)	Relation 4)
74	Haute-Savoie	3 165 [3 035 - 3 293]	2 412 [2 274 - 2 557]	1 936 [1 685 - 2 188]	1 322 [1 165 - 1 513]
75, 92, 93, 94	Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne	5 596 [5 400 - 5 795]	3 704 [3 574 - 3 839]	0 [0 - 0]	1 114 [1 114 - 1 114]
76	Seine-Maritime	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
77	Seine-et-Marne	1 644 [1 576 - 1 710]	1 146 [1 089 - 1 205]	409 [345 - 489]	423 [394 - 465]
78	Yvelines	221 [213 - 228]	145 [140 - 150]	0 [0 - 0]	46 [46 - 46]
79	Deux-Sèvres	206 [198 - 213]	136 [131 - 141]	0 [0 - 0]	41 [41 - 41]
80	Somme	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
81	Tarn	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
82	Tarn-et-Garonne	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]	0 [0 - 0]
83	Var	7 732 [7 490 - 7 977]	6 082 [5 813 - 6 367]	5 338 [4 980 - 5 652]	3 527 [3 252 - 3 785]
84	Vaucluse	22 425 [21 614 - 23 245]	22 504 [21 005 - 24 129]	21 209 [19 631 - 22 691]	19 833 [16 968 - 23 022]
85	Vendée	12 [12 - 13]	8 [8 - 8]	0 [0 - 0]	3 [3 - 3]
86	Vienne	355 [343 - 367]	240 [231 - 249]	0 [0 - 0]	65 [65 - 65]
87	Haute-Vienne	270 [262 - 278]	182 [176 - 188]	0 [0 - 0]	50 [50 - 50]
88	Vosges	204 [197 - 210]	139 [134 - 144]	8 [0 - 8]	39 [18 - 39]
89	Yonne	9 515 [9 058 - 9 965]	9 346 [8 507 - 10 245]	8 684 [7 956 - 9 452]	7 841 [6 639 - 9 352]
90	Territoire-de-Belfort	139 [135 - 143]	97 [94 - 101]	0 [0 - 0]	23 [23 - 23]
91	Essonne	1 054 [1 014 - 1 094]	706 [678 - 736]	11 [11 - 31]	203 [203 - 209]
95	Val-D'oise	261 [250 - 272]	171 [164 - 178]	0 [0 - 0]	55 [55 - 55]
2A	Corse-du-Sud	235 [228 - 243]	163 [157 - 169]	60 [56 - 67]	58 [57 - 61]
2B	Haute-Corse	402 [390 - 414]	284 [274 - 294]	162 [153 - 187]	120 [116 - 131]
	Tous (total national)	416 242 [399 750 - 432 838]	438 196 [404 988 - 474 434]	358 020 [330 408 - 385 947]	346 284 [297 353 - 404 947]



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
F94701 Maisons-Alfort cedex
www.anses.fr
[@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)