

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Particules minérales allongées

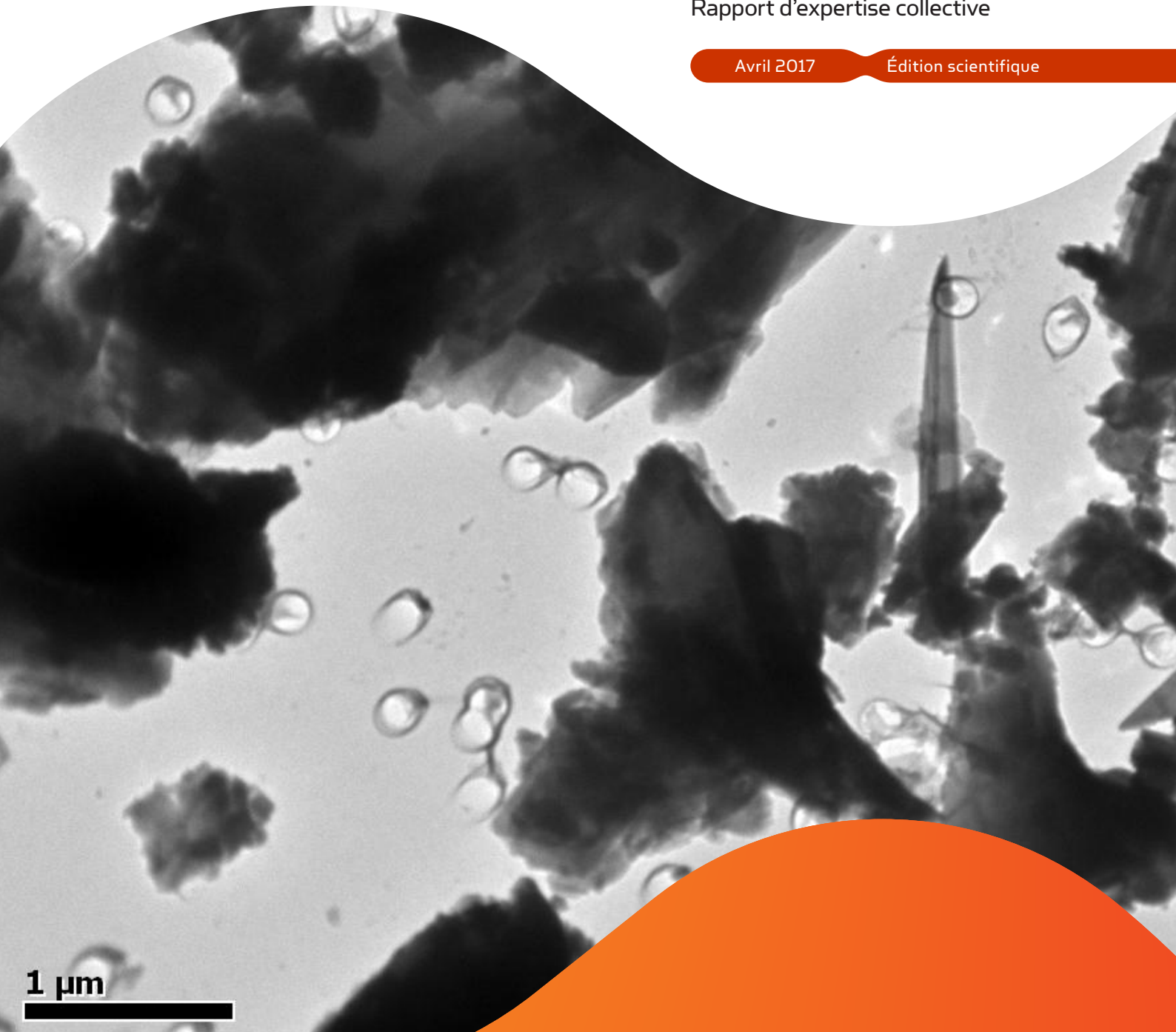
Identification des sources d'émission
et proposition de protocoles
de caractérisation et de mesures

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Avril 2017

Édition scientifique



1 μm

Particules minérales allongées

Identification des sources d'émission
et proposition de protocoles
de caractérisation et de mesures

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Avril 2017

Édition scientifique

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 21 avril 2017

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

relatif aux « Particules minérales allongées. Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesures »

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 17 février 2016 par la Direction Générale du Travail (DGT), la Direction Générale de la Santé (DGS) et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) pour la réalisation d'une expertise relative aux particules minérales allongées, notamment l'identification des sources d'émission et la proposition de protocoles de caractérisation et de mesures.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Cette saisine fait suite aux conclusions des précédents travaux de l'Anses sur les « effets sanitaires et l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrières » (Anses, 2015).

En l'état actuel des connaissances sur les effets sanitaires et en raison des incertitudes et des difficultés liées à la caractérisation et à la différenciation des fragments de clivage par les méthodes d'analyse de routine, l'Anses recommandait de ne pas distinguer les 5 amphiboles asbestiformes réglementaires des fragments de clivage de leurs homologues non asbestiformes répondant aux critères dimensionnels des fibres proposés historiquement par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ($L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$).

Cette première expertise a également mis en évidence des effets sanitaires pour d'autres amphiboles calciques et calco-sodiques, présentes sous forme de mélange de particules asbestiformes et non asbestiformes : la fluoro-édénite, classée agent cancérigène pour l'Homme par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) en 2014 (groupe I) ainsi que la winchite et la richtérite, constituants majoritaires des amphiboles de Libby, classées cancérigènes pour l'Homme par l'US EPA en 2014.

Au vu de ces conclusions, l'Anses a recommandé, notamment :

1. Que le terme de « **particules minérales allongées** » (PMA) soit employé pour décrire les particules minérales ayant un rapport d'allongement supérieur à 3, sans tenir compte de leur caractère asbestiforme ou non asbestiforme.
2. Que les préconisations de la réglementation amiante s'appliquent aux PMA ($L/D > 3$; $L > 5 \mu\text{m}$; $D < 3 \mu\text{m}$) :
 - a. Des **5 amphiboles asbestiformes réglementaires et leurs homologues non asbestiformes** (actinolite-amiante/actinolite ; anthophyllite-amiante/anthophyllite ; trémolite-amiante/trémolite ; amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite) ;
 - b. De **winchite, richtérite et fluoro-édénite**, compte tenu des effets sanitaires similaires à ceux de l'amiante mis en évidence pour ces espèces minérales ;
 - c. D'**érionite**, classée agent cancérigène pour l'Homme (cat. I) par le CIRC.

L'Anses a également souligné qu'en dehors des carrières, d'autres professionnels du secteur des travaux publics en environnement naturel ou mettant en œuvre des matériaux manufacturés à partir de matériaux naturels pouvaient également être exposés à ces PMA.

De ce fait, la question des expositions pour les travailleurs et la population générale aux PMA de ces espèces minérales est posée, dans ou à proximité des carrières d'extraction de granulats, dans ou à proximité des lieux où des granulats contenant ces espèces minérales seraient identifiés, et à l'occasion des travaux sur des bâtiments ou des ouvrages publics dans lesquels ils pourraient être présents.

Dans ce contexte, les demandes formulées dans la saisine étaient les suivantes :

- 1/ Réaliser une étude de filières visant à acquérir des données sur les usages des granulats extraits des carrières en France (volume de production, type d'ouvrages auxquels ils sont incorporés, tonnages, distance de transport des granulats par rapport aux carrières, importation/exportation, etc.) et les autres secteurs des travaux publics potentiellement concernés par la problématique des PMA en France. Cette étude s'attachera aussi à identifier d'éventuels usages anciens pouvant conduire à l'exposition résiduelle des travailleurs et de la population ;
- 2/ Réaliser une revue des nouvelles données éventuellement disponibles sur la présence des PMA dans les matériaux, leurs émissions depuis ces matériaux et les expositions en résultant ;

La réalisation de ces travaux porte spécifiquement sur les espèces minérales suivantes : **actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, érionite, chrysotile et antigorite**. Les PMA issues de ces espèces minérales sont dénommées PMA d'intérêt (**PMAi**) dans l'expertise de l'Anses.

- 3/ Proposer les grandes lignes d'une étude en laboratoire sur l'émission potentielle de ces PMAi associées aux interventions (percement...) sur les matériaux de construction identifiés au cours de la première phase de l'expertise. Ces matériaux seront élaborés pour l'étude avec des granulats susceptibles d'émettre des PMAi et soumis à différentes sollicitations en chambre en vue d'évaluer les empoussièrtements générés ;
- 4/ Proposer les grandes lignes d'une campagne de mesures centrée sur ces PMAi en décrivant les secteurs et les activités professionnelles à investiguer ou les sites géographiques pour la population générale. L'Anses examinera également les possibilités de réanalyse de filtres de prélèvements d'ores et déjà existants permettant de répondre aux questions posées.

Les questions 3 et 4 incluent la proposition des grandes lignes d'un protocole de mesurage des PMAi dans l'air et les matériaux.

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 du comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens ». L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Particules minérales allongées ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques lors de 7 séances entre mars 2016 et avril 2017. Ils ont été adoptés par le CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » réuni le 6 avril 2017.

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).

La collecte des informations nécessaires à la conduite de cette expertise s'est appuyée sur différentes auditions :

- Les principales structures constituant les filières d'extraction et de transformation de granulats, de roches ornementales et de construction (ROC) et de minéraux industriels et d'autres secteurs du bâtiment et des travaux publics¹.
- Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).
- L'Union des Laboratoires de Santé du Bâtiment (ULSB).
- Des experts en métrologie des fibres minérales.
- Des agglomérations, ou des communautés d'agglomérations².

La réalisation de ces travaux s'est également fondée sur une synthèse et une analyse critique des données publiées dans la littérature (articles scientifiques, rapports institutionnels, normes d'analyse). La recherche bibliographique a été réalisée grâce aux bases de données Scopus et Pubmed. Cette revue a été complétée par une recherche de la littérature grise sur internet et *via* le réseau d'experts de l'Anses.

¹ Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB), Fédération Française du Bâtiment (FFB), Fédération des Industries du Béton (FIB), Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), Minéraux Industriels France (MIF), Opérateurs (Opérateurs privés : Climespace, CPCU, ENEDIS, GRDF, GRT gaz, Lyonnaise des Eaux, Orange, RTE, TIGF ; Fédération / Syndicat : AFG, FEDENE, SPEGNN ; Acteurs publics : FNCCR), Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBT), Syndicat des Carrières Indépendantes du Grand Ouest (CIGO), Syndicat des Recycleurs du BTP (SRBTP), Syndicat National des Entreprises de la Démolition (SNED), Syndicat National des Industries de Roches Ornementales et de Construction (SNROC), Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE) Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF) Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction (UNICEM) Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG).

² Lille Métropole, Rennes Métropole, Nantes métropole, ville de Paris et la métropole du Grand Nancy

Différentes bases de données ont également été consultées pour compléter les informations transmises lors des auditions ou identifiées dans la littérature :

- La base de données « carrières et matériaux » gérée par le BRGM en partenariat avec le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Cette base est consultable sur le site Mineralinfo (« <http://www.mineralinfo.fr/> »).
- La base de données Colchic, qui recense l'ensemble des données d'exposition professionnelle recueillies dans les entreprises françaises par les Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) et l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).
- La base de données Scola, gérée par l'INRS, qui recense les résultats de mesures d'évaluation d'exposition professionnelle réalisées par les organismes accrédités dans le cadre du contrôle réglementaire des valeurs d'exposition aux agents chimiques.
- La base de données du Ministère de la Santé, qui recense les analyses réalisées par les organismes accrédités pour l'établissement de la stratégie de prélèvement et le prélèvement de fibres d'amiante dans l'air et/ou les analyses et comptages de ces fibres d'amiante au titre du Code de la santé publique.

L'extraction de ces trois dernières bases de données ont fait l'objet de rapports *ad hoc*. Les résultats ont été intégrés au rapport d'expertise collective.

3. ANALYSE, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DU CES

Le CES «Evaluation des risques liés aux milieux aériens » a adopté les travaux d'expertise collective ainsi que ses conclusions et recommandations, objets de la présente synthèse, lors de sa séance du 6 avril 2017 et a fait part de cette adoption à la direction générale de l'Anses.

Résultats et conclusions de l'expertise collective

Dans l'environnement naturel, de nombreuses roches magmatiques et métamorphiques sont susceptibles de contenir dans leur minéralogie l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées. En France, les principaux domaines géologiques dans lesquels des roches contenant l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées sont connus ; ils correspondent à la chaîne des Alpes Occidentales et à son prolongement en Corse, aux massifs cristallins externes des Alpes, au Massif Central, aux Vosges, au Massif Armoricaïn et à la chaîne des Pyrénées.

Parmi les espèces minérales ciblées dans la saisine, l'**actinolite** et la trémolite sont les plus fréquemment identifiées en France. Les occurrences de chrysotile et d'antigorite sont fréquentes dans certaines lithologies (serpentinites, et péridotites serpentinisées) mais à l'exception de quelques massifs alpins localisés notamment en Haute-Corse et dans les Alpes occidentales, ces roches ne forment pas de massifs étendus. Des occurrences d'anthophyllite, de grunérite, de riébeckite et winchite sont connues mais ces occurrences sont associées à des roches très nettement subordonnées en termes de surfaces impactées. Concernant la fluoro-édénite, la richtérite et l'ériónite, leur présence est parfois mentionnée dans la littérature mais ces données sont extrêmement rares et sans doute non exhaustives. Dans la très grande majorité des cas, les amphiboles observées au niveau de ces occurrences se présentent sous forme non asbestiforme.

L'étude de filières a mis en évidence que de nombreux secteurs peuvent être concernés par la présence d'espèces minérales d'intérêt dans des environnements naturels ou des matériaux

manufacturés à partir de matériaux naturels. Leur présence peut conduire par la suite à l'émission de PMAi lors d'intervention sur ces matériaux.

L'extraction de matériaux de carrières est le premier secteur d'activité pouvant être concerné par la problématique des PMAi. Les carrières potentiellement concernées sont listées ci-dessous par ordre décroissant en termes de probabilité d'occurrence des espèces minérales dans les matériaux exploités :

- Les carrières localisées dans des environnements géologiques propices à la formation de ces espèces minérales sont concernées. Des listes des roches exploitées dans les carrières de granulats et de Roches Ornementales et de Construction (ROC) susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt et donc de libérer des PMAi lorsqu'elles sont sollicitées sont proposées dans les annexes 1 et 2.

La présence d'espèces minérales d'intérêts dans ces carrières peut être plus ou moins fréquente, en fonction du type de matériau exploité. Une même carrière peut exploiter des matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt et d'autres non. La présence d'espèces minérales d'intérêt peut donc varier dans le temps, en fonction de la nature même des matériaux exploités.

En termes de nombre de sites, de travailleurs et de volumes de matériaux extraits, les carrières de granulats sont potentiellement plus concernées par la problématique des PMAi que les carrières de ROC.

- Les carrières de roches alluvionnaires localisées en aval de ces zones géologiques peuvent également être concernées, de même que certaines carrières de roches meubles non alluvionnaires.
- Les carrières exploitant exclusivement d'autres types de roches que celles listées dans les annexes 1 et 2 ne sont *a priori* pas concernées par la problématique des PMAi. Toutefois, certaines carrières exploitant exclusivement des matériaux non susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt peuvent également être concernées dans le cas très précis où des filons de roches contenant des espèces minérales d'intérêt recoupent les matériaux qui font l'objet de l'exploitation (filons de dolérite).
- Les carrières de minéraux industriels ne sont *a priori* pas concernées par la problématique des PMAi.
- Les carrières de granulats marins ne sont pas concernées par la problématique des PMAi.

Les secteurs d'activité, tels que l'exploitation de mines, les travaux publics et les principaux ouvrages souterrains, intervenant en environnement naturel dans ces zones géologiques peuvent également être concernés par la problématique des PMAi. Aucune étude en France en lien avec les PMAi concernant ces secteurs d'activité n'a été rendue publique à ce jour. D'autres secteurs peuvent être concernés, comme celui de l'agriculture par exemple, mais il n'existe actuellement pas d'études géologiques pour ces secteurs.

En ce qui concerne **la filière en aval**, tous les secteurs utilisateurs de matériaux naturels (granulats, ROC) issus de ces carrières et tous les secteurs intervenant sur les matériaux manufacturés à partir de ces matériaux naturels sont potentiellement concernés par la problématique des PMAi : bâtiment, travaux publics. Les **granulats** sont utilisés pour les **travaux routiers et ferroviaires³, les travaux de Voirie et Réseaux Divers (VRD), l'endiguement et autres usages pour infrastructures** (58 %), pour la **fabrication de bétons** (32 %, principalement le Béton Prêt à l'Emploi) et, dans une moindre mesure, pour les enrobés routiers (9 %) et les ballasts (1 %). Ainsi, les ouvrages particulièrement concernés sont les bâtiments et les ouvrages de génie civil en béton et les routes. En théorie, une traçabilité des granulats extraits des carrières est possible à partir des bons de livraison et du marquage CE. Dans la pratique, cette traçabilité est très difficile à établir du fait du mélange de granulats, du mélange de bétons au niveau des chantiers et de **la part croissante de l'utilisation de matériaux de construction recyclés**, notamment pour les travaux de voiries. Néanmoins, les ouvrages construits dans les zones géographiques situées dans un périmètre restreint autour des carrières exploitant les roches précitées sont plus concernés par la problématique des PMAi du fait du transport sur de faibles distances de ces matériaux (30-50 km). Il sera d'autant plus aisé d'assurer une traçabilité des granulats dans les régions pour lesquelles la production de granulats suffit aux besoins (e.g. Bretagne) et pour les carrières disposant de leur propre centrale à béton. En revanche, pour certaines agglomérations telles que Paris, ne disposant pas de carrières de granulats couvrant la demande, cet exercice est plus difficile à réaliser.

En ce qui concerne les ROC, les secteurs principalement concernés sont le bâtiment, le funéraire et la voirie. La traçabilité des ROC est plus aisée que celle des granulats du fait du « faible » nombre de carrières en France, de la spécificité des matériaux extraits et du faible taux de recyclage de ces matériaux patrimoniaux et durables.

L'étude de filières a également mis en évidence la présence d'espèces minérales d'intérêt dans de nombreux pays, dont des pays frontaliers de la France, ce qui soulève la question du contrôle et de la traçabilité des **matériaux importés** (granulats, ROC, minéraux industriels) depuis les carrières de ces pays. Ceci est d'autant plus important pour les ROC compte tenu de la part croissante du volume de matériaux importés d'Europe et surtout d'Asie.

Aucune donnée pertinente concernant l'exposition aux PMAi⁴, la présence d'espèces minérales d'intérêt dans les matériaux et l'émissivité potentielle en PMAi depuis ces matériaux n'a été recensée dans la littérature depuis la parution du rapport d'expertise relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015).

Les mesures réalisées en carrières, dans les bâtiments, lors d'opérations courantes dans le BTP ou sur les chantiers routiers ont été conduites dans le cadre de la réglementation amiante et, par conséquent, les PMAi hors amiante réglementaire n'ont pas été prises en compte dans ces campagnes. Par ailleurs, des résultats d'études spécifiques/ponctuelles conduites dans les carrières et les chantiers routiers indiquent une exposition potentielle à l'actinolite-amiante des travailleurs et potentiellement des populations riveraines de ces carrières. Aucune donnée n'est actuellement disponible concernant l'exposition aux PMAi hors amiante réglementaire dans le secteur du bâtiment.

Les rares données disponibles ne sont pas représentatives de l'exposition potentielle aux PMAi et ne permettent pas leur exploitation statistique. De plus, l'Anses rappelle que les relations entre la présence d'espèces minérales d'intérêt dans un matériau et la libération de PMAi dans l'air (c'est-à-dire son émissivité) ne sont pas simples à établir. Ainsi, en l'état actuel des connaissances, une hiérarchisation des secteurs potentiellement impactés par la problématique des PMAi n'est pas envisageable. Deux aspects sont à prendre en considération pour établir une telle hiérarchie :

³ Hors enrobés routiers et ballasts : sous-couches de plateformes de structures routières et ferroviaires.

⁴ Dans l'air, les PMAi considérées sont celles de dimensions $L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$.

- Les sources : une identification des sites d'extraction de matériaux susceptibles de libérer des PMAi et la caractérisation des matériaux extraits permettront de tracer les secteurs d'activités en aval et les zones géographiques potentiellement impactés.
- Les actions réalisées sur les matériaux susceptibles de libérer des PMAi : l'émissivité en PMAi dépend du couple matériau/technique mis en œuvre. Une caractérisation de l'émissivité des différents couples est nécessaire pour évaluer les mesures organisationnelles et de prévention à mettre en place.

Par défaut, il est néanmoins envisageable de s'appuyer sur les connaissances relatives à la mise en œuvre des couples matériau/technique les plus émissifs en poussières afin de hiérarchiser les couples à investiguer en priorité.

L'expertise souligne enfin le faible recul sur le plan métrologique se traduisant à l'heure actuelle par une hétérogénéité des protocoles d'échantillonnage, de préparation et d'analyse des échantillons observés dans les différentes études conduites, et fait le constat de nombreuses informations manquantes (informations météorologiques, analyse des matériaux,...) ou inadaptées (sensibilités analytiques,...) dans les rapports d'essai pouvant conduire à des pratiques et à une interprétation des résultats variables d'un laboratoire à l'autre. Des protocoles de mesures ont ainsi été élaborés dans le cadre de cette expertise afin de pouvoir acquérir des données sur la présence des espèces minérales d'intérêts dans les matériaux et leur émissivité en PMAi (chapitres 5 et 6 du rapport d'expertise collective associé à cet avis et intitulé « *Particules minérales allongées : Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesures* »). Deux cahiers des charges visant à réaliser une étude d'émissivité des matériaux de construction en laboratoire et une campagne de mesures exploratoire sur le terrain ont également été élaborés (chapitres 7 et 8 du rapport d'expertise collective associé à cet avis et intitulé « *Particules minérales allongées : Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesures* »).

Recommandations de l'expertise collective

Compte tenu des conclusions et de l'absence de données d'exposition aux PMAi validées, le CES recommande que :

- Soient conduites des études exploratoires permettant d'acquérir des données sur :
 - La caractérisation et l'émissivité des matériaux contenant des espèces minérales d'intérêt ;
 - Les niveaux de concentrations en PMAi émis lors de différentes activités.

La conduite de ces études pourra s'appuyer sur les cahiers des charges⁵ établis par l'Anses et devra faire appel à des acteurs compétents et expérimentés dans chacun des domaines d'expertise concernés. Le CES recommande que des mesures de concentrations en silice cristalline alvéolaire soient réalisées conjointement dans le cadre de ces études exploratoires.

Conformément à la demande de la saisine, le cahier des charges élaboré en vue d'évaluer les émissions en PMAi concerne les matériaux de construction. Toutefois, le CES recommande que des études d'émissivité soient conduites sur d'autres matériaux (e.g. ROC, carottes d'enrobés routiers, etc.).

⁵ « Cahier des charges techniques pour la réalisation d'une étude en laboratoire afin d'évaluer les émissions en PMAi générées lors de sollicitations mécaniques de matériaux de construction » et « Cahier des charges techniques pour la conduite d'une campagne exploratoire de mesures de terrain »

Sur le plan analytique, le CES recommande que :

- Les protocoles sur le prélèvement et l'analyse des espèces minérales d'intérêt dans les matériaux et dans l'air établis par l'Anses soient appliqués pour ces études exploratoires. Le CES insiste sur la nécessité de réaliser une étude de faisabilité préalable aux études exploratoires permettant de tester et ajuster ces protocoles.

Il convient par ailleurs de rappeler que ces protocoles ont été élaborés dans le but de conduire les études exploratoires, et que, dans l'attente de protocoles validés, le CES recommande aux laboratoires souhaitant conduire des études sur les PMAi de s'appuyer sur ces protocoles.

Le CES rappelle que l'étude en cours sur l'« analyse des émissions en PMAi et en silice cristalline générées lors de tests d'usure soumis à des matériaux naturels en laboratoire » (Anses, BRGM, INRS, SPSE/LAFP⁶) apportera des éléments techniques complémentaires sur l'analyse des espèces minérales dans les matériaux et l'air, ainsi que des informations descriptives des PMAi notamment en termes de granulométrie, de composition chimique, de niveau d'émission, etc.

- Les méthodes de préparation et d'analyse des échantillons de matériaux naturels (prise d'essai, traitement de l'échantillon, nombre d'essais pour conclure), soient normalisées.

Au-delà de la réalisation de ces études exploratoires, le CES recommande que :

- Soient poursuivies par le BRGM les études sur les carrières de roches alluvionnaires ;
- Soit investiguée la présence d'espèces minérales d'intérêt, *y compris* les espèces d'amiante réglementaire, dans les matériaux importés (naturels ou manufacturés à partir de matériaux naturels) ;
- Soient pris en compte les résultats des études exploratoires sur l'émissivité des PMAi des matériaux pour faire évoluer, le cas échéant, la réglementation sur les matériaux importés (naturels ou manufacturés à partir de matériaux naturels) ;
- Soient investigués les matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt, *y compris* les espèces d'amiante réglementaire, et destinés à être recyclés avant leur réutilisation.

Indépendamment des études, les recommandations établies en termes d'évaluation et de prévention des risques professionnels dans la saisine « fragments de clivage » s'appliquent en l'état pour les PMAi de la présente expertise et pour l'ensemble des secteurs d'activités concernés, y compris à l'occasion des études exploratoires.

Par ailleurs, le CES rappelle que les professionnels de ces secteurs d'activité, outre l'exposition aux PMAi, peuvent être exposés à d'autres facteurs de risque particulière et/ou chimique cancérigènes avérés et notamment la silice cristalline. Le CES souligne que la mise en œuvre de dispositifs de prévention de l'exposition à la silice cristalline permet également de limiter l'exposition aux PMAi. Les recommandations qui seront établies dans le cadre des travaux d'expertise en cours à l'Anses sur la silice cristalline devront, le cas échéant, être également prises en compte.

⁶ Service Parisien de Santé Environnementale, Laboratoire Amiante Fibres et Particules (ex LEPI)

4. 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 « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » présentées ci-dessus.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Particules minérales allongées, étude de filières, protocole de mesure, étude de terrain, recherche exploratoire, chambre d'essai, PMA

Elongated mineral particles, sector analysis, measurement protocol, field study, exploratory research, test chamber, EMP

ANNEXE 1 POTENTIEL DE PRODUCTION DE PMAi EN FONCTION DE LA NATURE DES ROCHES EXPLOITÉES EN CARRIÈRES DE GRANULATS

Produits	Nature des roches exploitées	Exemples de roches concernées	Les roches exploitées sont-elles susceptibles de produire des PMAi ?
Concassés de roches massives non métamorphiques	Roches sédimentaires carbonatées et évaporitiques	Calcaires, Calcaires argileux, Calcaires crayeux, Calcaires gréseux, Dolomies, Calcaires dolomitiques, Marnes, Marno-calcaires, Gypses, Cargneules, Travertins...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi
	Roches sédimentaires détritiques	Grès, Grès calcaires, Siltites, Limons, Flysch ardoisier, Flysch calcaréo-gréseux, Flysch gréseux, Pérites, Argiles...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi
		Grès et arkoses conglomératiques, Conglomérats, Brèches, Poudingues, Molasses...	Roches pouvant contenir des éléments rocheux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas
	Roches magmatiques plutoniques	Granites et microgranites calco-alcalins, Granodiorites et tonalites à biotite, Monzogranites et leucogranites calco-alcalins, Gabbro-diorites à hornblende, Tonalites, Trondhémmites, Péridotites (non serpentinisées).	Roches ne contenant pas a priori des minéraux d'intérêt/PMAi
		Dolérites, Diorites, Gabbros, Granites et microgranites alcalins, Pegmatites alcalines, Lamprophyres alcalins...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas
	Roches magmatiques volcaniques	Rhyolites, Rhyodacites, ignimbrites et pyroclastites calco-alcalines, Basaltes non hydrothermalisés ...	Roches ne contenant pas a priori des minéraux d'intérêt/PMAi
		Rhyolites, Rhyodacites, ignimbrites et pyroclastites alcalines, Basaltes alcalins...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas

Produits	Nature des roches exploitées	Exemples de roches concernées	Les roches exploitées sont-elles susceptibles de produire des PMAi ?	
Concassés de roches massives métamorphiques	Dérivées de roches sédimentaires carbonatées	Calcaires marmoréens	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Marbres dolomitiques, Marbres à minéraux, Skarns, Cornéennes...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
	Dérivées de roches sédimentaires détritiques	Quartzites purs, Schistes, micaschistes et paragneiss silico-alumineux, Calcschistes...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Métaquartzites ferrugineux, métaarkoses, métaconglomérats...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
	Dérivées de roches magmatiques plutoniques	Orthogneiss leucocrates, Leptynites, Orthogneiss migmatitiques alumineux...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Orthogneiss alcalins, Amphibolites, Dolérites hydrothermalisées, Péridotites serpentinisées, Serpentinites, Talcschistes, Ophicalcites...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
	Dérivées de roches magmatiques volcaniques	Métarhyolites, Métarhyodacites et métaignimbrites calco-alcalines...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Chloritoschistes, Métabasaltes, Métaandésites, Métagabbros, Amphibolites...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
		Roches alluvionnaires		Potentiel de production à caractériser au cas par cas
		Roches meubles (hors alluvionnaires)		Oui potentiellement/ dépend de l'espèce minérale (les roches non consolidées peuvent être très différentes les unes des autres (éboulis plus ou moins distal, argiles d'altération plus ou moins solifluées, moraines...))
	Granulats marins		Non	

ANNEXE 2 POTENTIEL DE PRODUCTION DE PMAI EN FONCTION DE LA NATURE DES ROCHES EXPLOITÉES EN CARRIÈRES DE ROC

Domaine d'activité	Nature de roches exploitées	La roche exploitée est-elle susceptible de contenir des roches pouvant libérer des PMAi ?
Roches ornementales et de construction (ROC)	Granites	Le potentiel de production dépendra des caractéristiques minéralogiques et géochimiques du granite exploité. Ce potentiel variera donc d'une exploitation à l'autre.
	Calcaires	Non
	Marbres	Le potentiel de production dépendra des caractéristiques minéralogiques du marbre exploité et de la présence ou non d'amphibole (et/ou d'olivine serpentinisée). Ce potentiel variera donc d'une exploitation à l'autre.
	Grès	Non hors grès conglomératiques
	Schistes	Le terme de schistes est utilisé pour décrire toute roche susceptible de se débiter en feuillets. Il ne renseigne pas sur la nature même de la roche et doit donc être évité. Le potentiel de production dépendra directement de la minéralogie du schiste exploité.
	Laves	Les laves sont des roches extrêmement variées d'un point de vue géochimique et minéralogique. Pour une lave donnée, le potentiel de production dépendra directement de ses caractéristiques géochimiques et minéralogiques.
	Gneiss	Le terme de gneiss est peu précis et sert à qualifier une roche foliée présentant une alternance plus ou moins régulière entre des lits sombres, généralement riches en micas et/ou en amphiboles et des lits clairs essentiellement de nature quartzo-feldspathiques. Le potentiel de production dépendra directement de la nature des amphiboles présentes dans la roche et sera donc variable d'une exploitation à l'autre.

Particules minérales allongées

Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesures

**Saisine « 2016-SA-0034 Particules minérales allongées »
Saisine liée « 2014-SA-0196 Fragments de clivage »**

RAPPORT d'expertise collective

« Comité d'Experts Spécialisé Evaluation des risques liés aux milieux aériens »

« Groupe de travail Particules minérales allongées »

Avril 2017

Mots clés

Particules minérales allongées, étude de filières, protocole de mesure, étude de terrain, recherche exploratoire, chambre d'essai, PMA

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

Présidente

Mme Marie-Annick BILLON-GALLAND – Expert indépendant – Métrologie des fibres

Membres

M. Patrick BROCHARD – Professeur des universités, praticien hospitalier [Université Bordeaux II – Centre hospitalier universitaire de Bordeaux] – Médecine du travail, évaluation des risques sanitaires, agents polluants.

M. Stéphane DELABY – Ingénieur d'Etudes et de Recherche [Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)] – Physique des aérosols.

Mme Chantal DION – Chercheure, Prévention des risques chimiques et biologiques [Direction de la recherche et de l'expertise, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)] et Professeure adjointe de clinique [École de santé publique, Département de santé environnementale et santé du travail, Université de Montréal] – Métrologie des fibres.

Mme Céline EYPERT-BLAISON – Responsable d'études [Institut National de Recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS)] – Métrologie des fibres.

M. Didier LAHONDERE – Géologue [Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)] – Identification et caractérisation des occurrences amiantifères dans l'environnement naturel.

M. Laurent MARTINON – Ingénieur hygiéniste, directeur du Laboratoire Amiante Fibres et Particules (LAFP) [Service Parisien de Santé Environnementale, Ville de Paris] – Métrologie des fibres.

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES Evaluation des risques liés aux milieux aériens – 17 mars 2016, 16 juin 2016, 8 septembre 2016, 17 novembre 2016, 30 janvier 2017, 9 mars 2017, 6 avril 2017.

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.

Vice-présidente

Mme Séverine KIRCHNER – Directrice adjointe de la Direction santé confort (Centre scientifique et technique du bâtiment), coordinatrice de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur – Spécialités : chimie et pollution de l'atmosphère, air intérieur, expologie.

Membres

M. Gille AYMOZ – Chef de service qualité de l'air (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) - Spécialités : physico-chimie de l'atmosphère, rejets atmosphériques (démission le 24 mars 2016).

Mme Armelle BAEZA – Professeur des universités (Université Paris Diderot) – Spécialité : toxicologie.

M. Claude BEAUBESTRE – Chef de département des Activités scientifiques transversales (Service Parisien de Santé Environnementale) - Spécialités : pollution de l'air intérieur, microbiologie.

M. Olivier BLANCHARD – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique) – Spécialités : évaluation des risques sanitaires, pollution atmosphérique, qualité de l'air intérieur.

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

M. Patrick BROCHARD – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université Bordeaux II – Centre hospitalier universitaire de Bordeaux) – Spécialités : médecine du travail, évaluation des risques sanitaires, agents polluants (démission le 15 novembre 2016).

M. Denis CHARPIN – Professeur des universités, praticien hospitalier (Aix Marseille Université) – Spécialités : médecine, agents polluants et allergènes, épidémiologie des risques liés à l'environnement.

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

Mme Emilie FREALLE – Praticien hospitalier (Centre hospitalier régional universitaire de Lille) – Spécialités : Ecologie 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.

M. Eddy LANGLOIS – Ingénieur, responsable de laboratoire (Institut national de recherche et de sécurité) – Spécialités : métrologie des polluants, air des lieux de travail (santé travail), surveillance et méthodes d'analyse.

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

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

M. Loïc PAILLAT – Ingénieur, responsable technique (Laboratoire Central de la Préfecture de Police) – Spécialités : métrologie des polluants, air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail.

Mme Mathilde PASCAL – Chargée de projets (Institut de veille sanitaire) – Spécialités : épidémiologie, santé environnement, air et climat (démission le 2 janvier 2017).

M. Emmanuel RIVIERE – Directeur adjoint (Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace) – Spécialités : Méthode d'analyse et de surveillance, modélisation des émissions, évaluation de l'exposition.

Mme Sandrine ROUSSEL – Ingénieur hospitalier (Centre hospitalier régional universitaire de Besançon) – Spécialités : microbiologie, pathologies respiratoires et allergiques, microorganisme de l'environnement.

M. Rémy SLAMA – Directeur de recherche (Inserm, Institut national de la santé et de la recherche médicale) – Epidémiologie environnementale, reproduction et fertilité, santé des enfants, pollution atmosphérique, milieux aériens et environnement, perturbateurs endocriniens.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Mme Emmanuelle DURAND – Chargée de projets scientifiques, Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

Mme Amandine PAILLAT – Chef de projets scientifiques, Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

M. Guillaume BOULANGER – Adjoint au chef de l'Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

Contribution scientifique

Mme Emmanuelle DURAND – Chargée de projets scientifiques, Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

Mme Amandine PAILLAT – Chef de projets scientifiques, Unité d'évaluation des risques liés à l'air - Anses

M. Guillaume BOULANGER – Adjoint au chef de l'Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

Mme Dominique BRUNET – Chef du pôle Usages, substitution, exposition, Unité d'évaluation des substances chimiques - Anses

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Membres de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) et de l'Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF) (audition le 27 mai 2016) :

M. Pierre CALVIN (Colas – FNTP)

M. Richard LANGLET (FNTP)

M. Franck OLLIVIER (Véolia – FNTP)

M. Jean-Baptiste de PREMARE (USIRF)

Membres de l'Union nationale des industries minières et des carrières (UNICEM) (audition le 30 mai 2016) :

M. Jacques BENHARROUS (SNROC)

M. Igor BILIMOFF (UNICEM)

Mme Sophie DECREUSE (UNPG)

M. Mathieu HIBLOT (UNPG)

M. Jean-Marc POTIER (SNBPE)

M. Christophe JOZON (UNPG)

Mme Pascale MICHEL – Correspondante scientifique, Appui aux politiques. Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) (audition le 30 mai 2016)

Membres du syndicat des Carrières Indépendantes du Grand Ouest (CIGO) (audition le 31 mai 2016) :

M. Philippe CUNIN (CEREMIN)

M. Christian LECLoux (Cholet TP)

Membres de l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTP) (audition le 31 mai 2016) :

Mme Isabelle MONNERAIS

M. Dominique PAYEN

M. Patrick RICHARD

Mme Nathalie Guiomar – Responsable technique amiante ITGA (audition le 28 juin 2016)**M. Maxime Misseri - Docteur en minéralogie, expert en identification des fibres minérales (AdLab) (audition le 28 juin 2016)****Membre du Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB) (audition le 6 juillet 2016) :**

M. Philippe FRANCISCO

Membre de la Fédération de l'Industrie du Béton (FIB) (audition le 6 juillet 2016) :

M. Marc LAINE

Membres de la Fédération Française du Bâtiment (FFB) (audition le 8 juillet 2016) :

M. Julien BEIDELER

Mme Carole PANOZZO

M. Alexandre PRENTIGNAC

Membres du Syndicat National des Entreprises de Démolition (SNED) (audition le 8 juillet 2016) :

M. Alberto DOS-SANTOS

M. Sébastien SUREAU

M. Etienne VIEILLE

Membres du Syndicat des Recycleurs du Bâtiment et des Travaux Publics (SRBTP) (audition le 30 août 2016) :

Mme Nolwenn COMTE

Mme Nathalie DEBAILLE-SIDOS

M. Jean-Luc BOULMIER- Docteur d'État ès Sciences Physiques, retraité, ex Adjoint au chef de service Métrologie, Monitoring, Analyse du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) (audition le 6 septembre 2016)**Membres de la Direction de la Voirie et des Déplacements de la Ville de Paris (audition le 14 octobre 2016) :**

M. Kamel BAHRI

M. Damien BALLAND

M. Jérôme LEFEBVRE

Membres du syndicat des MIF (Minéraux Industriels de France) (audition le 7 novembre 2016) :

M. Philippe CUNIN (MIF)

Mme Corinne CUISINIER (Sibelco Europe)

Mme Jocelyne FERRET (Imerys)

M. Jean-Michel NEGRONI (Imerys)

Mme Sandra RIMEY (MIF)

Membres du groupe de travail « Opérateurs » (audition le 5 janvier 2017) :

M. Jeremie ALMOSNI (GRDF)

M. Pascal BARY (Orange)

M. Manuel CORZA (Orange)

M. Denis DUFOUR (GRDF)

Mme Marie-Antoinette KHAN (Orange)

Membres d'agglomérations *potentiellement* confrontées à la problématique des PMA (audition le 13 janvier 2017) :

M. Marc COURBOT (Lille Métropole)

M. Jean-Marc LERIDAN (Lille Métropole)

Mme Aurore RAMAUGE (Rennes Métropole)

M. Francis BELOT (Rennes Métropole)

Mme Sandra TALLUR (Rennes Métropole)

M. Philippe GALLOT (Nantes Métropole)

M. Kamel BAHRI (Ville de Paris)

M. Damien BALLAND (Ville de Paris)

M. Georges CORNU (Métropole du Grand Nancy)

CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

Extraction des bases de données Colchic et Scola de l'INRS : Données relatives aux PMA (2016)

Extraction de la base de données DGS : Données relatives aux PMA (2016)

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations	12
Liste des tableaux.....	14
Liste des figures	15
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	16
1.1 Contexte.....	16
1.2 Objet de la saisine.....	17
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	17
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.	18
2 Définitions et terminologie	19
3 Secteurs d'activités potentiellement concernés par la problématique des PMAi en France	25
3.1 Généralités, méthode de travail et objectifs.....	25
3.2 Généralités et occurrences des espèces minérales ciblées en France	26
3.2.1 Composition chimique des espèces minérales ciblées dans la saisine	27
3.2.1.1 Espèces minérales ciblées dans la saisine	27
3.2.1.2 Proximité d'autres espèces minérales.....	30
3.2.2 Occurrence des espèces minérales en France	31
3.2.3 Occurrence des espèces minérales à l'étranger	32
3.3 Secteur des industries productrices de matériaux naturels : les carrières	33
3.3.1 Généralités sur les carrières en France.....	33
3.3.2 Présence potentielle d'amphiboles amiantes dans les carrières – études du BRGM.....	35
3.3.3 Les carrières de granulats	38
3.3.3.1 Généralités sur les carrières de granulats.....	38
3.3.3.2 Production, importation et exportation des granulats	44
3.3.3.3 Contrôle et traçabilité des granulats.....	46
3.3.3.4 Transport des granulats	46
3.3.3.5 Utilisation des granulats	47
3.3.3.6 Activités susceptibles de générer des PMAi.....	49
3.3.4 Les carrières de roches ornementales et de construction (ROC) et les industries utilisatrices	49
3.3.4.1 Généralités sur les carrières de ROC.....	49
3.3.4.2 Production nationale de ROC, importations / exportations	53
3.3.4.3 Contrôle et traçabilité des ROC.....	53
3.3.4.4 Transport des ROC	53
3.3.4.5 Utilisation des ROC	55
3.3.4.6 Elimination et recyclage des ROC.....	57
3.3.4.7 Activités/opérations susceptibles de générer des PMAi	57
3.3.5 Les carrières de roches et minéraux industriels	58
3.3.5.1 Généralités sur les carrières de roches et minéraux industriels	58
3.3.5.2 Utilisation des roches et minéraux industriels.....	60
3.4 Cas des mines et des gîtes géothermiques	61
3.5 Les secteurs des Travaux Publics (TP) et du Bâtiment et des Travaux Publics (BTP)	64

3.5.1	Généralités sur les secteurs des TP et du BTP	64
3.5.2	Industrie routière	66
3.5.2.1	Généralités sur les enrobés routiers et sur le réseau routier en France	66
3.5.2.2	Production d'enrobés et de bitume routiers	68
3.5.2.3	Activités/opérations susceptibles de générer des PMAi	68
3.5.3	Industries du béton et de la démolition	68
3.5.3.1	Généralités sur les bétons	68
3.5.3.2	Production nationale de bétons, importations/exportations	71
3.5.3.2.1	<i>Bétons prêts à l'emploi</i>	71
3.5.3.2.2	<i>Produits en béton préfabriqués</i>	72
3.5.3.3	Contrôle et traçabilité des bétons	73
3.5.3.4	Transport des bétons	73
3.5.3.4.1	<i>Bétons prêts à l'emploi</i>	73
3.5.3.4.2	<i>Produits en béton préfabriqués</i>	73
3.5.3.5	Utilisation des bétons	74
3.5.3.5.1	<i>Bétons prêts à l'emploi</i>	74
3.5.3.5.2	<i>Produits en béton préfabriqués</i>	74
3.5.3.6	Démolition, élimination et recyclage des bétons	75
3.5.3.7	Activités/opérations susceptibles de générer des PMAi	75
3.5.3.7.1	<i>Bétons prêts à l'emploi</i>	75
3.5.3.7.2	<i>Produits en béton préfabriqués</i>	76
3.5.4	Les autres secteurs des TP	77
3.6	Secteur des déchets et du recyclage.....	78
3.6.1	Généralités sur le recyclage des déchets de TP	78
3.6.2	Etude du BRGM sur les gisements de déchets d'amiante et les filières de traitement disponibles	79
3.6.3	Elimination et recyclage des enrobés routiers	79
3.7	Les autres secteurs hors TP / BTP	80
3.8	Conclusion.....	80
4	Données d'émission et d'exposition aux PMAi.....	81
4.1	Revue de la littérature	81
4.2	Données carrières	86
4.2.1	Données lithographiques/pétrographiques/minéralogiques	86
4.2.2	Mesures d'empoussièrement.....	87
4.2.2.1	Observations générales	87
4.2.2.2	Résultats	88
4.3	Bases de données Colchic et Scola.....	89
4.4	Bases de données DGS	90
4.5	Projet CARTO Amiante	91
4.6	Données transmises lors des auditions	92
4.7	Conclusion.....	92
5	Protocole de mesures exploratoires des espèces minérales dans les matériaux susceptibles de libérer des PMAi.....	94
5.1	Objectif du protocole	94
5.2	Mesures de protection à mettre en œuvre.....	95
5.3	Stratégie d'échantillonnage et de prélèvement.....	95
5.3.1	Milieu naturel (matériaux cohérents ou matériaux meubles ou pulvérulents)	95
5.3.2	Granulats.....	95
5.3.3	Matériaux manufacturés	96

5.3.4	Feuille de prélèvement.....	96
5.4	Conditionnement et transport des échantillons.....	97
5.5	Préparation des échantillons.....	97
5.5.1	Observation macroscopique préliminaire	97
5.5.2	Réalisation de lames pour une observation en Microscopie Optique à Lumière Polarisée (MOLP)....	97
5.5.2.1	Matériaux naturels cohérents	97
5.5.2.2	Matériaux naturels meubles ou pulvérulents et matériaux manufacturés.....	97
5.5.3	Préparation en vue d'une analyse Microscopie électronique à transmission analytique (META)	98
5.6	Analyse : Identification des minéraux ciblés	99
5.6.1	Stratégie analytique	99
5.6.2	Identification sur lames minces en MOLP – Analyses en microsonde électronique	100
5.6.2.1	Matériaux naturels cohérents	100
5.6.2.2	Matériaux naturels meubles ou pulvérulents ou matériaux manufacturés	100
5.6.3	Analyses en META	100
5.7	Rapport d'essai	104
6	Protocole de mesures exploratoires de PMAi dans l'air	105
6.1	Objectif du protocole	105
6.2	Mesures de protection à mettre en œuvre.....	105
6.3	Stratégie d'échantillonnage et de prélèvement.....	105
6.3.1	Mesures individuelles.....	105
6.3.2	Mesures à point fixe.....	106
6.3.3	Feuille de prélèvement.....	106
6.4	Conditionnement et transport des échantillons.....	106
6.5	Préparation des échantillons.....	106
6.6	Analyse	107
6.6.1	Sensibilité analytique à atteindre	107
6.6.2	Comptage	107
6.6.3	Critères d'arrêt de comptage	109
6.7	Rapport d'essai	109
6.8	Variante : mesure des retombées atmosphériques	111
7	Cahier des charges techniques pour la réalisation d'une étude en laboratoire afin d'évaluer les émissions en PMAi générées lors de sollicitations mécaniques de matériaux de construction.....	113
7.1	Objectif du protocole	113
7.2	Mesures de protection à mettre en œuvre.....	113
7.3	Démarche expérimentale.....	113
7.4	Protocole d'essai.....	114
7.4.1	Formulation des éprouvettes	114
7.4.1.1	Provenance et caractérisation des granulats en amont.....	114
7.4.1.2	Choix de la formulation.....	115
7.4.1.3	Préparation et dimensionnement.....	115
7.4.2	Description du banc d'essai	115
7.4.2.1	Dimensions et agencement du banc d'essai	115
7.4.2.2	Aérodynamique du banc d'essai	118

7.4.2.3	Suivi des conditions environnementales	118
7.4.3	Dispositif de prélèvement des particules émises.....	118
7.4.4	Ajustement des conditions opératoires.....	119
7.4.5	Essais de sollicitation mécanique	119
7.4.5.1	Installation du matériel dans le banc	119
7.4.5.2	Mesure du bruit de fond particulaire	119
7.4.5.3	Essai de sollicitation mécanique et prélèvement des particules émises.....	119
7.4.5.4	Retrait du matériel.....	120
7.4.5.5	Décontamination de la boîte à gants	120
7.4.5.6	Transport des échantillons	120
7.4.5.7	Analyse des prélèvements d'air et de poussières déposées.....	120

8	Cahier des charges techniques pour la conduite d'une campagne exploratoire de mesures de terrain.....	121
8.1	Objectifs de la campagne de mesures exploratoire	121
8.2	Logistique.....	121
8.3	Choix des sites/activités à investiguer	122
8.4	Déroulement des mesures.....	129
8.5	Mesures de protection à mettre en œuvre.....	129
9	Conclusions du groupe de travail	130
10	Recommandations	134
11	Bibliographie.....	136
11.1	Publications.....	136
11.2	Normes et méthodes d'analyse.....	138
11.3	Législation et réglementation.....	139
ANNEXES	140
Annexe 1	: Lettre de saisine.....	141
Annexe 2	: Suivi des actualisations du rapport.....	144
Annexe 3	: Représentation des types de fibres d'amiante selon leurs caractéristiques dimensionnelles (d'après Afsset, 2009a).....	145
Annexe 4	: Représentation des différentes morphologies asbestiformes et non asbestiformes (d'après Campbell <i>et al.</i> 1977)	146
Annexe 5	: Questionnaire thématique pour la conduite des auditions	147
Annexe 6	: Activités potentiellement concernées par la problématique des PMAi selon la nomenclature d'activités française (NAF).....	152
Annexe 7	: Compositions des pôles purs pour les différentes amphiboles d'intérêt, avec répartition des différents cations dans les sites A, B, C et T (d'après Hawthorne <i>et al.</i> 2012.....	154
Annexe 9	: Localisation des espèces minérales d'intérêt à l'étranger.....	158

Sigles et abréviations

AFNOR : Association Française de NORmalisation

AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

APR : Appareil de Protection Respiratoire

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agence pour le Registre des Substances Toxiques et des Maladies, USA)

BPE : Béton Prêt à l'Emploi

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CARSAT : Caisse d'Assurance Retraite et de la Santé au Travail

CAS : Chemical Abstract Service

CEREMA : Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CERIB : Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton

CES : Comité d'Experts Spécialisé

CIGO : Syndicat des Carrières Indépendantes du Grand Ouest

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer (IARC en anglais)

CRD : Convention de Recherche et Développement

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques

DGS : Direction Générale de la Santé

DGT : Direction Générale du Travail

DIMENC : Direction des Mines et de l'énergie de Nouvelle-Calédonie

DROM : Départements et Régions d'Outre Mer

EDS ou EDX : Energy dispersive X-ray spectrometry (Analyse dispersive en énergie)

EPI : Equipements de Protection Individuelle

FCA : Fibre Courte d'Amiante

FESEM : Field Emission Scanning Electron Microscopy (Microscopie électronique à balayage à effet de champ)

FFA : Fibre Fine d'Amiante

FFB : Fédération Française du Bâtiment

FIB : Fédération des Industries du Béton

FNTF : Fédération Nationale des Travaux Publics

GB : Grave de Bitume

GES : Groupe d'Exposition Similaire

GRDF : Gaz Réseau Distribution France

GT : Groupe de Travail

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

IMA : International Mineralogical Association (Association internationale de minéralogie)

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale

IRSST : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (Québec)

ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes

LAFP : Laboratoire Amiante Fibres et Particules (ex LEPI : Laboratoire d'Etude des Particules Inhalées)

LEM : Laboratoire d'Essai des Matériaux

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie

META : Microscopie Electronique à Transmission Analytique

MIF : Minéraux Industriels France

MOCP : Microscopie Optique à Contraste de Phase

MOLP : Microscopie Optique à Lumière Polarisée

NAF : Nomenclature des Activités Françaises

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health (Institut national pour la sécurité et la santé au travail, USA)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OPPBTP : Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics

PER : Permis Exclusif de Recherche

PME : Petite et Moyenne Entreprise

PMA : Particule Minérale Allongée

PMAi : Particule Minérale Allongée issue d'espèce minérale d'Intérêt

RAT : Repérage Avant Travaux

RATP : Régie Autonome des Transports Parisiens

RGIE : Règlement Général des Industries Extractives

ROC : Roches Ornementales et de Construction

SNBPE : Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi

SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer Français

SNED : Syndicat National des Entreprises de la Démolition

SNROC : Syndicat National des Industries de Roches Ornementales et de Construction

SPEGNN : Syndicat Professionnel des Entreprises Gazières Non Nationalisées

SPSE : Service Parisien de Santé Environnementale

SRBTP : Syndicat des Recycleurs du BTP

TP : Travaux Publics

ULSB : Union des Laboratoires de Santé du Bâtiment

UNICEM : Union Nationale des Industries des Carrières et Matériaux de Construction

UNPG : Union Nationale des Producteurs de Granulats

US-EPA : United-States Environmental Protection Agency (Agence de protection de l'environnement, USA)

USIRF : Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française

VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

VRD : Voirie et Réseaux Divers

Liste des tableaux

Tableau 1 : Minéraux amiantes et leurs homologues non amiantes : composition chimique et numéro CAS 20	
Tableau 2 : Intervalles de composition en poids d'oxydes pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles (d'après Hawthorne <i>et al.</i> 2012)	29
Tableau 3 : Potentiel de production de PMAi en fonction de la nature des roches exploitées en carrières de granulats	42
Tableau 4 : Production nationale de granulats par type de roche exploitée en 2014 (d'après audition de l'Unicem, 2016)	44
Tableau 5 : Chiffres d'affaire des industries de granulats en 2004, 2013 et 2014 (d'après audition de l'Unicem, 2016)	45
Tableau 6 : Potentiel de production de PMAi en fonction de la nature des roches exploitées en carrières de ROC	51
Tableau 7 : Répartition des différents types de TP (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016)	65
Tableau 8 : Production française annuelle d'enrobés et de bitume routiers en 2013, 2014 et 2015 (Usirf, 2015)	68
Tableau 9 : Répartition en masse et en volume des différents constituants du béton (d'après audition du Cerib, 2016)	70
Tableau 10 : Production nationale annuelle de BPE (2010-2014) (d'après audition de l'Unicem, 2016)	71
Tableau 11 : Production régionale de BPE en 2014 (d'après audition de l'Unicem, 2016)	72
Tableau 12 : Activités susceptibles de générer des PMAi dans les différents secteurs de TP	77
Tableau 13 : Synthèse des études identifiées dans la littérature relative aux émissions et expositions potentielles aux PMAi (date de publication 2015 à juillet 2016)	83
Tableau 14 : Classement des 49 carrières jugées prioritaires au regard de l'aléa amiante (source BRGM)	87
Tableau 15 : Nombre de mesures disponibles dans Scola concernant les fibres d'amiante amphibole (juillet 2012-décembre 2015)	90
Tableau 16 : Stratégies analytiques en fonction de la nature du matériau	99
Tableau 17 : Exemple de fiche d'analyse META dans les matériaux	102
Tableau 18 : Critères de rendu des résultats de l'analyse META	103
Tableau 19 : Critères morphologiques pour description des PMAi	107
Tableau 20 : Exemple de fiche d'analyse META dans l'air	108
Tableau 21 : Synthèse des résultats d'analyse META dans l'air	110
Tableau 22 : Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant	115
Tableau 23 : Critères de sélection des sites et activités à investiguer pour la campagne exploratoire de terrain	123

Liste des figures

Figure 1 : Répartition des carrières en France métropolitaine	34
Figure 2 : Représentation schématique de l'activité d'une carrière de roches massives (d'après audition de l'Unicem, 2016)	38
Figure 3 : Représentation schématique de l'activité d'une carrière de roches meubles (d'après audition de l'Unicem, 2016)	39
Figure 4 : Localisation des carrières de roches massives et meubles en France métropolitaine	40
Figure 5 : Evolution de la production de granulats en France de 1995 à 2014 (en millions de tonnes) (d'après audition de l'Unicem, 2016)	45
Figure 6 : Usages des granulats par nature de matériaux (d'après audition de l'Unicem, 2016)	48
Figure 7 : Usage des granulats par nature d'ouvrages (d'après audition de l'Unicem, 2016)	48
Figure 8 : Répartition géographique des sites d'extraction de ROC (BRGM, 2014)	50
Figure 9 : Répartition géographique des sites d'extraction de ROC (Unicem, 2014)	52
Figure 10 : Usages des ROC par secteur (toutes pierres confondues) (d'après audition de l'Unicem, 2016)	55
Figure 11 : Usages des ROC par secteur en fonction du matériau exploité (BRGM, 2014)	57
Figure 12 : Répartition géographique des sites d'extraction de roches et minéraux industriels	59
Figure 13 : Répartition géographique de l'activité minière en France en 2015 (BRGM, 2015)	62
Figure 14 : Répartition des différents types de béton en fonction de leur fluidité et de leur résistance à la compression (d'après audition du Cerib, 2016)	70
Figure 15 : Utilisation des BPE par type d'ouvrages (d'après audition de l'Unicem, 2016)	74
Figure 16 : Typologie des matériaux en fonction de leur nature et provenance	94
Figure 17 : Stratégie analytique pour l'identification des espèces minérales	99
Figure 18 : Stratégie analytique en META	101
Figure 19 : Exemple de représentation graphique des résultats d'analyse META dans l'air	111
Figure 20 : Démarche expérimentale pour l'étude en laboratoire	114
Figure 21 : Schéma de principe du banc de caractérisation des PMAi émises lors de sollicitations mécaniques d'éprouvette de béton	117

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

1.1 Contexte

L'Anses a été saisie le 17 février 2016 par la Direction Générale du Travail (DGT), la Direction Générale de la Santé (DGS) et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) sur la question de l'exposition des populations professionnelle et générale aux Particules Minérales Allongées (PMA) lors de la sollicitation de matériaux naturels ou manufacturés.

Cette saisine fait suite aux conclusions des précédents travaux de l'Anses sur les « effets sanitaires et l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrières » (Anses, 2015). En l'état actuel des connaissances sur ces effets sanitaires et en raison des incertitudes et des difficultés liées à la caractérisation et à la différenciation de ces fragments de clivage par les méthodes d'analyse de routine, il n'y a pas lieu de distinguer les 5 amphiboles asbestiformes réglementaires des fragments de clivage de leurs homologues non asbestiformes répondant aux critères dimensionnels des fibres « OMS » ($L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$).

Cette première expertise a également mis en évidence des effets sanitaires pour d'autres amphiboles calciques et calco-sodiques, présentes sous forme de mélange de particules asbestiformes et non asbestiformes : la fluoro-édénite, classée agent cancérigène pour l'Homme par le CIRC en novembre 2014 (groupe I) ainsi que la winchite et la richtérite, constituants majoritaires des amphiboles de Libby, classées cancérigènes pour l'Homme par l'US EPA en décembre 2014 (IARC, 2014 ; US EPA, 2014).

Au vu de ces conclusions, l'Anses a recommandé, notamment :

1. Que le terme de « **particules minérales allongées** » (PMA) soit employé pour décrire les particules minérales ayant un rapport d'allongement supérieur à 3, sans tenir compte de leur caractère asbestiforme ou non asbestiforme.
2. Que les préconisations de la réglementation amiante s'appliquent aux PMA ($L/D > 3$; $L > 5 \mu\text{m}$; $D < 3 \mu\text{m}$) :
 - a. Des **5 amphiboles asbestiformes réglementaires et leurs homologues non asbestiformes** (actinolite-amiante/actinolite ; anthophyllite-amiante/anthophyllite ; trémolite-amiante/trémolite ; amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite) ;
 - b. De **winchite, richtérite et fluoro-édénite**, compte tenu des effets sanitaires similaires à ceux de l'amiante mis en évidence pour ces espèces minérales ;
 - c. D'**érionite**, classée agent cancérigène pour l'Homme (cat. I) par le CIRC.

L'Anses a également souligné qu'en dehors des carrières, d'autres professionnels du secteur des travaux publics en environnement naturel ou mettant en œuvre des matériaux manufacturés à partir de matériaux naturels pouvaient également être exposés à ces PMA.

De ce fait, la question des expositions pour les travailleurs et la population générale aux PMA de ces espèces minérales est posée, dans ou à proximité des carrières d'extraction de ces granulats, dans ou à proximité des lieux où ces granulats seraient identifiés et seraient l'objet de travaux, et à l'occasion des travaux sur immeubles ou ouvrages publics dans lesquels ils pourraient être présents.

1.2 Objet de la saisine

Dans ce contexte, les demandes formulées dans la saisine étaient les suivantes :

1/ Réaliser une étude de filières visant à acquérir des données sur les usages des granulats extraits des carrières en France (volume de production, type d'ouvrages auxquels ils sont incorporés, tonnages, distance de transport des granulats par rapport aux carrières, importation/exportation, etc.) et les autres secteurs des travaux publics potentiellement concernés par la problématique des PMA en France. Cette étude s'attachera aussi à identifier d'éventuels usages anciens pouvant conduire à l'exposition résiduelle des travailleurs et de la population ;

2/ Réaliser une revue des nouvelles données éventuellement disponibles sur la présence des PMA dans les matériaux, leurs émissions depuis ces matériaux et les expositions en résultant ;

La réalisation de ces travaux portera spécifiquement sur les PMA des espèces suivantes : **actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, ériomite, chrysotile et antigorite**. Les PMA de ces espèces minérales sont dénommées PMA d'intérêt (**PMAi**) dans la suite du rapport.

3/ Proposer les grandes lignes d'une étude en laboratoire sur l'émission potentielle de ces PMA associées aux interventions (perçement...) sur les matériaux de construction identifiés au cours de la première phase de l'expertise. Ces matériaux seront élaborés pour l'étude avec des granulats susceptibles d'émettre des PMAi et soumis à différentes sollicitations en chambre en vue d'évaluer les empoussièrtements générés ;

4/ Proposer les grandes lignes d'une campagne de mesures centrées sur ces PMA en décrivant les secteurs et les activités professionnelles à investiguer ou les sites géographiques pour la population générale. L'Anses examinera également les possibilités de réanalyse de filtres de prélèvements d'ores et déjà existants permettant de répondre aux questions posées.

Les questions 3 et 4 incluent la proposition des grandes lignes d'un protocole de mesurage des PMA dans l'air et les matériaux.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « Particules Minérales Allongées », rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » l'instruction de cette saisine.

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 GT 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 Définitions et terminologie

La définition des particules minérales étudiées dans cette saisine est différemment exprimée, selon le contexte, ce qui peut conduire à des confusions ou à des interprétations erronées. Ainsi, la terminologie n'est pas utilisée de façon uniforme selon les différentes disciplines concernées par la problématique (minéralogie, géologie, expologie, épidémiologie, toxicologie, médecine du travail) et les organismes internationaux (Anses, 2015). En effet, certains termes s'appuient sur des critères morphologiques, tandis que d'autres relèvent de l'origine et du processus de formation géologique des particules minérales. Cette variabilité terminologique est à l'origine de difficultés d'interprétation et de comparaison des résultats des études relatives aux fragments de clivage ou à l'amiante en général. De ce fait, les termes, tels que rapportés dans les différentes études citées dans ce rapport, sont indiqués entre guillemets.

Amiante

L'amiante est un terme commercial qui décrit six minéraux naturels, des silicates hydratés, répartis en deux groupes : les serpentines et les amphiboles. Sa valeur commerciale lui est conférée par différentes propriétés particulières, telles que : faible conductivité électrique et thermique, bonne stabilité chimique, durabilité, haute résistance à la traction, flexibilité, etc. Il existe une certaine confusion associée à la terminologie « amiante » entretenue par les difficultés d'identification des différentes fibres. En effet, plusieurs silicates peuvent se présenter sous deux formes : asbestiforme et non asbestiforme. Le tableau ci-dessous donne la liste des six minéraux silicatés asbestiformes réglementés en tant qu'amiante et celle de leurs homologues non asbestiformes et donc non concernés par la réglementation sur l'amiante, avec leurs compositions chimiques et leurs numéros CAS. Dans le groupe des amphiboles, les formes asbestiformes et non asbestiformes de la trémolite, de l'actinolite et de l'anthophyllite ne portent pas un nom différent; c'est pourquoi, dans différents textes, le terme amiante ou asbestiforme est ajouté au nom du minéral. Le minéral asbestiforme et son équivalent non asbestiforme ont la même composition chimique, mais ils diffèrent par leur mode de croissance cristalline, « unidimensionnel » pour les minéraux asbestiformes et « tridimensionnel » pour les minéraux non asbestiformes.

Tableau 1 : Minéraux amiantes et leurs homologues non amiantes : composition chimique et numéro CAS

Variétés amiantes (N° CAS)	Composition chimique	Variétés non amiantes (N° CAS)
Groupe des serpentines		
Chrysotile (12001-29-5)	[Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄]	Antigorite (12135-86-3) Lizardite (12161-84-1)
Groupe des amphiboles		
Amiante actinolite (77536-66-4)	[Ca ₂ (Mg,Fe ²⁺) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂]	Actinolite (13768-00-8)
Amiante anthophyllite (77536-67-5)	[(Mg, Fe ²⁺) ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂]	Anthophyllite (17068-78-9)
Amiante trémolite (77536-68-6)	[Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂]	Trémolite (14567-73-8)
Amosite (12172-73-5)	[(Mg, Fe ²⁺) ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂]	Grunerite (14567-61-4)
Crocidolite (12001-28-4)	Na ₂ (Fe ²⁺ ,Mg) ₃ Fe ³⁺ ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Riébeckite (17787-87-0)

Ainsi, en Europe, le terme amiante fait référence aux fibres asbestiformes.

Dans son rapport d'expertise de 2009, l'Anses définit également (Afsset, 2009) :

- Les fibres courtes d'amiante (FCA) : Longueur (L) < 5µm, Diamètre¹ (D) < 3 µm et rapport d'allongement (L/D)² ≥ 3.
- Les fibres fines d'amiante (FFA) : Longueur (L) ≥ 5 µm, Diamètre (D) < 0,2 µm et rapport d'allongement (L/D) ≥ 3.

La représentation des types de fibres d'amiante selon leurs caractéristiques dimensionnelles est disponible en annexe 3.

Amiantifère

Qui contient des fibres d'amiante.

Matériau amiantifère

Matériau qui contient des fibres d'amiante. Aujourd'hui, il n'existe pas de seuil en France pour déclarer un matériau amiantifère. D'autres pays ont fixé un seuil de gestion entre 0,1 % et 1 % en masse pour déclarer un matériau amiantifère (Anses, 2015).

Amphiboles

Famille de silicates en chaîne, ou inosilicates, dont la composition chimique peut être représentée par AB₂C₅T₈O₂₂W₂, où A peut être Na, K, Ca, Pb ou Li ; B peut être Na, Ca, Mn²⁺, Fe²⁺, Mg ou Li ; C peut être Mg, Fe²⁺, Mn²⁺, Al, Fe³⁺, Mn³⁺, Cr³⁺, Ti⁴⁺ ou Li ; T peut être Si, Al, Ti⁴⁺, Be ;

¹ Les termes diamètre, largeur et épaisseur sont utilisés indifféremment dans le rapport.

² Le terme rapport L/D est souvent remplacé par : rapport d'allongement, rapport d'élongation ou aspect ratio (AR).

et W peut être OH, F, Cl, O^{2-} (Hawthorne *et al.* 2012) Les amphiboles sont classées en fonction de leur composition chimique : ferromagnésiennes, calciques, calco-sodiques, sodiques.

Fibre³

Une fibre se définit comme une particule ayant un rapport longueur/diamètre (L/D) supérieur à 3, et des côtés approximativement parallèles. Le rapport L/D > 3 est essentiellement basé sur un consensus établi par les hygiénistes. Les minéralogistes préfèrent souvent utiliser un rapport de 5, voire de 10, pour caractériser une fibre (Inserm, 1999).

Fibre OMS (Organisation Mondiale de la Santé) : Les caractéristiques des fibres prises en compte pour la mesure de la concentration en nombre de fibres dans l'air par microscopie optique à contraste de phase (MOCP) sont définies par une méthode OMS de référence (OMS, 1998). La fibre se présente comme une particule solide, naturelle ou artificielle, allongée à bords parallèles, ayant un diamètre inférieur à 3 μm , une longueur supérieure à 5 μm et un rapport d'allongement supérieur à 3. Notons que la résolution du microscope optique limite l'observation à des fibres de diamètre supérieur à 0,2 μm .

Fibre réglementaire : Dans l'air, en France, l'arrêté du 19 août 2011 et l'arrêté du 14 août 2012⁴ fixent respectivement les modalités de réalisation des mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante dans les immeubles bâtis et les conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement et du contrôle du respect de la Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP) aux fibres d'amiante. Pour l'application de ces arrêtés, sont prises en compte « toutes les fibres d'amiante dont la longueur est supérieure à 5 microns, la largeur est inférieure à 3 microns et dont le rapport longueur sur largeur est supérieur à 3 » ($L > 5 \mu\text{m}$; $D < 3 \mu\text{m}$; $L/D > 3$). L'analyse des prélèvements est réalisée en microscopie électronique à transmission analytique (META), selon la norme NF X 43-050 de janvier 1996 relative à la détermination de la concentration en fibres d'amiante par META.

Aucun document ne fixe les critères dimensionnels à prendre en compte pour qualifier la présence de fibres d'amiante dans les matériaux.

Autres définitions d'une fibre : Les critères dimensionnels considérés pour la définition des fibres varient selon les pays et organismes consultés, et selon les méthodes analytiques utilisées (Anses, 2015).

Asbestiforme

Le terme asbestiforme fait référence à une morphologie (faciès)⁵ provenant d'une cristallisation naturelle et unidimensionnelle d'un minéral donnant des fibres ayant l'apparence de cheveux (fibres longues et filiformes). Cette morphologie confère au minéral des caractéristiques particulières dont un rapport d'allongement élevé, et dans certains cas, des propriétés mécaniques accrues (dont la résistance, la flexibilité et la durabilité). Ces fibres sont rassemblées dans des agglomérats ou des faisceaux pouvant facilement se séparer en plus petites fibres (fibrilles). Cet effet est à la base de la terminologie « poly-filamenteux » qui correspond à la caractéristique la plus importante de l'amiante (MSHA, 2005). Quand une pression est appliquée sur une fibre asbestiforme, elle plie plutôt qu'elle ne se brise. Le terme asbestiforme n'a pas été défini pour des besoins réglementaires. Il dépend du processus de croissance du cristal.

³ Selon les définitions, il est indiqué que le rapport d'allongement doit être strictement supérieur ou supérieur ou égal à 3. Un rapport d'allongement strictement supérieur à 3 est retenu par le GT, conformément à la définition réglementaire d'une fibre.

⁴ Arrêté du 19 août 2011 relatif aux modalités de réalisation des mesures d'empoussièrement dans les immeubles bâtis.

Arrêté du 14 août 2012 relatif aux conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement, aux conditions de contrôle du respect de la valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante et aux conditions d'accréditation des organismes procédant à ces mesurages.

⁵ Le terme morphologie se rapporte habituellement aux fibres et le terme faciès aux roches.

L'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) a recommandé en 1993 une définition de la morphologie d'un minéral asbestiforme (traduction libre)⁶(EPA, 1993) :

« Un minéral qui est comme l'amiante, c'est-à-dire cristallisé dans une morphologie d'amiante. Certains minéraux asbestiformes peuvent ne pas avoir les qualités qui donnent à l'amiante sa valeur commerciale, telles que la longueur des fibres et la haute résistance à la traction. En microscopie optique, la morphologie asbestiforme est généralement reconnue par les caractéristiques suivantes :

- Le rapport d'allongement (longueur/diamètre) varie de 20:1 à 100:1 (ou supérieur pour des fibres de longueur supérieure à 5 µm). Les rapports d'allongement doivent être déterminés pour les fibres et non pour les faisceaux ;
- Fibrilles très fines, (diamètre inférieur à 0,5 µm) ;
- Deux caractéristiques ou plus parmi les suivantes :
 - Fibres parallèles regroupées en faisceaux ;
 - Faisceaux de fibres avec des extrémités effilochées ;
 - Agglomérats de fibres individuelles enchevêtrées ;
 - Fibres incurvées ».

Cette définition est également reprise dans la norme australienne AS 4964-2004 pour l'identification de l'amiante dans les matériaux et par l'Health and Safety Executive (HSE) au Royaume-Uni (Anses, 2015).

Non asbestiforme

Le terme non asbestiforme se rapporte à tout minéral qui n'est pas asbestiforme. Les principales morphologies des minéraux non asbestiformes ont été décrites par Campbell *et al.* (1977) (cf. annexe 4).

Les variétés minérales non asbestiformes ne se développent pas de façon unidimensionnelle en longues fibres, mais plutôt de façon bi ou tridimensionnelle. Lorsqu'une pression est appliquée sur des minéraux non asbestiformes, ces derniers peuvent se briser. Dans le cas des amphiboles, les fragments générés sont plus ou moins allongés et réguliers, leurs faces correspondant souvent à des plans de clivage.

La distinction entre asbestiforme et non asbestiforme peut être difficile : par exemple, il a été montré que des cristaux tridimensionnels peuvent se séparer en fibres très fines qui finissent par posséder les caractéristiques morphologiques des fibres asbestiformes (Germine et Puffer, 1989).

Fragments de clivage

Les fragments de clivage sont des particules minérales issues de la fragmentation de minéraux non asbestiformes (par altération naturelle ou anthropique, telles que des sollicitations mécaniques). Un fragment de clivage provenant d'un minéral amphibole non asbestiforme a la même composition chimique que son homologue asbestiforme, quand il existe.

De façon générale, les fragments de clivage se différencient des fibres asbestiformes par une longueur plus courte, une largeur plus élevée et des bordures et terminaisons moins régulières,

⁶ Said of a mineral that is like asbestos, *i.e.*, crystallized with the habit of asbestos. Some asbestiform minerals may lack the properties which make asbestos commercially valuable, such as long fiber length and high tensile strength. With the light microscope, the asbestiform habit is generally recognized by the following characteristics:

- Mean aspect ratios ranging from 20:1 to 100:1 or higher for fibers longer than 5 µm. Aspect ratios should be determined for fibers, not bundles.
- Very thin fibrils, usually less than 0.5 µm in width, and
- Two or more of the following:
 - Parallel fibers occurring in bundles
 - Fiber bundles displaying splayed ends
 - Matted masses of individual fibers and/or
 - Fibers showing curvature

tandis que la largeur des fibres d'amiante est relativement constante, quelle que soit la longueur (Siegrist, 1980).

Les fragments de clivage peuvent avoir les dimensions d'une fibre, telles que définies ci-dessus⁷.

Particule minérale allongée (PMA)

Ce terme s'applique à toute particule minérale ayant un rapport d'allongement supérieur à 3 (NIOSH, 2011). Les PMA peuvent être présentes comme constituant naturel des roches ou être générées sous l'effet de contraintes mécaniques, naturelles ou anthropiques.

Dans plusieurs publications, le terme PMA est employé sans distinction de la morphologie des particules.

Dans le cadre de cette expertise, les PMA considérées sont celles susceptibles d'être inhalées ($D < 3 \mu\text{m}$).

Particule minérale allongée d'intérêt (PMAi)

PMA des espèces minérales suivantes : actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, ériéronite, chrysotile et antigorite.

Travaux publics

Le terme Travaux Publics (TP) désigne les travaux réalisés sur des infrastructures comme les routes, les tunnels, les canalisations et les ouvrages d'art et de génie civil, tels que les ponts, les barrages, les pistes d'aéroport, etc... (d'après audition de la FFB, 2016).

Bâtiment

Le terme « bâtiment » fait référence à la construction d'édifices, à leur aménagement intérieur, à leur entretien, leur restauration ou leur démolition (d'après audition de la FFB, 2016).

Granulats

Petits morceaux de roche (<125 mm) destinés à réaliser des ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment (d'après audition FNTP, 2015).

Matériaux granulaires utilisés dans la construction. Les granulats peuvent être naturels, artificiels ou recyclés (norme EN 13043, d'après audition FNTP, 2015).

Ils entrent, pour la plupart, dans la constitution des chaussées et des bétons. Les granulats se classent en différentes familles :

- les granulats alluvionnaires, exploités principalement dans les fonds de vallées en dehors de l'espace de mobilité des cours d'eau ;
- les granulats de roches massives issus des roches volcaniques (basalte, rhyolite, ...), plutoniques (granite, diorite...), sédimentaires (calcaires, grès...) et métamorphiques (gneiss, schiste...);
- les granulats de recyclage et artificiels (bétons et enrobés recyclés, laitiers de hauts fourneaux...).

Les informations relatives aux granulats sont détaillées dans le chapitre 3.3.3.

Enrobé à chaud / Enrobé bitumineux

Un enrobé (ou enrobé bitumineux ou béton bitumineux) est un mélange de graviers, de granulats concassés et de sable à hauteur de 95 %, liés par environ 5 % de bitume. Les granulats utilisés vont des fines (filler < 2 mm) et des sables (par exemple 2/4 mm) aux gros (par exemple 0/20 mm) pour le grave bitume (GB) utilisé pour les couches d'assise, en passant par les gravillons (par exemple 4/14 mm) (Anses, 2013).

⁷ Les expressions « *fibre-like cleavage fragment* » ou « *fibriforme* » sont ainsi rencontrées dans la littérature pour décrire les fragments de clivage ayant ces dimensions (Strohmeier, 2010)

Enrobé à froid

Mélange de granulats et d'émulsion de bitumes (6 à 10 %) fabriqué dans des unités de production appelées centrales de malaxage à froid et appliqué à température ambiante (NF P 98 149).

Agrégats d'enrobés bitumineux

Matériaux bitumineux provenant de fraisage de couches d'enrobés, de concassage de plaques extraites de chaussées en enrobés, de morceaux de plaques d'enrobés, de déchets d'enrobés ou de surplus des productions d'enrobés (d'après audition FNTP, 2015).

Roche

Matière constitutive de l'écorce terrestre, formée d'un agrégat de minéraux et présentant globalement une homogénéité de composition, de structure et de mode de formation.

Carrière

Excavation ouverte dans la surface de la planète, utilisée pour extraire des roches ou des minéraux (NF EN 12670).

Une carrière se définit à partir de la substance extraite et non à partir du mode d'exploitation (aérien ou souterrain). Une carrière est donc le lieu d'exploitation de pierres, de sables et de minéraux non métalliques, ni carbonifères. Si la plupart des carrières sont à ciel ouvert (sablières en eau, carrières de roches massives en fosse), certains gisements peuvent être exploités en souterrain (carrières souterraines de gypse dans le bassin parisien, carrières souterraines de marbre dans le sud-ouest, ardoisières en Maine et Loire...).

Toute substance minérale ou fossile qui n'est pas qualifiée par le livre Ier du Code minier de substance de mine est considérée comme une substance de carrière (Code Minier, Article L 100-2).

Mine

Relèvent du régime légal des mines, les gîtes renfermés dans le sein de la terre ou existant à la surface connus pour contenir les substances minérales ou fossiles suivantes (Code Minier, Article L 111-1) :

- De la houille, du lignite, ou d'autres combustibles fossiles, la tourbe exceptée, des bitumes, des hydrocarbures liquides ou gazeux, du graphite, du diamant ;
- Des sels de sodium et de potassium à l'état solide ou en dissolution, à l'exception de ceux contenus dans les eaux salées utilisées à des fins thérapeutiques ou de loisirs ;
- De l'alun, des sulfates autres que les sulfates alcalino-terreux ;
- De la bauxite, de la fluorine ;
- Du fer, du cobalt, du nickel, du chrome, du manganèse, du vanadium, du titane, du zirconium, du molybdène, du tungstène, de l'hafnium, du rhénium ;
- Du cuivre, du plomb, du zinc, du cadmium, du germanium, de l'étain, de l'indium ;
- Du cérium, du scandium et autres éléments des terres rares ;
- Du niobium, du tantale ;
- Du mercure, de l'argent, de l'or, du platine, des métaux de la mine du platine⁸ ;
- De l'hélium, du lithium, du rubidium, du césium, du radium, du thorium, de l'uranium et autres éléments radioactifs ;
- Du soufre, du sélénium, du tellure ;
- De l'arsenic, de l'antimoine, du bismuth ;
- Du gaz carbonique, à l'exception du gaz naturellement contenu dans les eaux qui sont ou qui viendraient à être utilisées pour l'alimentation humaine ou à des fins thérapeutiques ;
- Des phosphates ;
- Du béryllium, du gallium, du thallium.

⁸ Métaux du groupe du platine.

3 Secteurs d'activités potentiellement concernés par la problématique des PMAi en France

3.1 Généralités, méthode de travail et objectifs

La demande et les travaux d'expertise concernent une partie des espèces minérales potentiellement éligibles à la définition d'une PMA telle que définie dans le chapitre précédent. Les PMA d'intérêt, en partie listées dans l'expertise précédente et retenues en considérant l'existence de données relatives à leurs effets sanitaires, concernent les espèces minérales suivantes listées dans la saisine :

- Les 5 amphiboles asbestiformes réglementaires et leurs homologues non asbestiformes (actinolite-amiante/ actinolite ; anthophyllite-amiante/ anthophyllite ; trémolite-amiante/ trémolite ; amosite/ grunérite, crocidolite/ riébeckite) et la serpentine asbestiforme réglementaire et son homologue non asbestiforme (chrysotile/ antigorite) ;
- La winchite, la richtérite et la fluoro-édénite, compte tenu des effets sanitaires similaires à ceux de l'amiante mis en évidence pour ces espèces minérales ;
- L'érianite, classée agent cancérigène pour l'Homme (cat. I) par le CIRC.

Ces PMA d'intérêt et ciblées dans ces travaux d'expertise seront dénommées « **PMAi** » dans la suite du rapport.

Les secteurs d'activités potentiellement concernés par la problématique des PMAi en France sont :

- Le secteur des industries productrices de matériaux naturels susceptibles d'émettre des PMAi : les carrières de granulats, de pierres naturelles (également dénommées roches ornementales et de construction (ROC)) et enfin de roches et de minéraux industriels. Ce secteur regroupe les activités d'extraction en carrières ainsi que le concassage, le broyage, la taille, le lavage, le séchage, le triage et le mélange des produits extraits, le transport des matériaux extraits ;
- Les secteurs du bâtiment et des travaux publics intervenant en environnement naturel ou mettant en œuvre des matériaux naturels ou des matériaux fabriqués à partir de ces derniers. Ces secteurs regroupent toutes les activités de conception, de construction, d'entretien et de déconstruction de bâtiments publics ou privés, industriels ou non, et des infrastructures telles que les routes, les canalisations ou les ouvrages d'art ;
- Les autres secteurs (hors travaux publics) intervenant en environnement naturel ou mettant en œuvre des matériaux naturels ou fabriqués à partir de ces derniers ;
- Le secteur de la gestion des déchets (élimination, recyclage) issus des secteurs précités.

Les principales structures constituant les filières d'extraction et de transformation de granulats, de ROC et de minéraux industriels et celles du secteur du bâtiment et des travaux publics ont été auditionnées⁹ dans le cadre de cette expertise, soit par ordre alphabétique :

- Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB)
- Fédération Française du Bâtiment (FFB)
- Fédération des Industries du Béton (FIB)
- Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP)
- Minéraux Industriels France (MIF)

⁹ Ces auditions ont fait l'objet de compte-rendus validé par les participants.

- Opérateurs (Opérateurs privés : Climespace, CPCU, ENEDIS, GRDF, GRT gaz, Lyonnaise des Eaux, Orange, RTE, TIGF ; Fédération / Syndicat : AFG, FEDENE, SPEGNN ; Acteurs publics : FNCCR)
- Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTP)
- Syndicat des Carrières Indépendantes du Grand Ouest (CIGO)
- Syndicat des Recycleurs du BTP (SRBTP)
- Syndicat National des Entreprises de la Démolition (SNED)
- Syndicat National des Industries de Roches Ornementales et de Construction (SNROC)
- Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE)
- Union des Laboratoires de Santé du Bâtiment (ULSB)
- Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF)
- Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction (UNICEM)
- Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG).

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a également été auditionné.

A noter qu'il n'existe aucune obligation pour les industries d'adhérer à ces différents syndicats/organisations professionnelles. Ainsi, les données statistiques présentées dans la suite de ce rapport concernent principalement les activités des industries affiliées et ne sont pas nécessairement représentatives de l'activité complète du secteur. Le questionnaire transmis en amont de ces auditions est présenté en annexe 5.

Les informations obtenues à partir de ces auditions ont été complétées par une revue de la littérature et par une consultation de la nomenclature des activités françaises (code NAF). Cette classification est attribuée par l'Insee à chacun des secteurs d'activités économiques en vue de faciliter l'organisation de l'information économique et sociale. Sa finalité est donc essentiellement statistique. La classification NAF a été consultée afin d'identifier les activités potentiellement concernées par la problématique des PMAi. Les secteurs A de l'agriculture, de la sylviculture et de la pêche, B des industries extractives, C des industries manufacturières, E de la production et de la distribution d'eau, de l'assainissement, de la gestion des déchets et de la dépollution, F de la construction et H des transports et entreposage ont été ciblés en raison de la présence potentielle de PMAi lors de leurs activités et ont donc été plus particulièrement investigués. Les sections, divisions et groupes sont explicités en annexe 6.

Par ailleurs, les informations relatives aux carrières de granulats, de ROC et de minéraux industriels obtenues à partir des auditions ont été croisées avec les données de la base « carrières et matériaux » gérée par le BRGM en partenariat avec le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Cette base est consultable sur le site Minéralinfo (« <http://www.mineralinfo.fr/> »).

3.2 Généralités et occurrences des espèces minérales ciblées en France

Dans l'environnement naturel, de nombreuses roches magmatiques et métamorphiques renferment dans leur minéralogie l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées.

Dans les roches magmatiques, les paramètres déterminants qui contrôlent la présence de ces espèces minérales correspondent en particulier à la composition chimique des magmas et à leurs conditions de mise en place et de refroidissement. Dans les roches métamorphiques, ces paramètres correspondent à la minéralogie primaire des roches métamorphisées, aux caractéristiques et à l'intensité des déformations et des recristallisations subies par ces roches et à l'importance des circulations hydrothermales dans les conditions de pression et de température (P-

T)¹⁰. Ainsi, les zones correspondant à des domaines géologiques très déformés et/ou caractérisés par des circulations hydrothermales importantes constituent des environnements favorables à la cristallisation de ces espèces minérales, sous leur forme asbestiforme ou non asbestiforme (failles, zones de cisaillement, auréoles métamorphiques, etc.).

3.2.1 Composition chimique des espèces minérales ciblées dans la saisine

3.2.1.1 Espèces minérales ciblées dans la saisine

Les PMAi sont issues des espèces minéralogiques suivantes : actinolite, anthophyllite, trémolite, grunérite, riébeckite, fluoro-édenite, winchite, richtérite, ériionite, chrysotile et antigorite.

Pour les serpentines :

La serpentine ne constitue pas une espèce minérale mais une famille de minéraux du groupe des silicates, sous-groupe des phyllosilicates (ou silicates lamellaires). Cette famille contient plus de 20 membres ou polymorphes. La composition théorique idéale d'une serpentine est $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. L'hétérogénéité chimique des serpentines est associée au remplacement du magnésium (Mg^{2+}) par d'autres cations (Fe, Mn, Ni, Zn) et du silicium (Si^{4+}) par de l'aluminium (Al^{3+}). Les trois plus importants polymorphes de la serpentine sont l'antigorite, le chrysotile et la lizardite.

Pour les zéolites :

Les zéolites sont des minéraux microporeux appartenant au groupe des silicates, sous-groupe des tectosilicates, dans lequel ils forment une famille comprenant des aluminosilicates hydratés de métaux des groupes IA et IIA du tableau périodique des éléments, tels le calcium, le magnésium et le potassium. La composition chimique des zéolites est proche de celle des argiles.

Les zéolites sont naturelles ou synthétiques. Les zéolites naturelles connues appartiennent à sept familles (Analcimes, Chabazites, Gismondines, Harmotones, Heulandites, Natrolites, Stilbites). L'ériionite est une zéolite de la famille des chabazites, de formule moléculaire $(Na_2, K_2, Ca, Mg)_{4,5}Al_9Si_{27}O_{72} \cdot 27H_2O$.

Pour les amphiboles :

Les compositions chimiques de ces amphiboles, indiquées dans le tableau ci-après, correspondent aux compositions des pôles purs telles qu'indiquées dans la nomenclature des amphiboles recommandée par l'International Mineralogical Association (IMA) en 2012 (Hawthorne *et al.* 2012). Cette classification est basée sur la formule générale $AB_2C_5T_8O_{22}W_2$ dans laquelle A = Na, K, Ca, Pb, Li; B = Na, Ca, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg, Li; C = Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al, Fe^{3+} , Mn^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} , Li; T = Si, Al, Ti^{4+} , Be; W = (OH), F, Cl, O^{2-} .

Dans la classification de Hawthorne *et al.* (2012), les amphiboles pour lesquelles le site W est essentiellement rempli par des anions du groupe (OH, F, Cl) ont été réparties en huit sous-groupes, en fonction des groupes de cations occupant les sites A, B et C.

Les amphiboles concernées par la saisine appartiennent à la famille des amphiboles calciques (actinolite, trémolite, édenite), calco-sodiques (winchite, richtérite), sodiques (riébeckite) et ferromagnésiennes (anthophyllite, grunérite).

Les compositions des pôles purs des amphiboles de la saisine sont présentées en annexe 7.

Pour une amphibole donnée, la détermination précise de son nom (espèce) nécessite de calculer sa formule structurale, laquelle conduit à répartir les différents cations dans les sites A, B, C et T. Pour ce faire, le groupe de travail recommande de généraliser l'utilisation de la feuille de calcul établie par Locock (2014), cette dernière permettant également une estimation des rapports $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ et $Mn^{3+}/\Sigma Mn$ et de la valeur OH.

¹⁰ Conditions de pression et de température correspondant au faciès des schistes verts pour les géologues.

Les intervalles de composition en poids d'oxydes pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles d'intérêt sont présentées dans le Tableau 2, tels que précisés dans la classification de Hawthorne *et al.* (2012). Il s'agit de compositions idéales pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles. Dans la nature, ces amphiboles peuvent être contaminées par d'autres éléments traces (Mn, Cr, Ti, Li, Be, F, Cl...), ce qui, sauf cas particulier, n'influencera que de façon marginale ces gammes de compositions.

Tableau 2 : Intervalles de composition en poids d'oxydes pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles (d'après Hawthorne *et al.* 2012)

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)
Anthophyllite/Cummingtonite	47-62	0-7	0-28	0	16-36	0	0
Ferro-anthophyllite/Grunérite	42-54	0-6	28-50	0	0-16	0	0
Trémolite	54-59	0-3	0-4	0	22-25	14	0
Ferro-actinolite	46-54	0-3	20-37	0	0-11	12-13	0
Actinolite	51-58	0-3	4-20	0	11-22	13-14	0
Edénite	43-54	3-9	0-20	0	11-24	12-13	3-4
Ferro-édénite	43-49	3-8	20-36	0	0-11	11-12	3
Winchite	52-60	6-10	0-17	0	9-20	7	4
Ferro-winchite	49-56	6-9	17-31	0	0-9	6-7	3-4
Richtérite	50-59	0-3	0-20	0	11-25	6-7	7-8
Ferro-richtérite	46-54	0-4	20-37	0	0-11	6	6-7
Magnésio-riébeckite	47-57	0-6	0-12	18-19	7-14	0	7
Riébeckite	45-54	0-6	12-23	17-18	0-7	0	7

:

Des analyses d'amphiboles ont été réalisées par le BRGM dans le cadre de la Convention de Recherche et Développement (CRD) sur l'« analyse des émissions en PMA et en silice cristalline générées lors de tests d'usure soumis à des matériaux naturels en laboratoire » (Anses, BRGM, INRS, SPSE/LAFP, *en cours*). Les compositions en poids d'oxydes correspondant à ces analyses sont présentées à titre indicatif en annexe 8. Des exemples d'analyse de ces différents minéraux peuvent également être consultés dans la littérature, en particulier dans les ouvrages de Deer *et al.* (Rock-Forming Minerals) concernant les amphiboles (Deer *et al.* 2004), les serpentines (Deer *et al.* 2009) et les zéolites (Deer *et al.* 1997).

3.2.1.2 Proximité d'autres espèces minérales

Les compositions des pôles purs de ces huit amphiboles prises en compte dans la saisine sont précisées en annexe 7, à l'exception de l'actinolite qui constitue une espèce dont la composition chimique s'étend entre celle de la trémolite ($\text{Ca}_2(\text{Mg}_{\geq 4,5}\text{Fe}^{2+}_{\leq 0,5})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) et celle de la ferro-actinolite ($\text{Ca}_2(\text{Mg}_{< 2,5}\text{Fe}^{2+}_{> 2,5})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) (Hawthorne *et al.* 2012). Les compositions pures sont exceptionnelles dans la nature, et le plus souvent, des substitutions s'opèrent entre les différents cations, conduisant à des évolutions continues des compositions depuis des pôles aluminomagnésiens vers des pôles plus ferreux ($\text{Mg}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$) et/ou plus ferriques ($\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$). Par exemple, la winchite possède un équivalent ferreux (ferro-winchite), ferrique (ferri-winchite) et ferro-ferrique (ferro-ferri-winchite). Nommer précisément une espèce d'amphibole nécessite donc de connaître exactement les valeurs des rapports $\text{Fe}^{3+}/\Sigma\text{Fe}$ et $\text{Mn}^{3+}/\Sigma\text{Mn}$ mais ces dernières ne sont généralement qu'estimées. Par ailleurs, l'établissement de formules structurales fiables repose en premier lieu sur des analyses chimiques précises mais ces analyses peuvent être difficiles à obtenir du fait de la finesse des PMA analysées et/ou de leur inhomogénéité chimique. S'agissant du nom d'une amphibole analysée, des analyses imprécises peuvent conduire à des diagnostics erronés.

Par ailleurs, la cummingtonite et l'anthophyllite ont la même composition chimique mais pas le même système cristallin. L'une est orthorhombique (anthophyllite) et l'autre monoclinique (cummingtonite). La distinction entre ces deux systèmes peut être faite à travers une étude pétrographique ou en utilisant des techniques de diffraction.

3.2.2 Occurrence des espèces minérales en France

En France, les principaux domaines géologiques dans lesquels des roches contenant l'une ou l'autre des espèces ciblées sont connues correspondent à la chaîne des Alpes occidentales et à son prolongement en Corse, aux massifs cristallins externes des Alpes, au Massif Central, aux Vosges, au Massif Armoricaire et à la chaîne des Pyrénées.

Dans la chaîne des Alpes occidentales et en Corse, des roches à actinolite et/ou trémolite sont régulièrement présentes dans les unités géologiques représentant les vestiges d'anciens fonds océaniques (ceintures ophiolitiques). Ces ceintures à matériel ophiolitique sont également présentes dans les massifs géologiques anciens, notamment dans les massifs cristallins externes, le Massif Central et le Massif Armoricaire. Les principales roches concernées correspondent à des péridotites plus ou moins serpentinisées, à des serpentinites, à des métagabbros magnésiens et à des metabasaltes (spilites, prasinites). Des occurrences de winchite sont connues, associées aux metabasaltes à actinolite. D'autres roches à actinolite et/ou trémolite sont connues en dehors de ces ceintures ophiolitiques, dans des roches ultrabasiques (lherzolites plus ou moins serpentinisées des Pyrénées, métapyroxénites), basiques (amphibolites de haut grade plus ou moins rétro-morphosées, métagabbros, metabasaltes, métadolérites, métaandésites, ophites et teschenites des Pyrénées) et carbonatées (marbres à trémolite, skarns). Des occurrences à actinolite sont également connues dans des roches plus siliceuses (diorites, granodiorites, gneiss migmatitiques) mais ces dernières sont exceptionnelles et limitées à des environnements géologiques très particuliers.

Des affleurements de roches à anthophyllite sont décrits dans plusieurs massifs géologiques français, en particulier dans les massifs cristallins externes et dans certaines unités métamorphiques du Massif Central et du Massif Armoricaire. Ces occurrences sont très subordonnées par rapport aux occurrences de roches à actinolite et/ou trémolite. Elles sont souvent associées à des auréoles réactionnelles développées entre des roches ultrabasiques et des roches acides.

La grunérite étant une amphibole strictement ferreuse, les roches à grunérite correspondent principalement à d'anciens sédiments riches en fer et métamorphisés ou à d'anciennes roches magmatiques également riches en fer et métamorphosées. En France, les gisements de roches à grunérite sont rares ou mal identifiés. La localité-type est pourtant située en France, dans le département du Var, près de Collobrières (<http://www.mindat.org/min-1758.html>). La présence de grunérite est également signalée dans le district minier de Pierrefitte, dans les Hautes-Pyrénées, et dans certaines unités géologiques constituées de gabbros plus ou moins amphibolitisés.

En France, le principal massif géologique dans lequel des roches à riébeckite sont connues, correspond au batholite hercynien de Corse occidentale. Ces roches correspondent à des granites alcalins à riébeckite, d'âge Carbonifère à Permien inférieur. Ces granites à riébeckite sont étroitement associés à d'autres granites alcalins, caractérisés par la présence dans leur minéralogie d'amphiboles calciques (hastingsite) ou sodiques (arfvedsonite). La présence de magnésio-riébeckite fibreuse est par ailleurs avérée en Corse, dans les granites hercyniens affectés par la tectogénèse alpine.

La richtérite est une amphibole sodi-calcique. Il n'existe pas de gisement important avéré à ce jour en France métropolitaine.

Le gisement-type de fluoro-édénite est situé en Sicile, dans la province de Catane. La roche concernée appartient au complexe volcanique de l'Etna. En France, un gisement de roche à fluoro-édénite est signalé dans le massif du Mont-Dore, au niveau d'un dôme volcanique de composition trachy-andésitique (<http://www.mindat.org/loc-53115.html>). Il apparaît probable que cette occurrence n'est pas unique et que d'autres occurrences soient présentes dans les complexes volcaniques du Massif Central. Ce point n'est cependant pas documenté à ce jour.

Seules six espèces de zéolites sont susceptibles de présenter un intérêt économique. Il s'agit de la chabazite, de la clinoptilolite, de la heulandite, de l'érieronite, de la mordénite et de la phillipsite. L'érieronite et la mordénite peuvent se présenter sous une forme fibreuse. La France ne produit pas de zéolites naturelles et aucun gisement d'intérêt économique n'y a été identifié (BRGM, 1995).

Les zéolites décrites dans les roches volcaniques du Massif Central et dans les bassins tertiaires de Limagne sont le plus souvent la phillipsite, la chabazite, la heulandite et la clinoptilolite. La présence d'érionite, et parfois de mordenite, est localement mentionnée dans quelques carrières mais les données disponibles dans la littérature sont extrêmement rares.

En France métropolitaine, les occurrences de chrysotile et d'antigorite sont fréquentes dans la plupart des massifs constitués par des roches ultrabasiques (péridotites ± serpentinisées, serpentinites). De tels massifs sont présents à la fois dans les domaines géologiques anciens (Massif Armoricain, Massif Central) et dans les segments orogéniques récents (Alpes occidentales, chaîne alpine corse, Chaîne des Pyrénées). Les occurrences de chrysotile et d'antigorite sont également fréquentes dans les massifs de péridotite de Nouvelle-Calédonie, où elles sont étroitement associées à des occurrences à trémolite et à anthophyllite.

La délibération n°82 du Congrès de la Nouvelle-Calédonie, en date du 25 août 2010, comporte un champ d'application élargi par rapport aux textes existant en métropole en matière d'amiante industriel, du fait de la présence avérée dans les sols calédoniens d'autres minéraux que ceux mentionnés à l'article 2 de la directive 2009/148/CE du 30 novembre 2009 et susceptibles de présenter une toxicité comparable, en particulier l'antigorite.

En août 2012, l'Anses a été saisie conjointement par la DGPR et par la DGT à la demande de la Direction des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie (DIMENC) afin de réaliser une analyse critique de la bibliographie existante sur l'antigorite, l'accent devant être mis sur la distinction des différents faciès d'antigorite et sur leur toxicité éventuelle. Publiés en juin 2014, les résultats de cette saisine ont permis de souligner trois points principaux, à ce stade des connaissances (Anses, 2014) :

- Les données géologiques et minéralogiques disponibles indiquent que le chrysotile et la trémolite (dont la trémolite-amiante) sont associés de manière étroite à l'antigorite ;
- Les données de toxicité spécifiques à l'antigorite sont très insuffisantes et ne permettent ni d'affirmer, ni d'infirmer son potentiel toxique ;
- Les données sur les effets toxiques des particules minérales allongées, dont font partie les formes fibreuses d'antigorite, ne permettent pas d'apporter des éléments prédictifs validés sur une éventuelle toxicité de l'antigorite fibreuse.

3.2.3 Occurrence des espèces minérales à l'étranger

La base de données minéralogique Mindat a été consultée en vue d'obtenir des informations sur l'occurrence des espèces minérales ciblées à l'étranger. Cette base de données, créée en 2000, a pour objectif de rassembler et de partager des informations sur les propriétés des minéraux, leur classification et leur localisation géographique. Cette base de données permet également de consulter, par gisement, les espèces minéralogiques présentes. Les informations figurant dans cette base sont enregistrées et vérifiées par des minéralogistes adhérents. Elles peuvent provenir de recherches personnelles ou d'informations figurant dans la littérature. De ce fait, les informations présentées ci-dessous ne se veulent pas exhaustives et les sources de données n'ont pas été expertisées par le GT. Elles fournissent une indication de la répartition géographique des espèces minérales ciblées dans la saisine. Le tableau en annexe 9 renseigne, pour chaque espèce minérale, le nombre de sites renseigné dans Mindat et les pays concernés avec le nombre de sites géolocalisés par continent lorsque cette donnée était renseignée.

Les espèces minérales ciblées, et principalement l'actinolite et la trémolite sont retrouvées dans de nombreux pays. A noter que les données renseignées dans la base Mindat ne permettent pas, en l'état de différencier le faciès des espèces minérales, asbestiforme ou non asbestiforme.

Plusieurs espèces minérales ont été identifiées dans des pays frontaliers de la France, ce qui soulève les questions de :

- L'importation de matériaux contenant ces espèces minérales, de leur contrôle et de l'exposition potentielle des travailleurs en résultant ;
- L'exposition des travailleurs lors de la conduite de chantiers transfrontaliers.

La problématique du contrôle des matériaux naturels importés a notamment été soulevée pour les ROC, pour lesquelles les importations ont augmenté de 38,3 % sur la période 2001-2012 (ces importations concernent principalement le funéraire et la voirie).

3.3 Secteur des industries productrices de matériaux naturels : les carrières

3.3.1 Généralités sur les carrières en France

Il existe trois grands domaines d'activités des carrières potentiellement concernés par la problématique des PMAi :

- Les granulats ;
- Les roches ornementales et pierres de construction (ROC) ;
- Les roches ou minéraux industriels.

La répartition des carrières en France métropolitaine est représentée sur la figure 1 :

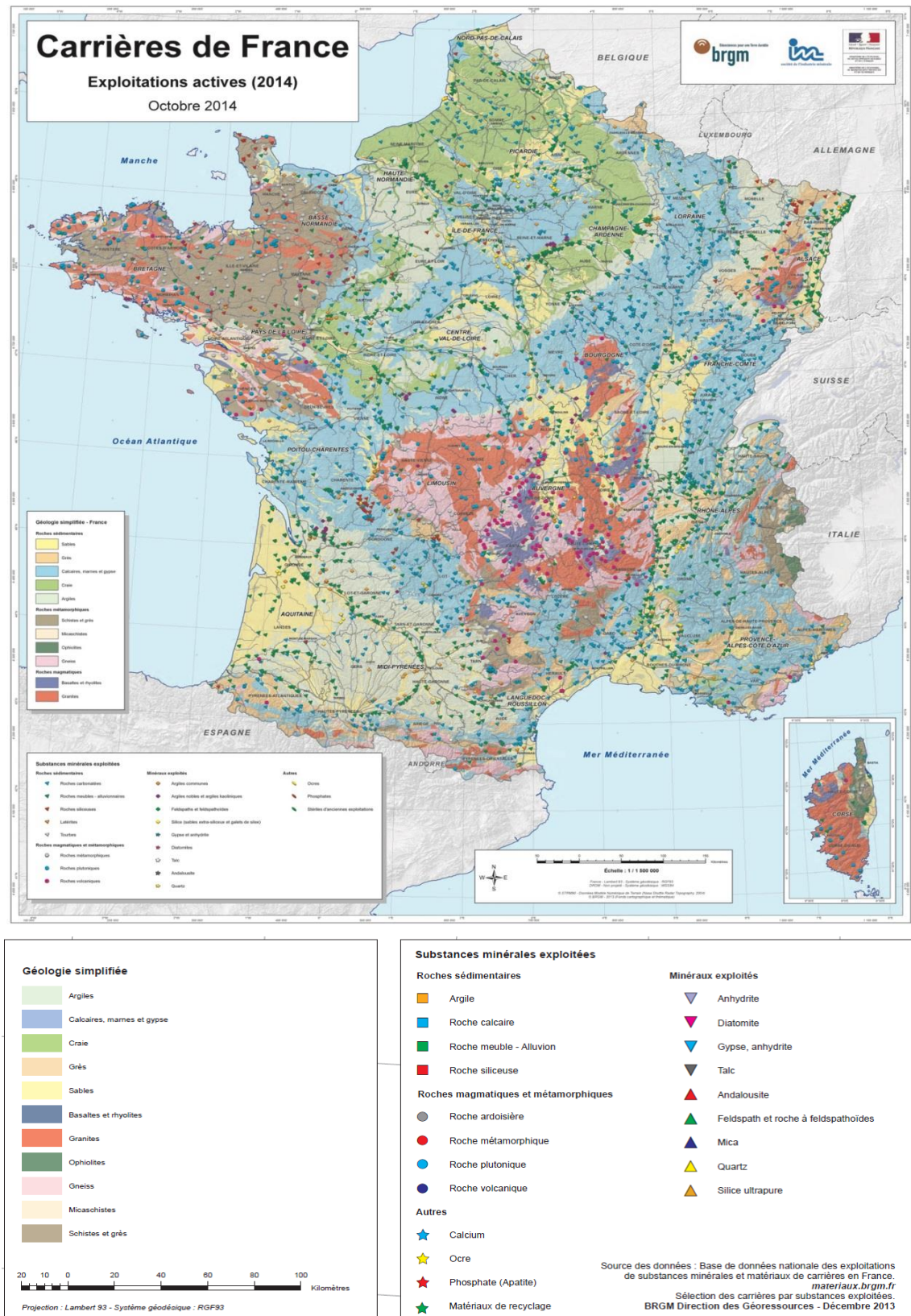


Figure 1 : Répartition des carrières en France métropolitaine¹¹

11

http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/documents/brgm-20140526-carte_metropole-substances_2014_reduit_0.pdf

L'exploitation des carrières comprend l'extraction des matériaux et leurs premières transformations. Elle peut se faire soit à ciel ouvert, soit en souterrain. Sur le plan national, l'extraction et la transformation des matériaux de carrières génèrent un chiffre d'affaires proche de 14 milliards d'euros pour 500 millions de tonnes commercialisées et 60 000 emplois directs. La réglementation qui s'applique aux carrières relève principalement du Code de l'environnement (ICPE, Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Chaque carrière identifiée sur cette carte est soumise à une autorisation préfectorale pour une durée déterminée. Cette réglementation intègre la remise en état de chaque site dans un objectif de réhabilitation qui prend en considération la biodiversité et les paysages. La production de matériaux variés qui répondent à des marchés très divers nécessite de traiter les enjeux d'accessibilité à la ressource. Ces enjeux sont déterminés par la diversité géologique du territoire.

En 2016, la base de données « carrières et matériaux » du BRGM recensait 4040 carrières en activités en France métropolitaine et dans les Départements et Régions d'Outre Mer (DROM), parmi lesquelles environ 2700 sites d'extraction de granulats, 520 sites d'extraction de ROC et 500 de roches ou minéraux industriels. La base de données indique par ailleurs la fermeture de 101 321 carrières abandonnées de longue date jusqu'à fermées récemment.

La répartition des effectifs de l'industrie des carrières et des matériaux de construction, représentant d'après les auditions réalisées plus de 20 000 travailleurs, est la suivante :

- 37,5 % : granulats ;
- 22,2 % : bétons prêts à l'emploi ;
- 15,9 % : pierres de construction ;
- 8,2 % : gypse, produits en plâtre ;
- 12,4 % : matériaux de construction divers ;
- 3,7 % : produits pour l'industrie (d'après audition de l'Unicem, 2016).

3.3.2 Présence potentielle d'amphiboles amiantes dans les carrières – études du BRGM

Entre 2012 et 2013, le BRGM a réalisé pour le compte du Bureau du Sol et du Sous-Sol (BSSS) au sein de la DGPR, une étude dont le principal objectif était d'établir une liste des carrières actives susceptibles d'exploiter et/ou de rencontrer au cours de leur développement des formations géologiques renfermant des occurrences amiantifères (Lahondère et Zammit, 2013). Cette étude a concerné les carrières de France métropolitaine actuellement en activité et exploitant des matériaux massifs (les sites exploitant des formations superficielles non consolidées et allochtones n'étaient pas concernés par ce travail). Au final, une première liste correspondant à cinquante sites jugés prioritaires par le BRGM a été établie. Les critères pris en considération pour établir cette liste correspondent en particulier à la lithologie et à la géochimie des roches présentes sur les sites d'extraction, à la minéralogie de ces mêmes roches (minéralogie primaire et paragenèse métamorphiques secondaires), à la nature et à l'intensité des déformations éventuellement subies par ces roches au cours de leur évolution géologique, au caractère fragile et/ou ductile de ces déformations ainsi qu'aux caractéristiques de l'altération (importance, nature, produits d'altération). Ces informations ont principalement été recherchées dans les notices explicatives des différentes cartes géologiques à 1/50 000 concernées.

En 2014, à la suite de cette étude et en prévision des évolutions réglementaires portant sur l'abrogation du titre « Amiante » du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) au profit des obligations du code du travail, le MEDDE a sollicité l'appui du BRGM pour effectuer un diagnostic des cinquante sites préalablement retenus, et ce, dans le but d'établir d'une manière

plus précise leur potentiel amiantifère. Sur les cinquante carrières retenues, une seule n'a pas été visitée (fermée). Pour les quarante-neuf sites visités, le programme de l'étude a compris :

- Une reconnaissance de la carrière, dans le but de rechercher les occurrences fibreuses, asbestiformes ou potentiellement asbestiformes, et d'établir le cas échéant une typologie de ces occurrences ; les espèces minérales recherchées correspondaient aux six minéraux réglementés en tant qu'amiante ;
- Le prélèvement d'échantillons, à des fins analytiques, dans le but de préciser la minéralogie des minéraux fibreux identifiés et de décrire la morphologie de ces fibres ;
- L'acquisition de données analytiques par microscopie optique, microsonde électronique et microscopie électronique ;
- La rédaction d'une fiche de synthèse établissant un diagnostic précis sur le potentiel amiantifère des matériaux exploités.

A l'issue de cette étude, le potentiel amiantifère des carrières expertisées a pu être précisé pour quarante-deux d'entre-elles, regroupées en trois classes et cinq niveaux. Les critères retenus pour établir ce classement correspondent à un potentiel amiantifère globalement croissant du premier au dernier niveau. Les sept autres carrières n'étaient plus en activité.

La classe 1 ne comprend qu'un seul niveau correspondant aux carrières dans lesquelles les matériaux exploités ne possèdent pas de serpentine et d'amphibole dans leur minéralogie. Pour les deux sites concernés, les matériaux exploités ne présentent pas de potentiel amiantifère à ce jour.

La classe 2 ne comprend également qu'un seul niveau. Les carrières regroupées dans ce niveau exploitent des matériaux dans lesquels des occurrences à serpentines et/ou à amphiboles fibreuses sont présentes, mais semble – t- il jamais sous une morphologie asbestiforme. Dix- sept carrières ont été concernées par ce classement.

La classe 3 correspond aux carrières pour lesquelles des occurrences asbestiformes ou potentiellement asbestiformes ont été identifiées. Cette troisième classe a été subdivisée en trois niveaux (3, 4, 5) de telle manière à intégrer les informations acquises concernant la fréquence des occurrences, leur répartition dans le gisement et leurs caractéristiques tant minéralogiques que cristallographiques. Vingt- trois carrières ont été concernées par ce classement.

A la suite de cette étude et de la publication de l'instruction ministérielle du 30 juillet 2014, des arrêtés préfectoraux ont été pris pour imposer aux exploitants dont les carrières avaient été classées en 2 ou en 3 de faire réaliser par un géologue un plan de repérage des roches contenant des amphiboles. Pour toutes les carrières de classe 3, ces arrêtés ont également demandé que soient réalisées par un laboratoire accrédité des campagnes de prélèvements dans l'air en limite d'exploitation, dans le but de rechercher la présence potentielle de fibres d'amiante. Les résultats obtenus ont amené la DGPR/BSSS et le BRGM à compléter le travail de recensement et de contrôle des carrières potentiellement impactées par la présence de matériaux amiantifères. Engagée en 2015, cette action a fait l'objet d'une note ministérielle en date du 22 juillet 2015.

Les actions à engager pour les 49 carrières ont été spécifiées dans l'instruction de la DGPR du 30 juillet 2014 :

- Carrières considérées comme sans présence d'amiante (Classe 1) :
→ Aucune action à engager ;
- Carrières avec présence d'amphiboles potentiellement amiantifères (Classe 2) :
→ Plan de repérage, analyses pétrographiques/minéralogiques ;
- Carrières avec présence certaine d'amphiboles amiantifères (Classe 3) :
→ Plan de repérage, analyses, mesures d'empoussièrement.

Les résultats acquis ont notamment permis de montrer que les dolérites constituaient des matériaux à potentiel amiantifère localement avéré. Les occurrences asbestiformes les plus caractéristiques ont ainsi été observées dans des sills ou dans des filons de dolérite hydrothermalisée. Sur les sept carrières classées en niveau 5, quatre exploitent des matériaux

doléritiques. Ces sills et ces filons constituent des structures très régulièrement rencontrées dans certains environnements géologiques, notamment dans les massifs anciens. De par leur nature même, ces filons sont susceptibles d'être présents dans de nombreuses carrières. Ce constat d'importance a conduit le BRGM à compléter la liste des carrières établie en 2013, en prenant en compte l'existence possible de filons doléritiques dans l'emprise des carrières. Par ailleurs, plusieurs carrières exploitant des roches massives de composition basique à intermédiaire n'avaient pas été identifiées comme telles dans la liste de 2013. Toutes ces carrières (25 sites) ont donc fait l'objet d'une expertise en 2015/2016, et ce dans les mêmes conditions que celles déjà visitées en 2013 et en 2014.

L'instruction de la DGPR du 22 juillet 2015 demande une poursuite de la surveillance des sites encore en activité : 2 campagnes d'empoussièrément annuelles pendant 3 ans quel que soit le niveau de risque de la carrière, ainsi que des mesures en carrières sur les filons concernés.

Tous les sites expertisés par le BRGM entre 2014 et 2016 ont concerné des carrières exploitant des matériaux massifs. Les sites correspondant à des exploitations de formations superficielles non consolidées et allochtones (alluvions, moraines, colluvions, éboulis, etc.) n'ont donc pas été pris en considération dans ces premiers travaux, à l'exception de deux carrières préalablement sélectionnées au cours d'une précédente étude (BRGM-INERIS, 2000) et exploitant des cônes d'éboulis.

En France métropolitaine, de nombreuses carrières exploitent des formations alluvionnaires pour produire des granulats. Ces carrières sont localisées le long des principaux axes hydrographiques (Rhône, Rhin, Seine, Loire, Garonne, etc.) et le long de rivières connectées à ces grands collecteurs. Ces carrières exploitent des formations issues, du moins *pro parte*, de l'érosion de grands massifs montagneux dans lesquels des surfaces plus ou moins importantes de roches amiantifères affleurent. Le risque que des éléments rocheux amiantifères soient présents dans les alluvions exploitées est donc réel. Ce risque est sans doute maximal à proximité immédiate des zones-sources amiantifères et de plus en plus faible au fur et à mesure de l'éloignement des sites par rapport à ces mêmes zones-sources.

Dans le but de définir les critères les plus pertinents à prendre en considération pour identifier les carrières susceptibles d'exploiter des formations alluvionnaires dans lesquelles des éléments rocheux amiantifères seraient présents, une étude méthodologique est en cours dans un secteur géographique des Alpes occidentales correspondant au bassin-versant du Guil.

3.3.3 Les carrières de granulats

Les granulats sont des fragments de roches destinés à la réalisation d'ouvrages de travaux publics, du génie civil et du bâtiment. Ils entrent, pour la plupart, dans la constitution des chaussées et des bétons.

3.3.3.1 Généralités sur les carrières de granulats

En 2016, la base de données « carrières et matériaux » du BRGM recensait 2 700 carrières de granulats en activité en France métropolitaine et dans les DROM parmi lesquelles :

- Deux tiers de carrières de roches massives issues de roches volcaniques (basalte, rhyolite...), plutoniques (granite, diorite...), sédimentaires (calcaire, grès...) et métamorphiques (gneiss, schiste...). La figure 2 illustre l'activité d'une carrière de roches massives.

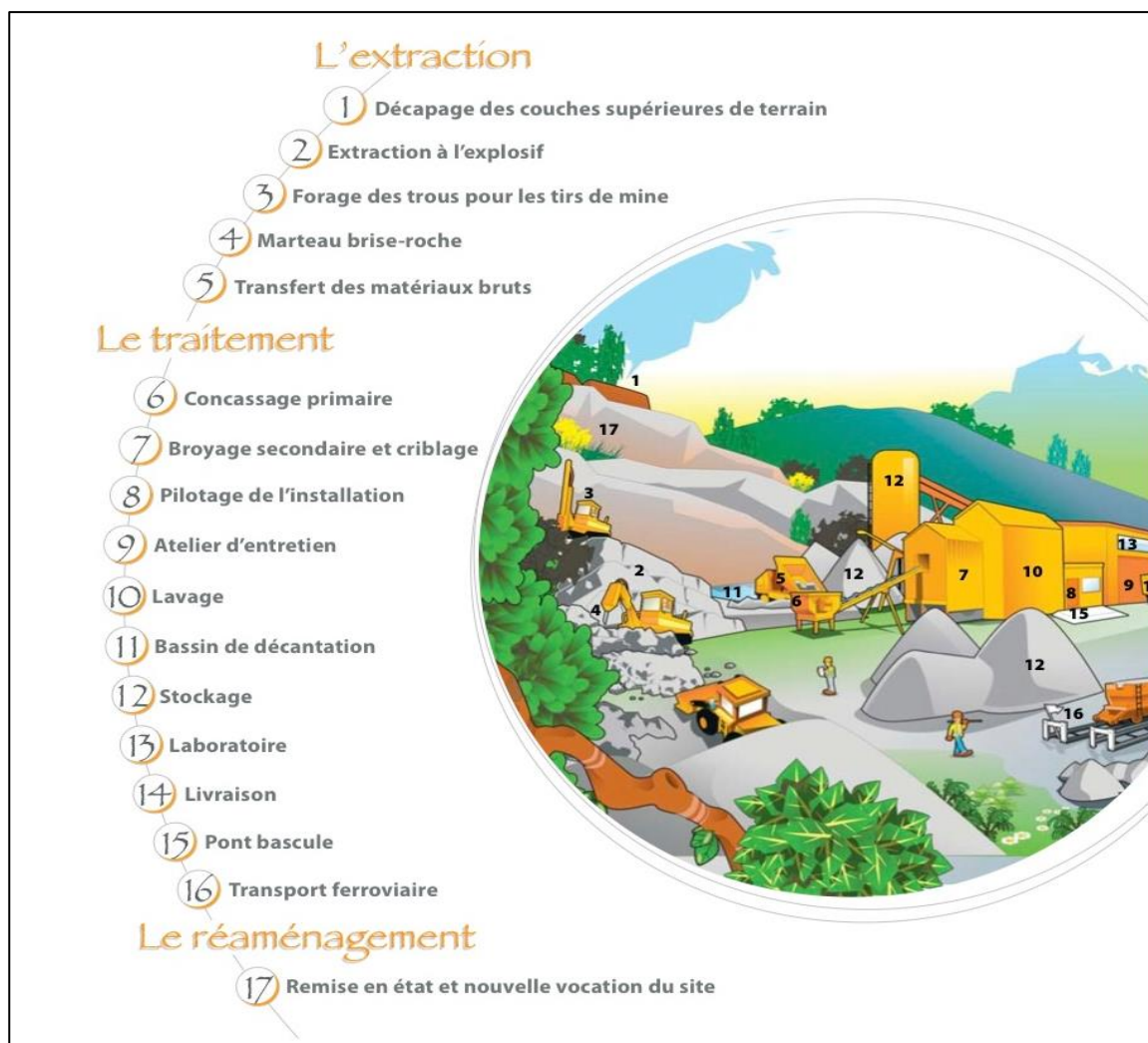


Figure 2 : Représentation schématique de l'activité d'une carrière de roches massives (d'après audition de l'Unicem, 2016)

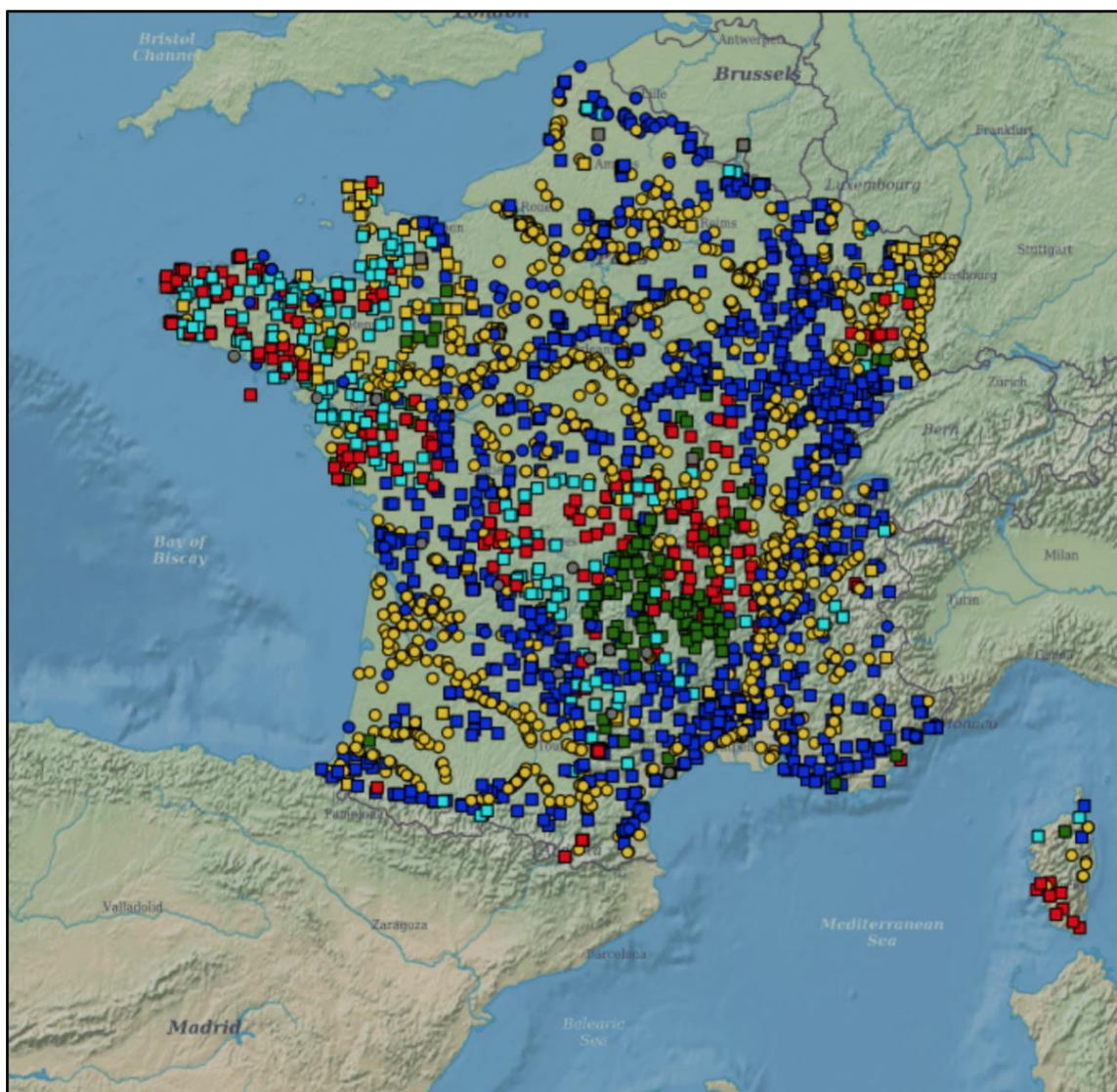
- Un tiers de carrières de roches meubles, exploitées principalement dans les fonds de vallées en dehors de l'espace de mobilité des cours d'eau. La proportion de carrières meubles diminue chaque année (d'après audition de l'Unicem, 2016). La figure 3 illustre l'activité d'une carrière de roches meubles.



Figure 3 : Représentation schématique de l'activité d'une carrière de roches meubles (d'après audition de l'Unicem, 2016)

D'après les auditions réalisées, les granulats de roches meubles semblent principalement, mais pas exclusivement destinés à la formulation de bétons. Les granulats de roches massives sont, quant à eux, destinés à tous les usages des chantiers de construction.

Les carrières de roches massives et meubles sont réparties uniformément sur l'ensemble du territoire national pour répondre aux besoins d'accessibilité à la ressource (cf. figure 4).



- △ Nature de roche indéterminée
- △ Nature de roche indéterminée
- △ Roches sédimentaires carbonatées
- △ Roches sédimentaires détritiques
- △ Roches magmatiques plutoniques
- △ Roches magmatiques volcaniques
- △ Roches métamorphiques
- Issus de roches alluvionnaires
- Issus de roches meubles (hors alluvionnaires)
- Marins

Figure 4 : Localisation des carrières de roches massives et meubles en France métropolitaine¹²

A noter cependant que certaines régions comme l'Île de France ne disposent pas d'un nombre suffisant de sites d'extraction, ce qui justifie l'importation de granulats depuis d'autres régions.

¹² <http://www.mineralinfo.fr/ecomine/carte-carrieres-francaises-en-activite-disponible>

Les carrières qualifiées de mixtes sont celles dont les produits ne sont pas uniquement destinés à la production de granulats (exemple : carrière produisant des ROC et des granulats). Les produits sont donc à destination de l'industrie, de l'agriculture ou des roches ornementales (d'après audition du CIGO, 2016).

Le tableau 3 présente les carrières pour lesquelles les roches exploitées sont susceptibles de libérer des PMAi lors d'une activité anthropique.

Tableau 3 : Potentiel de production de PMAi en fonction de la nature des roches exploitées en carrières de granulats

Produits	Nature des roches exploitées	Exemples de roches concernées	Les roches exploitées sont-elles susceptibles de produire des PMAi ?
Concassés de roches massives non métamorphiques	Roches sédimentaires carbonatées et évaporitiques	Calcaires, Calcaires argileux, Calcaires crayeux, Calcaires gréseux, Dolomies, Calcaires dolomitiques, Marnes, Marno-calcaires, Gypses, Cargneules, Travertins...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi
	Roches sédimentaires détritiques	Grès, Grès calcaires, Siltites, Limons, Flysch ardoisier, Flysch calcaréo-gréseux, Flysch gréseux, Pérites, Argiles...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi
		Grès et arkoses conglomératiques, Conglomérats, Brèches, Poudingues, Molasses...	Roches pouvant contenir des éléments rocheux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas
	Roches magmatiques plutoniques	Granites et microgranites calco-alcalins, Granodiorites et tonalites à biotite, Monzogranites et leucogranites calco-alcalins, Gabbro-diorites à hornblende, Tonalites, Trondhémities, Péridotites (non serpentinisées).	Roches ne contenant pas a priori des minéraux d'intérêt/PMAi
		Dolérites, Diorites, Gabbros, Granites et microgranites alcalins, Pegmatites alcalines, Lamprophyres alcalins...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas
	Roches magmatiques volcaniques	Rhyolites, Rhyodacites, ignimbrites et pyroclastites calco-alcalines, Basaltes non hydrothermalisés ...	Roches ne contenant pas a priori des minéraux d'intérêt/PMAi
		Rhyolites, Rhyodacites, ignimbrites et pyroclastites alcalines, Basaltes alcalins...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas

Produits	Nature des roches exploitées	Exemples de roches concernées	Les roches exploitées sont-elles susceptibles de produire des PMAi ?	
Concassés de roches massives métamorphiques	Dérivées de roches sédimentaires carbonatées	Calcaires marmoréens	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Marbres dolomitiques, Marbres à minéraux, Skarns, Cornéennes...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
	Dérivées de roches sédimentaires détritiques	Quartzites purs, Schistes, micaschistes et paragneiss silico-alumineux, Calcschistes...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Métaquartzites ferrugineux, métaarkoses, métaconglomérats...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
	Dérivées de roches magmatiques plutoniques	Orthogneiss leucocrates, Leptynites, Orthogneiss migmatitiques alumineux...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Orthogneiss alcalins, Amphibolites, Dolérites hydrothermalisées, Péridotites serpentinisées, Serpentinites, Talcschistes, Ophicalcites...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
	Dérivées de roches magmatiques volcaniques	Métarhyolites, Métarhyodacites et métaignimbrites calco-alcalines...	Roches ne contenant pas a priori d'éléments rocheux d'intérêt/PMAi	
		Chloritoschistes, Métabasaltés, Métaandésites, Métagabbros, Amphibolites...	Roches pouvant contenir des minéraux d'intérêt/PMAi Potentiel de production à caractériser au cas par cas	
		Roches alluvionnaires		Potentiel de production à caractériser au cas par cas
		Roches meubles (hors alluvionnaires)		Oui potentiellement/ dépend de l'espèce minérale (les roches non consolidées peuvent être très différentes les unes des autres (éboulis plus ou moins distal, argiles d'altération plus ou moins solifluées, moraines...))
	Granulats marins		Non	

3.3.3.2 Production, importation et exportation des granulats

Il existe approximativement 2 700 sites d'extraction de granulats en activité en France. En 2014, le volume de granulats produit en France s'élevait à 349 millions de tonnes, dont 199 millions de tonnes de roches massives et 127 millions de roches alluvionnaires ; le développement du recyclage venant compléter l'offre (23 millions de tonnes, soit 6 tonnes par an et par habitant). La production nationale en 2014 de granulats par type de roche exploitée est présentée en détail dans le tableau 4.

Tableau 4 : Production nationale de granulats par type de roche exploitée en 2014 (d'après audition de l'Unicem, 2016)

Production nationale de granulats (en millions de tonnes)	2014	Nombre de sites en %
Roches meubles	126,6	38,9
<i>Alluvionnaires</i>	100,6	30,9
<i>Granulats marins</i>	7,0	2,2
<i>Autres sables</i>	19,0	5,8
Roches massives	199,0	61,1
<i>Roches calcaires</i>	95,7	29,4
<i>Roches éruptives</i>	103,3	31,7
Recyclage	23,4	NC
Matériaux de démolition	19,1	NC
Autres	4,3	NC
Total	349,0	100

Les granulats de recyclage, autres que les matériaux de démolition, sont des matériaux issus de sous-produits industriels. Les industries de la houille, les hauts fourneaux et les aciéries, ainsi que les usines d'incinération des ordures ménagères, produisent des déchets qui sont valorisés à travers la production de granulats artificiels.

Les informations relatives aux chiffres d'affaires des industries de granulats sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Chiffres d'affaire des industries de granulats en 2004, 2013 et 2014 (d'après audition de l'Unicem, 2016)

	2004	2013	2014	% 2014/2013
Chiffre d'affaires HT (millions d'euros)	3169	3892	3664	-5,9
Nombre d'entreprises¹³	1770	1540	1524	-1,0
Nombre d'établissements	2621	2651	2663	+0,5
Production par entreprise (1000 t)	231	227	229	+0,9
Production par établissement (1000 t)	156	132	131	-0,8
Tonnes produites par habitant	6,8	5,7	5,5	

A titre historique, la figure 5 présente l'évolution annuelle depuis le milieu des années 1990 de la production de granulats en France.

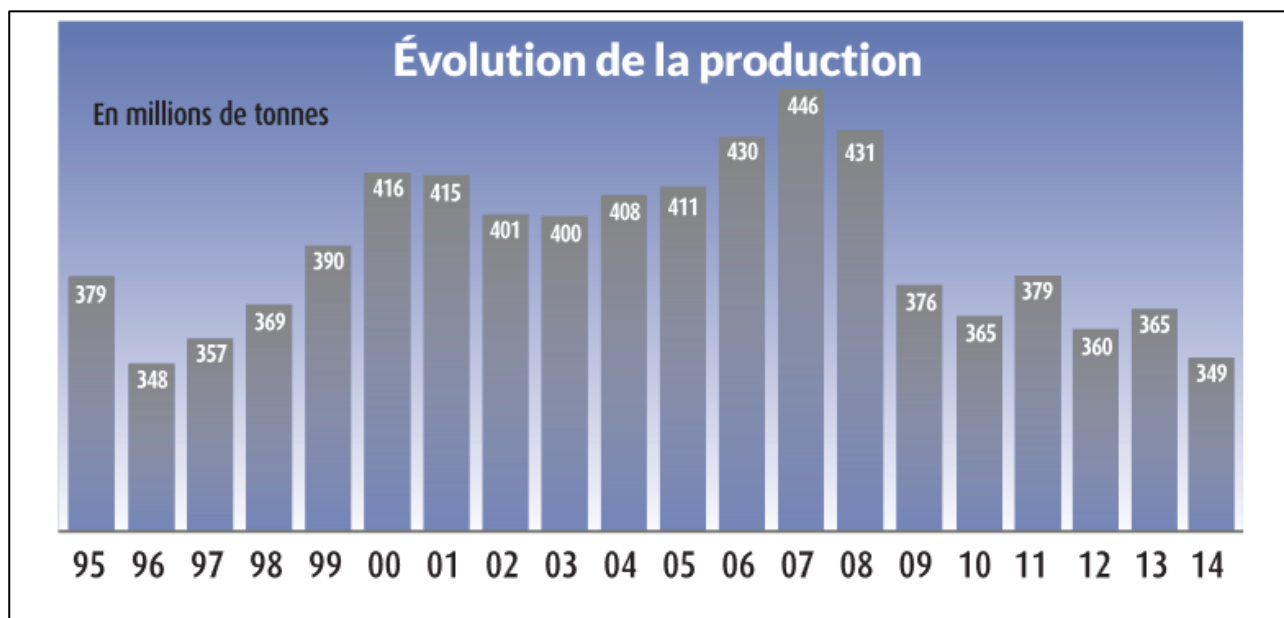


Figure 5 : Evolution de la production de granulats en France de 1995 à 2014 (en millions de tonnes) (d'après audition de l'Unicem, 2016)

D'après les auditions réalisées, les chiffres de 2015 ne sont pas encore disponibles mais montrent une tendance à la baisse, de l'ordre de 9 % (d'après audition de l'Unicem, 2016).

En termes de commerce extérieur :

- 8,1 millions de tonnes sont exportées chaque année, principalement vers la Suisse, l'Allemagne, les Pays Bas, la Belgique et le Luxembourg ;
- 10,7 millions de tonnes sont importées principalement depuis la Belgique, la Norvège, le Royaume-Uni, l'Allemagne, la Suisse.

¹³ Une entreprise peut avoir plusieurs établissements

En France, les besoins annuels en granulats sont estimés à 442 millions de tonnes dont (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016) :

- 340 millions de tonnes viennent des carrières ;
- 20 millions de tonnes viennent de plateformes de recyclage ;
- 5 millions de tonnes viennent de l'industrie ;
- 77 millions de tonnes sont issues de la déconstruction des BTP.

3.3.3.3 Contrôle et traçabilité des granulats

Il existe deux types de contrôle des granulats :

- Le marquage CE des granulats, obligatoire depuis 2004, exige des contrôles en termes de caractéristiques géométriques, physiques et mécaniques des granulats (ces critères déterminent ainsi où ils pourront être utilisés). Le suivi des produits se fait *via* le bon de livraison et l'étiquetage CE des produits ;
- Le marquage NF est une certification française volontaire reposant sur les mêmes principes que le marquage CE.

La traçabilité des granulats est assurée *via* les bons de livraison. Les fabricants de bétons et d'enrobés routiers connaissent ainsi l'origine des granulats utilisés.

Dans la pratique, une traçabilité complète est loin d'être évidente à assurer puisque le maître d'ouvrage ne connaît pas forcément le fournisseur de béton prêt à l'emploi. De plus, différents types de bétons de différentes origines peuvent être utilisés sur un même chantier. Il est difficile de remonter aux producteurs de bétons sollicités pour des constructions datant de plusieurs décennies (50-100 ans) et même pour des constructions plus récentes.

Sur la question des mélanges, les bétons sont par nature des mélanges de granulats (un sable et un gravillon), d'eau, de liant et d'adjuvant. Les granulats peuvent être d'origine multiple comme un mélange de granulats alluvionnaires et de granulats concassés à partir de roches massives. Les granulats employés en centrale à béton peuvent également être issus d'un seul fournisseur ou de plusieurs fournisseurs.

Par ailleurs, une traçabilité complète des granulats est difficile à assurer du fait de l'utilisation croissante de granulats recyclés, en particulier pour les travaux routiers (d'après audition de l'Unicem, 2016).

Il est en revanche envisageable d'évoquer en termes de probabilité, la possibilité d'identifier la source des granulats dans les bétons de différentes régions puisque les granulats et les bétons sont transportés sur des distances courtes (< 50 km). Cet exercice sera d'autant plus aisé dans les régions pour lesquelles la production de granulats suffit aux besoins (e.g. Bretagne), et pour les carrières disposant de leur propre centrale à béton. En revanche, pour certaines agglomérations telles que Paris, ne disposant pas de carrières de granulats, cet exercice est compliqué (d'après audition du CIGO, 2016).

3.3.3.4 Transport des granulats

La route est le moyen de transport privilégié des granulats (92 %), suivie du transport maritime (5 %) et du transport ferré (3 %). Les distances moyennes de transports sont respectivement de 32 km (route), 97 km (voies d'eau), 194 km (voies ferrées) (d'après audition de l'Unicem 2016).

Il est rappelé que les granulats sont des matériaux d'intérêt local, pour des raisons économiques (matériau à faible valeur ajoutée, tonnages, coût des transports) et environnementales. Le rayon d'action d'une carrière est de 30-50 km en moyenne par route (qui est le moyen de transport privilégié pour les granulats). Il peut y avoir certaines exceptions nécessitant le transport de granulats sur de plus longues distances :

- Zones sans carrières ou zones dans lesquelles la demande est plus forte que l'offre : par exemple Paris ;

- La fabrication de certains revêtements nécessitant des caractéristiques spécifiques au niveau de l'adhérence de surface ou de résistance à l'usure, par exemple. En effet, les usages des granulats peuvent être spécifiques du gisement en fonction des caractéristiques recherchées (granulométrie, résistance au feu pour la fabrication de bétons destinés à la construction de tunnels, par exemple) (d'après audition de l'Unicem, 2016).

3.3.3.5 Utilisation des granulats

Les granulats sont principalement utilisés dans les ouvrages de génie civil, les voiries et réseaux routiers (VRD) (79 %). Le reste est utilisé dans les bâtiments (21 %).

Les utilisations des granulats par nature d'emplois et par nature d'ouvrages sont présentées sur les figures 6 et 7 (d'après audition de l'Unicem, 2016). Les granulats peuvent également être utilisés de façon plus anecdotique en agriculture, pour le maraîchage par exemple (d'après audition du CIGO, 2016).

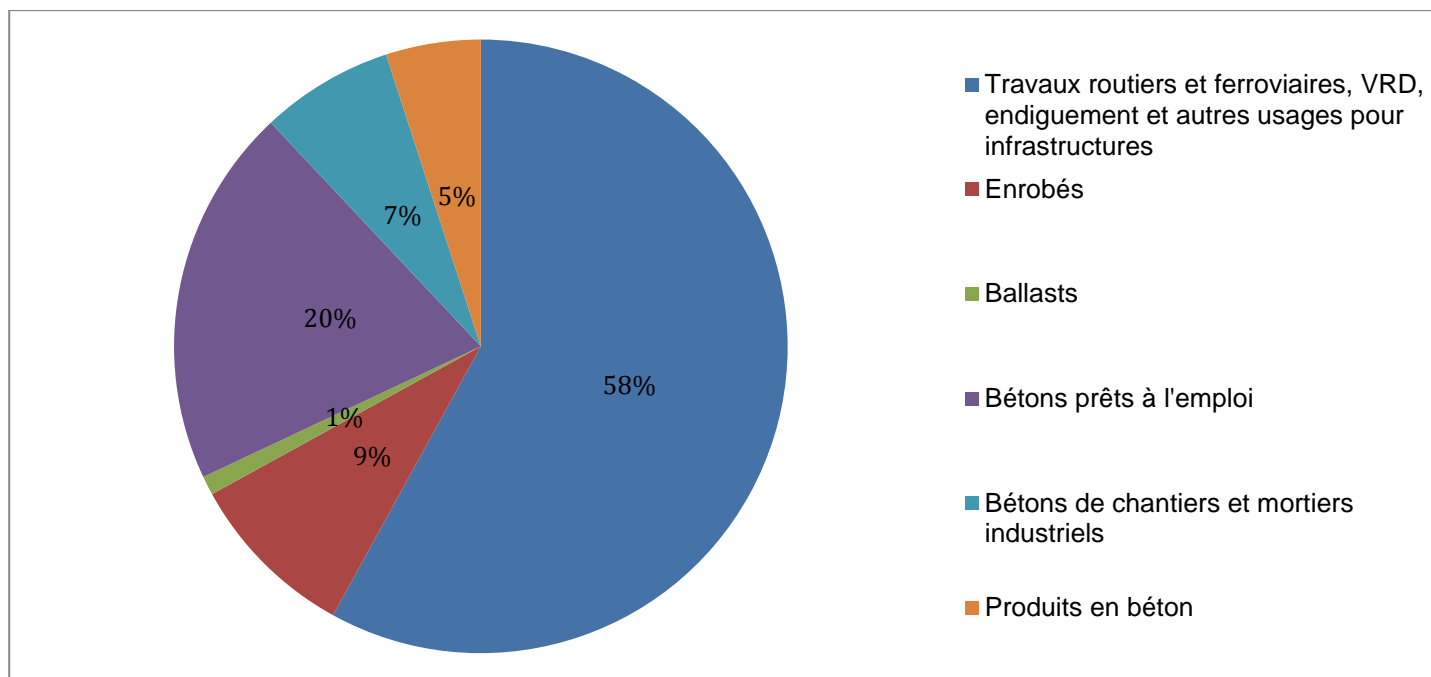


Figure 6 : Usages des granulats par nature de matériaux (d'après audition de l'Unicem, 2016)

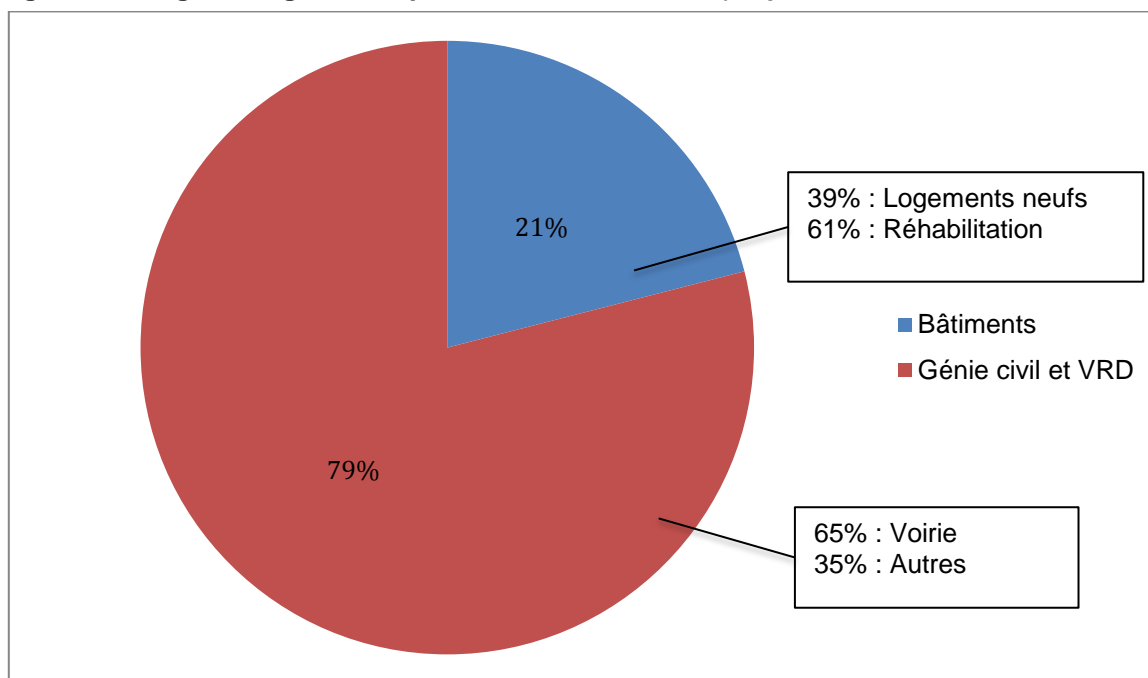


Figure 7 : Usage des granulats par nature d'ouvrages (d'après audition de l'Unicem, 2016)

A titre d'exemple, la quantité de granulats nécessaire à la construction de différentes structures est la suivante :

- Une maison = 100 à 300 tonnes de granulats ;
- 1 km de voie ferrée = 10 000 à 15 000 tonnes de ballast ;
- Un lycée ou un hôpital = 5 000 à 20 000 tonnes de matériaux ;
- 1 km d'autoroute = 20 000 à 30 000 tonnes de matériaux ;

D'après l'audition du CIGO, différentes classes granulométriques peuvent être distinguées en fonction de l'utilisation des granulats :

- 0-10 mm pour les enrobés (granulats tertiaires) ;
- 0-20 mm pour les produits béton (granulats tertiaires) ;
- 0-150 mm pour les autres marchés (granulats primaires et secondaires, plus grossiers) (e.g. travaux publics, grave de bitume).

3.3.3.6 Activités susceptibles de générer des PMAi

Les activités en carrières les plus exposantes **aux poussières** sont (d'après audition de l'Unicem, 2016 ; d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016) :

- L'abattage à l'explosif ;
- Le concassage primaire (il s'agit le plus souvent de concasseurs à mâchoires pour les granulats bruts) ;
- Le criblage, qui sélectionne les granulats par coupures granulométriques (et qui donne un produit semi-brut pour les routes) ;
- Le concassage secondaire (qui permet de passer d'une granulométrie de 200 mm à une granulométrie de 30 à 40 mm) ;
- Le broyage tertiaire, qui donne un sable et des gravillons de différentes coupures.

Ces activités concernent la production de granulats mais peuvent également couvrir les activités de recyclage. En effet, les activités de concassage, criblage, chaulage sur chantiers et plateformes sont les activités les plus génératrices de poussières (d'après audition du SRBTP, 2016).

3.3.4 **Les carrières de roches ornementales et de construction (ROC) et les industries utilisatrices**

3.3.4.1 Généralités sur les carrières de ROC

Les ROC sont des roches naturelles utilisées en structures, architecture et décoration pour la construction et l'aménagement des bâtiments et des ouvrages d'art, pour la voirie, le funéraire, les aménagements intérieurs et paysagers, pour la restauration des monuments historiques et la sculpture (d'après audition de l'Unicem, 2016).

Il existe six catégories définies de pierres qui sont généralement distinguées dans la filière des ROC : les pierres calcaires, les marbres, les granites et les roches similaires, les grès de construction, les laves, et les ardoises incluant en premier lieu des schistes. Les ROC extraites en France sont principalement des pierres calcaires (70 %) et des granites (26 %) (d'après audition de l'Unicem, 2016).

Il existe en France approximativement 500 sites d'extraction de roches ornementales et de construction. La répartition des sites d'extraction est présentée sur la figure 8 :

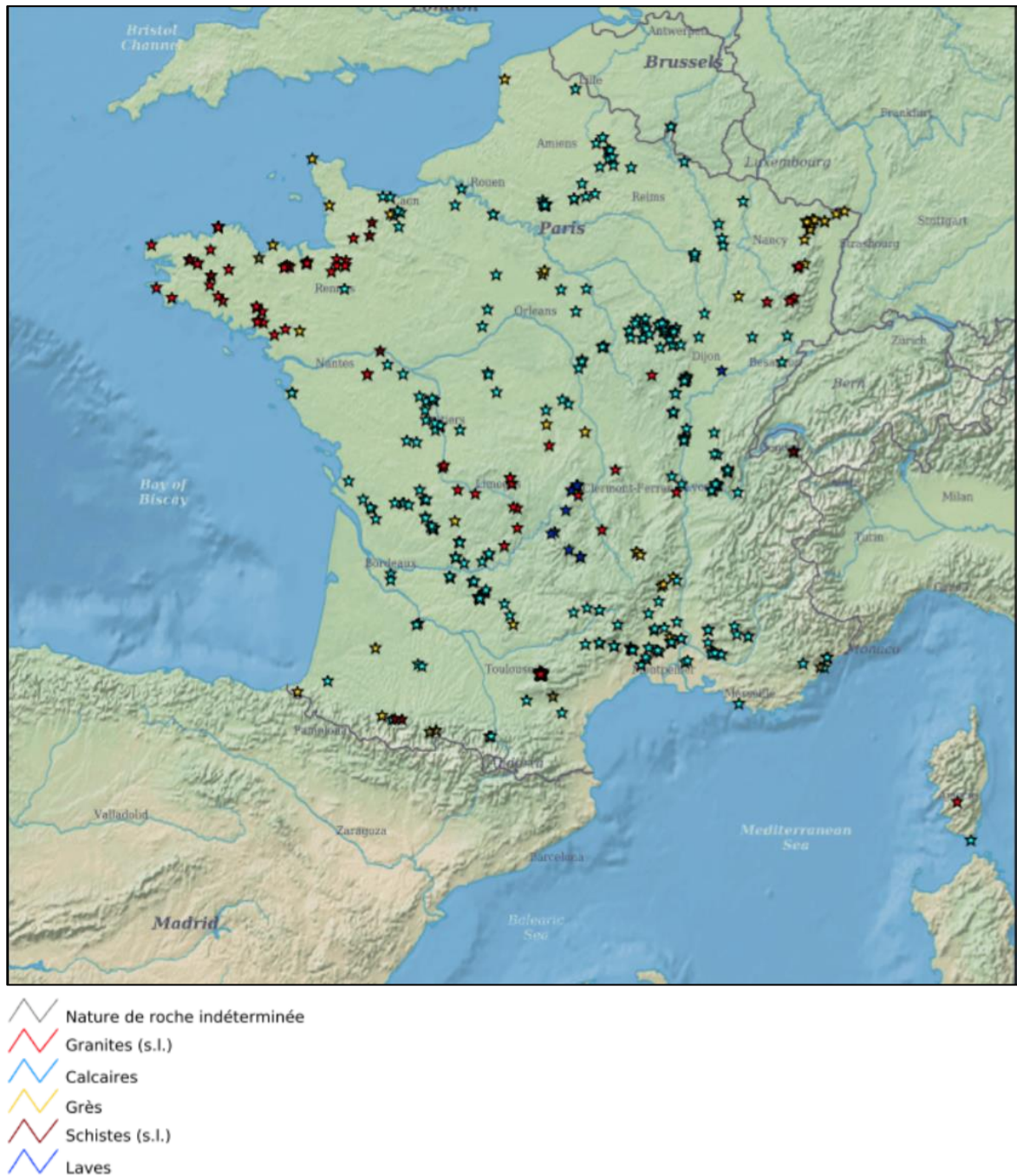


Figure 8 : Répartition géographique des sites d'extraction de ROC (BRGM, 2014)

La majorité des sites d'extraction de ROC sont des petites entreprises (moins de 10 salariés). Cela représente 770 entreprises et environ 6 000 collaborateurs.

Environ 60 % de ces carrières sont exploités uniquement pour les ROC, les 40 % restants fournissant également des matériaux pour d'autres usages (granulats en particulier) (BRGM, 2014).

Le Tableau 6 présente les carrières pour lesquelles les roches exploitées sont susceptibles de libérer des PMAi lors d'une activité anthropique.

Tableau 6 : Potentiel de production de PMAi en fonction de la nature des roches exploitées en carrières de ROC

Domaine d'activité	Nature de roches exploitées	La roche exploitée est-elle susceptible de contenir des roches pouvant libérant des PMAi ?
Roches ornementales et de construction (ROC)	Indéterminée	-
	Granites	Le potentiel de production dépendra des caractéristiques minéralogiques et géochimiques du granite exploité. Ce potentiel variera donc d'une exploitation à l'autre.
	Calcaires	Non
	Marbres	Le potentiel de production dépendra des caractéristiques minéralogiques du marbre exploité et de la présence ou non d'amphibole (et/ou d'olivine serpentinisée). Ce potentiel variera donc d'une exploitation à l'autre.
	Grès	Non hors grès conglomératiques
	Schistes	Le terme de schistes est utilisé pour décrire toute roche susceptible de se débiter en feuillets. Il ne renseigne pas sur la nature même de la roche et doit donc être évité. Le potentiel de production dépendra directement de la minéralogie du schiste exploité.
	Laves	Les laves sont des roches extrêmement variées d'un point de vue géochimique et minéralogique. Pour une lave donnée, le potentiel de production dépendra directement de ses caractéristiques géochimiques et minéralogiques.
	Gneiss	Le terme de gneiss est peu précis et sert à qualifier une roche foliée présentant une alternance plus ou moins régulière entre des lits sombres, généralement riches en micas et/ou en amphiboles et des lits clairs essentiellement de nature quartzo-feldspathiques. Le potentiel de production dépendra directement de la nature des amphiboles présentes dans la roche et sera donc variable d'une exploitation à l'autre.

La répartition géographique des sites d'extraction en 2014 est présentée sur les diagrammes suivants (Unicem, 2014) :

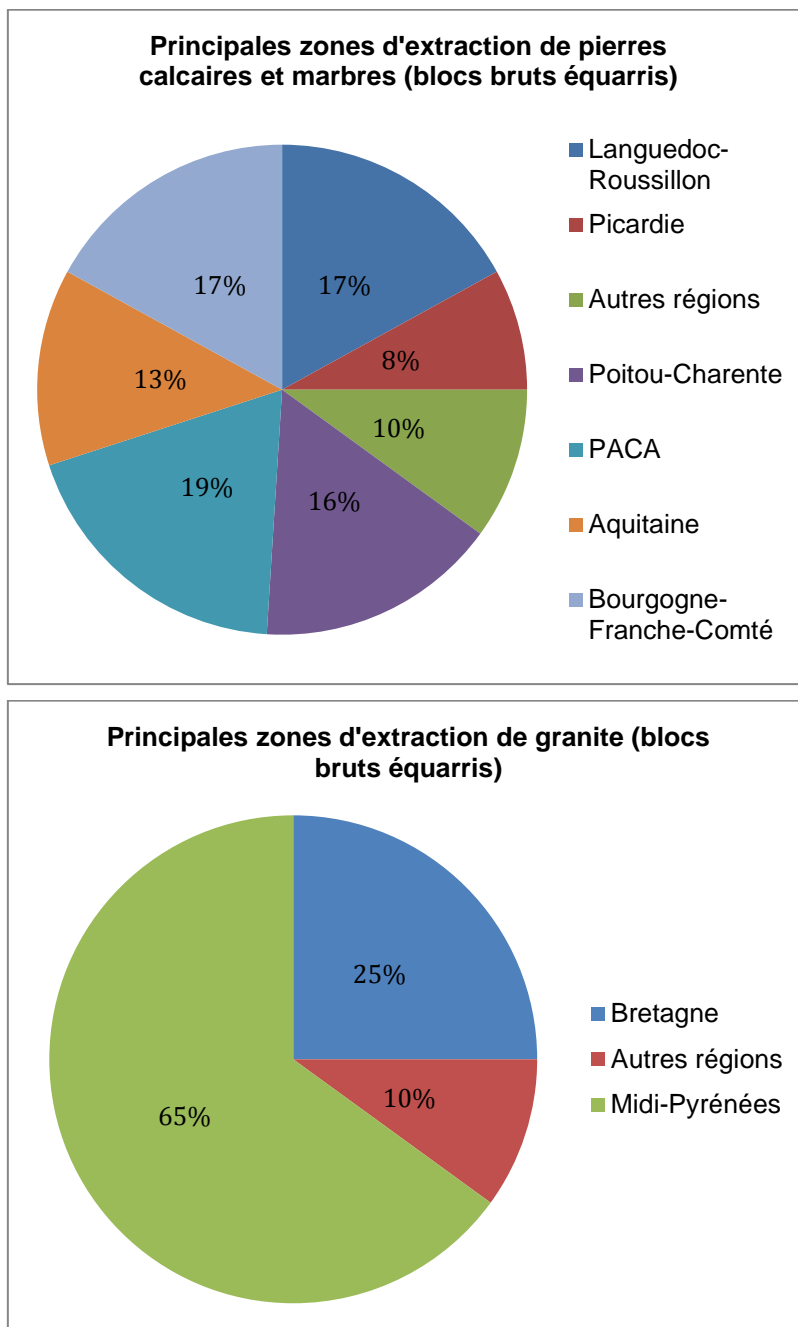


Figure 9 : Répartition géographique des sites d'extraction de ROC (Unicem, 2014)

Pour les autres matériaux, les principaux bassins d'extraction sont :

- Pour les laves : l'Auvergne et le Cantal ;
- Pour les grès : l'Alsace ;
- Pour les ardoises : les Pays de la Loire.

3.3.4.2 Production nationale de ROC, importations / exportations

En 2014, les productions de ces sites sont réparties par type de roches exploitées de la façon suivante (d'après audition de l'Unicem, 2016) :

- Des pierres calcaires et des marbres : 418 300 m³ (soit environ 920 000 tonnes en considérant une masse volumique de 2,2 tonnes par m³), la production de marbre étant relativement faible, de l'ordre de 5 000 m³ ;
- Des granits : 122 400 m³ (soit environ 306 000 tonnes en considérant une masse volumique de 2,5 tonnes par m³) ;
- Des grès : 12 900 m³ (soit environ 32 000 tonnes en considérant une masse volumique de 2,5 tonnes par m³).

D'après l'audition de l'Unicem, les données de production relatives aux laves sont couvertes par les règles du secret statistique et n'ont donc pas été communiquées.

De même, il n'a pas été possible d'obtenir de données plus précises sur la production annuelle réelle des exploitations (données confidentielles). Les volumes de production autorisée¹⁴ sont répartis comme suit (BRGM, 2014) :

- Près de 60 % des exploitations sont autorisés à extraire annuellement des quantités inférieures à 10 000 t (soit moins de 4000 m³ en prenant une densité de roche de 2,5) ;
- 37 % des carrières sont autorisés à extraire plus de 10 000 t de matériaux par an.

A noter que pour certaines exploitations « mixtes » (extraction de ROC et d'autres matériaux), notamment celles extrayant les volumes les plus importants de matériaux, les volumes de ROC extraits peuvent ne représenter qu'une part marginale des matériaux extraits.

En 2014, l'industrie des ROC a exporté pour 113,4 M d'euros (se décomposant en 84,6 M d'euros de produits finis et 28,8 M d'euros de produits bruts et semi-finis) et importé pour 454,4 M d'euros (392,7 M d'euros de produits finis et 61,7 M d'euros de produits bruts et semi-finis). Aucune donnée de tonnage ou de volume n'a été communiquée (d'après audition de l'Unicem, 2016). Sur la période 2001-2012, les importations ont augmenté de 38,3 % et les exportations ont diminué de 36,6 % (cette dégradation du commerce extérieur concerne principalement les produits finis) (BRGM, 2014). Les importations concernent le funéraire et la voirie (pavés) (d'après audition de l'Unicem, 2016).

3.3.4.3 Contrôle et traçabilité des ROC

Du fait de la spécificité des ROC extraites des carrières en France, il est possible de retracer l'origine des matériaux utilisés sur les chantiers. Les matériaux des carrières de roches ornementales doivent passer des essais de caractérisation (compression, porosité...) tous les 2 ans ; ils sont réalisés par le centre technique des matériaux d'ornementation et des laboratoires accrédités. Il n'existe pas de marquage NF mais un marquage CE, sous système auto déclaratif. Tout comme les granulats, le marquage CE des ROC est obligatoire depuis 2004.

En revanche, il est beaucoup plus difficile de disposer d'informations sur les contrôles réalisés sur les matériaux importés (d'après audition de l'Unicem, 2016). De ce fait, la filière de la pierre française a mis en place ces dernières années différentes actions visant à s'assurer de l'évaluation environnementale des produits, la traçabilité et l'origine des pierres (« carte d'identité ») ou la mise en place d'une indication géographique (BRGM, 2014).

3.3.4.4 Transport des ROC

La distance moyenne de transport en France est difficilement appréhendable dans la mesure où la pierre naturelle est à la fois un produit de proximité qui reste limité à une commercialisation

¹⁴ Chaque exploitation de carrière dispose au titre de la réglementation relative aux ICPE, d'une production annuelle autorisée (maximale et/ou moyenne) exprimée généralement en tonnes de matériaux extraits (BRGM, 2014).

régionale et un produit d'exportation pouvant voyager sur des distances élevées. Toutefois, d'après les auditions, et ce, pour le marché français, une estimation entre 100 et 400 km paraît raisonnable (d'après audition de l'Unicem, 2016).

3.3.4.5 Utilisation des ROC

Ces roches sont utilisées dans tous les domaines de la construction, des aménagements urbains, de la décoration, de la restauration des édifices et de l'art funéraire.

Toutes ROC confondues, la répartition de la production française en 2014 par secteur utilisateur est présentée sur la figure 10 :

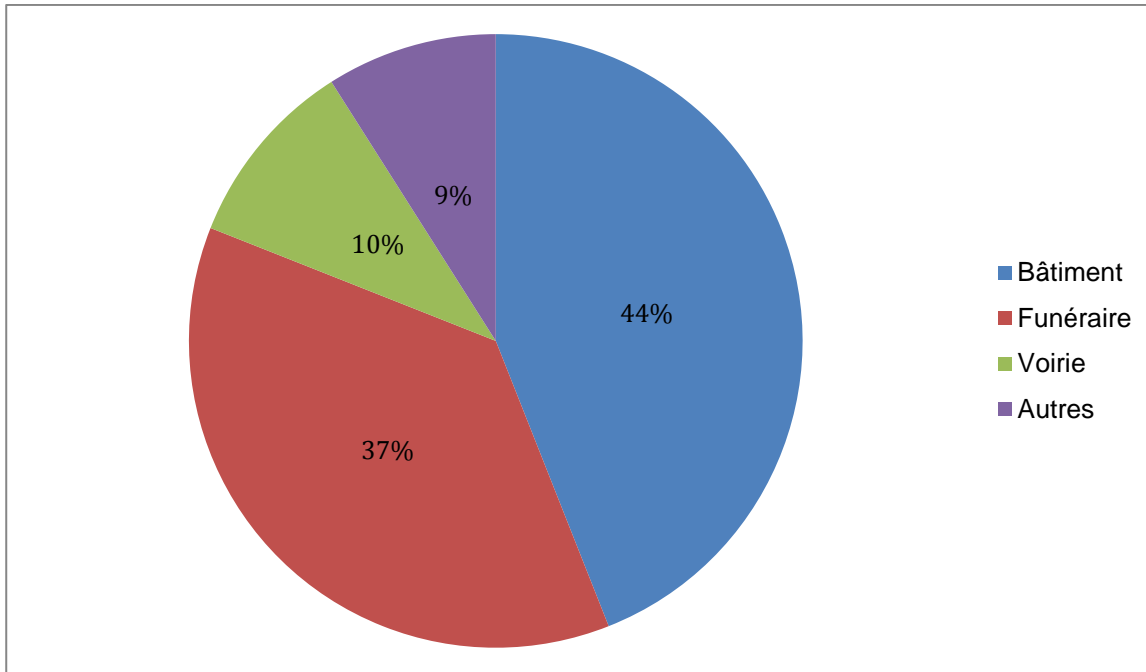
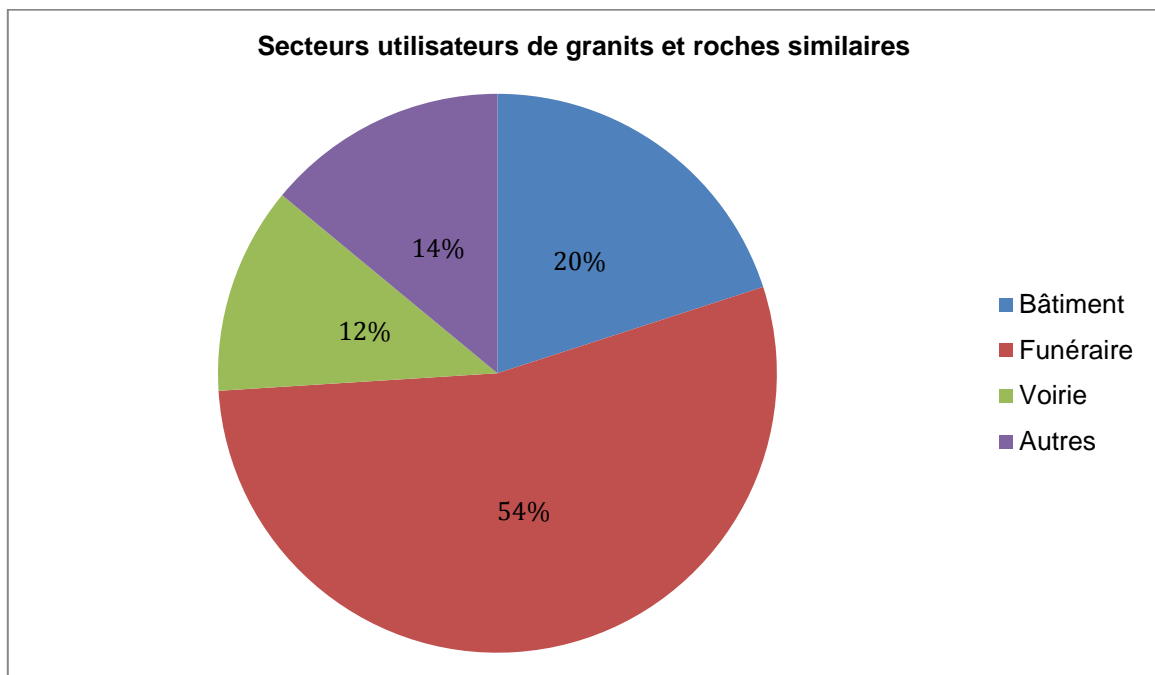
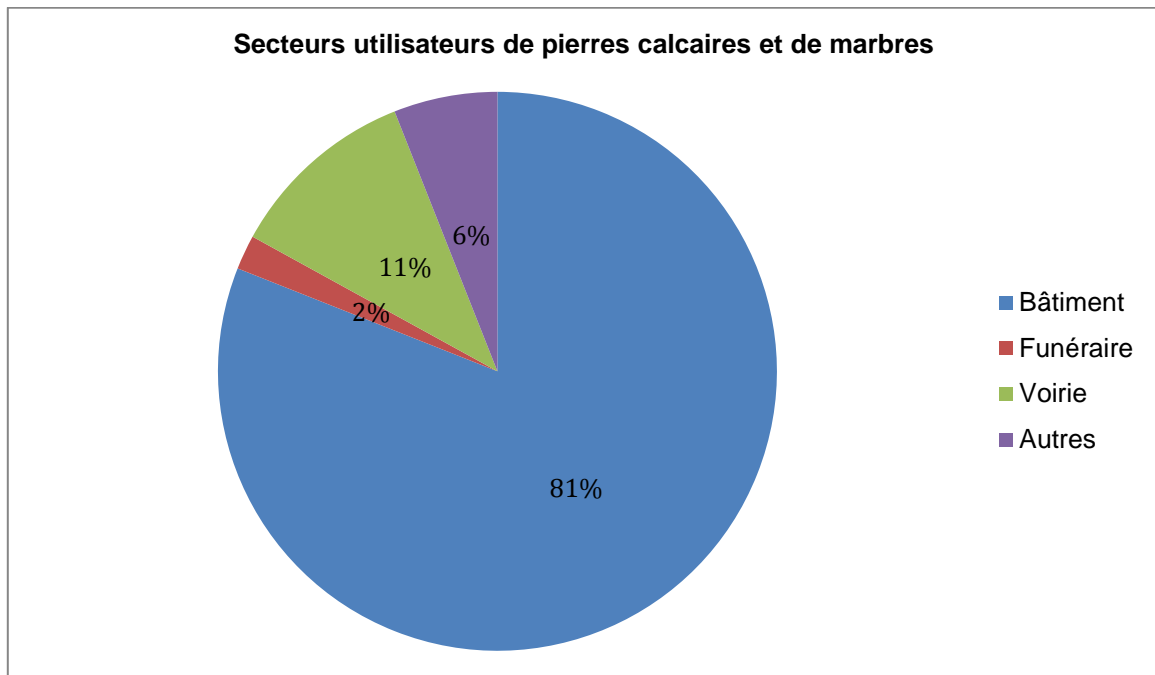


Figure 10 : Usages des ROC par secteur (toutes pierres confondues) (d'après audition de l'Unicem, 2016)

La répartition par secteur utilisateur pour les pierres calcaires et marbres, les granits et roches similaires et les grès est présentée en figure 11 (BRGM, 2014) :



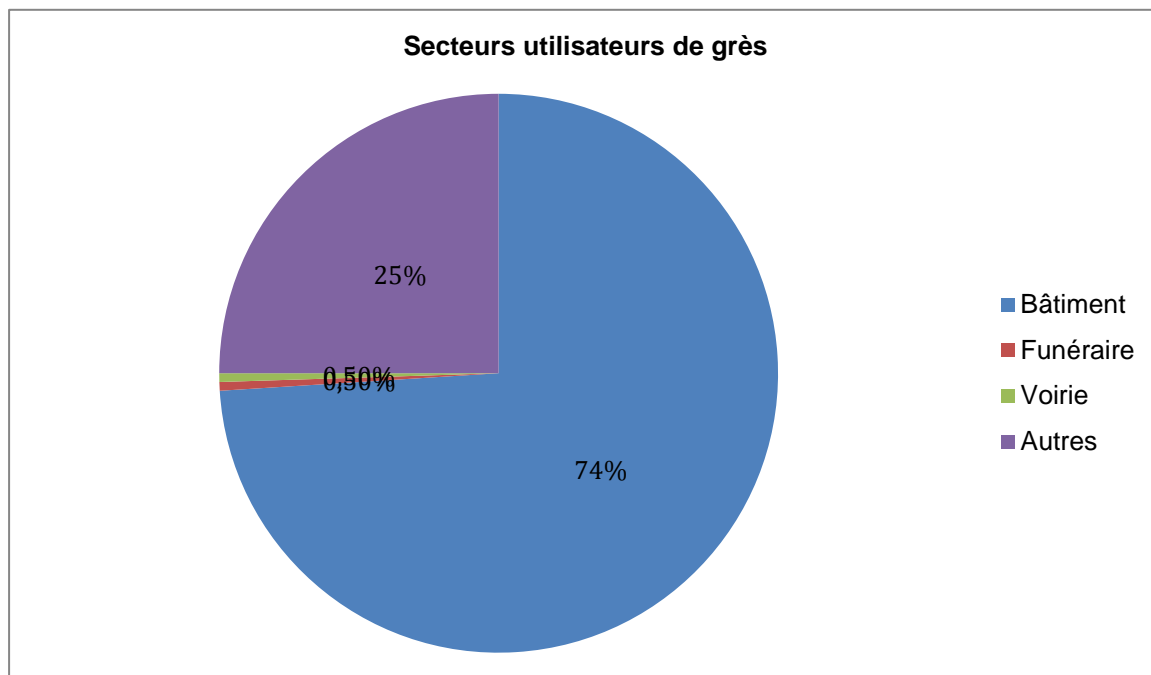


Figure 11 : Usages des ROC par secteur en fonction du matériau exploité (BRGM, 2014)

3.3.4.6 Elimination et recyclage des ROC

Il existe très peu de recyclage sur ces matériaux, qui sont durables et patrimoniaux (jusqu'à 200 000 ans). Les industriels essaient de ne pas perdre le produit mais de le valoriser. Le plus souvent, les roches sont réutilisées en l'état sans autres formes de transformation. Les déchets de carrières sont utilisés prioritairement pour leur réaménagement et pour la production de granulats (d'après audition de l'Unicem, 2016). Le secteur de la voirie recycle certains matériaux (pavés, bordures de trottoir, dalles).

3.3.4.7 Activités/opérations susceptibles de générer des PMAi

Les opérations réalisées sur les ROC sont (d'après audition de l'Unicem, 2016) :

- L'extraction et préfabrication des blocs par sciage à l'outil diamanté. L'extraction de ROC se fait essentiellement en carrières à ciel ouvert. Les trois principales techniques d'extraction en France sont la coupe (sciage) au câble diamanté, la coupe à la haveuse et l'exploitation à l'explosif. La manutention des blocs se fait ensuite par chariots élévateurs, grues ou derricks jusqu'à l'atelier de transformation ;
- La transformation industrielle, qui s'effectue en 3 phases : le sciage primaire, le sciage secondaire et la finition, destinée à donner son caractère fonctionnel et/ou esthétique au produit ;
- La taille de la pierre et autres finitions, en chantier et en atelier, sous système d'aspiration ;
- La pose réalisée par des entreprises spécialisées dans le bâtiment, la voirie ou le funéraire.

Les acteurs associés à ces usages sont : les maçons, les marbriers de décoration, les marbriers funéraires, les tailleurs de pierre, les graveurs, les entreprises du patrimoine. Au total, 25 000 personnes dépendent directement du travail de ces roches.

3.3.5 Les carrières de roches et minéraux industriels

3.3.5.1 Généralités sur les carrières de roches et minéraux industriels

Par définition, ce vocable désigne des roches ou des minéraux non métalliques utilisés, sous forme brute ou le plus souvent transformée, comme matières premières, additifs fonctionnels ou éléments de procédés dans une gamme très étendue d'industries manufacturières. Leur transformation nécessite souvent des investissements importants et peut faire appel à des procédés industriels complexes (calcination, flottation, traitements de surface...). Ces savoir-faire techniques confèrent à ces produits issus du sous-sol une plus grande valeur ajoutée pour des usages très diversifiés dans l'industrie, l'agriculture, le BTP et le génie civil. Les minéraux industriels sont à titre d'exemple les argiles, la silice cristalline, le kaolin, le talc, le mica, le feldspath ou l'andalousite.

Dans le domaine industriel, les roches et minéraux industriels sont plus spécifiquement utilisés :

- Soit comme matières premières indispensables à la fabrication de certains produits comme le verre ou la céramique pour lesquels le quartz, les carbonates, le feldspath et le kaolin sont, sous certaines conditions de pureté, les principaux constituants ;
- Soit comme additifs fonctionnels entrant dans la composition d'un produit manufacturé pour apporter certaines propriétés (ex : carbonates de calcium dans les plastiques pour la blancheur et la résistance aux UV), en modifier d'autres au cours de son procédé de fabrication (ex : argiles kaoliniques sous forme crue ou calcinée (chamottes) pour diminuer et contrôler le retrait à la cuisson d'une pièce céramique sanitaire) ou lui conférer des propriétés d'usage (ex : talc pour le glaçage du papier) ;
- Soit comme éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un procédé de fabrication (ex : moules de fonderie en sable extra-siliceux, supports de cuisson en matériaux réfractaires;) ou à l'élaboration de produits finis (ex : diatomite pour la filtration de liquides alimentaires (bière, vin...)) (d'après audition du MIF, 2016).

La carte des carrières de roches et minéraux industriels de France proposée en figure 12 présente les carrières autorisées sur le territoire français et permet de localiser et d'identifier, par type de substance, les 496 sites en activité en France métropolitaine en 2015.

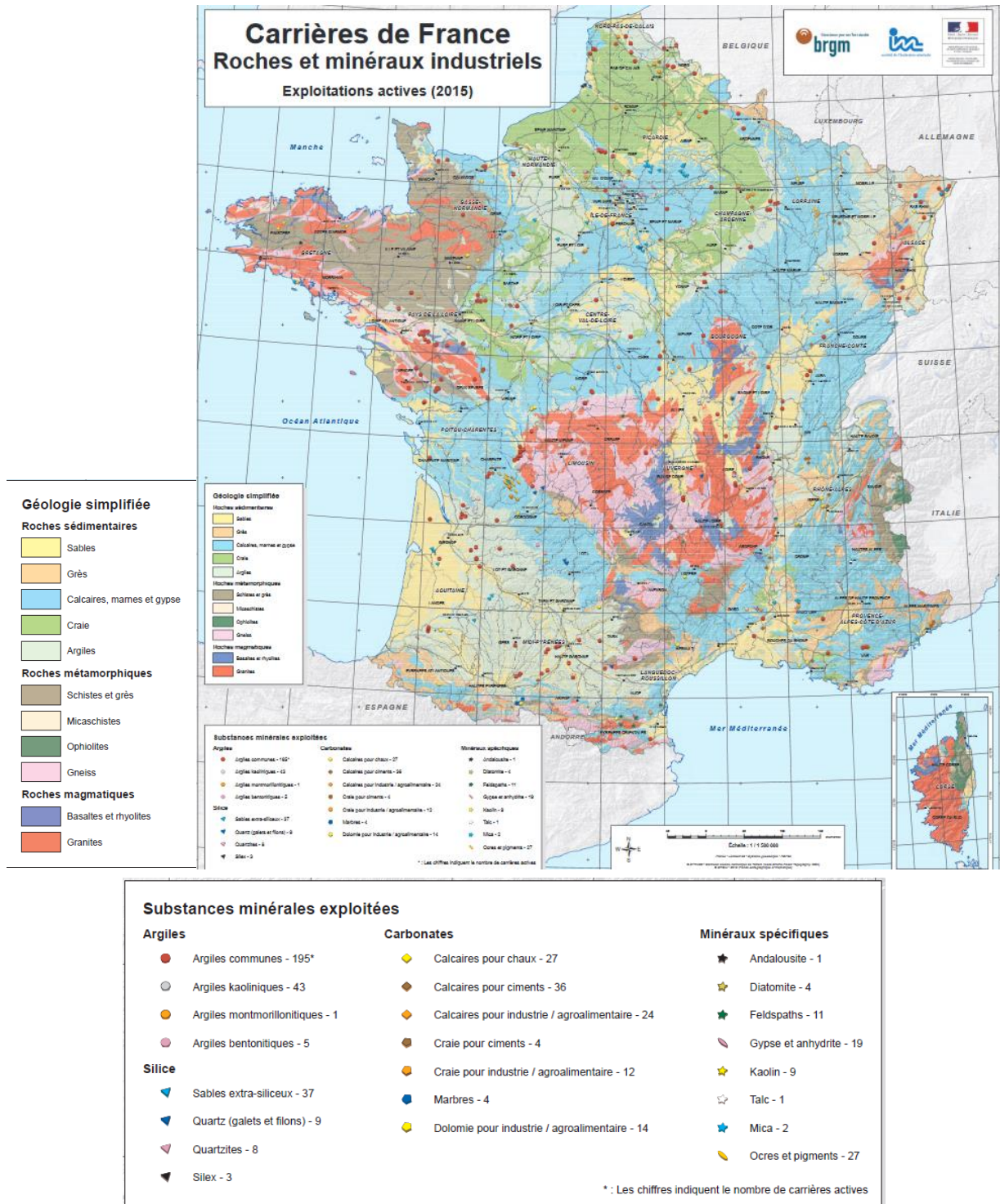


Figure 12 : Répartition géographique des sites d'extraction de roches et minéraux industriels

De manière générale, il existe trois grandes familles de minéraux extraits des carrières : argiles, carbonates et silice puis 10 minéraux importants existants sur le territoire métropolitain (Andalousite, diatomite, feldspaths, gypse, anhydrite, kaolin, talc, mica, ocre et pigments). Seize millions de tonnes sont extraites de carrières en France métropolitaine par an (dont 9 millions par les principaux exploitants des minéraux suivants impliquant 2 500 emplois directs : silice, argiles et chamottes, kaolins, micas, talcs, feldspath et andalousite)

D'après l'audition du MIF, plus de 90 % des carrières se situent en environnement sédimentaire non propice à la formation d'amphiboles contrairement aux environnements cristallins ou

métamorphiques. Cependant, quelques minéraux spécifiques sont associés aux massifs cristallins incluant l'andalousite (silicate d'alumine) et le talc du Massif Pyrénéen.

Concernant le talc et plus précisément la carrière de Trimouns (talc de Luzenac), 400 000 à 450 000 tonnes sont vendues par an (d'après audition du MIF, 2016). Cette carrière a fait l'objet d'investigation dans le cadre d'une expertise de l'Anses entre 2009 et 2012. Par ailleurs, cette carrière de Trimouns a de nouveau été inspectée par le BRGM en mai 2014 avec un classement de carrière en niveau 2 en raison de sa proximité avec le pic d'Ourlès (possibilité d'identifier de la trémolite). Une étude pétrographique complémentaire a été réalisée sur 24 échantillons de roches issus de 3 zones de tir dans les dolomies et d'un sondage traversant tous les faciès dolomitiques de la carrière de Trimouns. Des observations microscopiques sur les 25 lames minces et des analyses à la microsonde (600 analyses) ont été réalisées et ont conclu à l'absence d'amphibole en général et de trémolite en particulier.

Concernant l'andalousite, suite à l'instruction de la DGPR du 22 juillet 2015, une carrière du Massif Armoricaïn a fait l'objet d'investigations complémentaires, notamment en raison de la présence de dolérites associées aux schistes (cornéennes) à andalousite. Une cartographie, des échantillonnages et des analyses micrographiques ont été réalisés. Une douzaine de structures doléritiques filoniennes ont été identifiées dans l'emprise d'une fausse, représentant près de 6 % du volume exploitable. Pour information, ces filons sont forés, minés et mis en verse après identification visuelle et tri favorisé par le comportement mécanique contrasté des schistes friables et des métadolérites très indurées (comparables à des grès). Ces filons ne font pas l'objet d'une exploitation économique. L'étude micrographique a indiqué la présence d'une amphibole, de quartz, d'argiles et de micas dans les faciès altérés. En ce qui concerne l'amphibole, il s'agirait d'après l'audition du MIF d'une « hornblende verte sous forme de paquets flexueux mais qui ne présente pas de faciès asbestiforme ». Cependant, aucune composition chimique permettant de préciser l'amphibole en question et de s'assurer de manière définitive que le gisement n'est pas concerné par la problématique des PMAi n'a été transmise.

Au final, les représentants du MIF soulignent l'absence des minéraux concernés par la saisine. Néanmoins, ils indiquent que ces conclusions concernent uniquement les minéraux extraits des carrières en métropole française et ne peuvent se prononcer sur les minéraux industriels ou les produits fabriqués à partir de ceux-ci qui pourraient être importés. Ainsi, selon la nature géologique de la carrière du site à l'étranger d'où sont extraits les minéraux industriels, il est possible que les PMA ciblées par la saisine soient présentes, soit dans la matière brute, soit dans le produit fini en l'absence de transformation (par exemple : cuisson ou calcination dans le procédé industriel).

3.3.5.2 Utilisation des roches et minéraux industriels

Comme évoqué précédemment, ces minéraux sont largement utilisés comme matières premières de base ou complémentaires dans les processus de fabrication de nombreux secteurs industriels, tels que la céramique, le verre, le bâtiment, les travaux publics, le papier, la cosmétique, le traitement de l'eau, l'agriculture, l'automobile, le médical, l'électronique, etc. pour la fabrication de produits de la vie quotidienne (bâtiment, véhicule, informatique, médicaments, papier, peinture, plastique, verre, etc.) (BRGM, 2016a)¹⁵. A titre d'illustration, une maison contient jusqu'à 150 tonnes de minéraux, présents dans le ciment (argile, carbonate de calcium), le plâtre (gypse), le verre, la peinture, la céramique, les tuiles et briques (argiles). Une voiture contient jusqu'à 150 kilos de minéraux dans les pneumatiques (talc, carbonate de calcium), dans les composants plastiques (talc, carbonate de calcium, kaolin, sel). Le papier est constitué jusqu'à 50 % de minéraux (carbonate de calcium, talc, kaolin, bentonite, sel). Les peintures sont composées de 50% de minéraux (carbonate de calcium, talc, silice, argile plastique, bentonite, mica, sel). Les produits céramiques (carrelage) sont constitués de 100% de minéraux (feldspath, argile, kaolin, talc, silice). Le verre contient 100 % de minéraux (silice, feldspath, borate, dolomie, chaux, sel). Le talc est un excipient pour de nombreux médicaments (comprimé et poudres). Il est également très

¹⁵ http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/carrieres_rmi_france_reduit.pdf

utilisé dans les confiseries et les aliments secs. La diatomite est utilisée dans les procédés de filtration de l'eau, de la bière, du vin et de l'huile (BRGM, 2016b)¹⁶.

3.4 Cas des mines et des gîtes géothermiques

D'après le BRGM (2015)¹⁷, parmi les substances extraites de mines non énergétiques (métaux, métaux précieux, sel, terres rares...), quatre substances sont actuellement exploitées en métropole : 1/ le sel, 2/ les calcaires bitumineux, 3/ la bauxite et 4/ un concentré d'étain, de tantale et de niobium qui est valorisé en tant que co-produit d'une carrière de kaolins. Parmi les 450 concessions valides en France métropolitaine, une vingtaine est actuellement exploitée. Pour les autres concessions valides qui ne sont plus en activité, elles expireront le 31 décembre 2018 si elles ne sont pas exploitées.

L'activité en métropole se concentre principalement sur le sel avec 200 concessions minières, dont une vingtaine est en activité. En 2015, plus de 4,4 millions de tonnes de sel ont été extraites du sous-sol (la majeure partie de la production a été réalisée par dissolution, excepté 160 000 tonnes extraites lors de travaux miniers souterrains), suivies par la bauxite (deux exploitations dans l'Hérault), puis les schistes bitumineux (une mine) et la fluorine (un projet de mine en développement). La France produit de faibles quantités de tantale, de niobium et d'étain dans une carrière à Echassières (Allier) disposant d'une autorisation spéciale. L'activité minière aurifère légale en Guyane est soutenue. Une centaine de titres d'exploitation a été recensée dont les deux tiers concernent des petites superficies attribuées à des artisans. La production est de l'ordre de 1 à 2 tonnes d'or par an.

Depuis 2013, une dizaine de permis exclusifs de recherches de mines M (PER M) a été octroyée en métropole pour des substances variées. Le dernier en date concerne le cas particulier de la mine de Salau à Couflens (Ariège) en vue d'une extraction à terme de tungstène. L'arrêté du 21 octobre 2016 accordant un permis exclusif de recherches a été publié au Journal Officiel le 11 février 2017. Cette autorisation est suspendue aux résultats d'une expertise indépendante concernant l'existence ou non d'amiante dans le massif susceptible d'être exploré.

Par ailleurs, un peu moins d'une dizaine de demandes de PER reste en cours d'instruction sur le territoire métropolitain.

En Nouvelle-Calédonie les activités minières relèvent du gouvernement de Nouvelle-Calédonie. Avec 12 millions de tonnes de réserve minière de nickel, elle se situe au deuxième rang mondial derrière l'Australie (20 millions de tonnes). Seul le nickel et le cobalt qui lui est lié y sont exploités à l'heure actuelle. L'île possède des ressources en chrome, mais son exploitation n'a jamais repris depuis la fermeture de la mine souterraine de Tiébaghi en 1991. La Nouvelle-Calédonie dispose d'autres ressources, mais en quantité trop faible pour en espérer une valorisation industrielle. L'économie du nickel calédonien se caractérise par l'existence de « petits mineurs », propriétaires ou non d'un domaine minier gravitant autour de quatre entités majeures détenant une unité métallurgique (BRGM, 2015). La problématique de la trémolite et de l'antigorite en Nouvelle-Calédonie a fait l'objet d'une expertise précédente par l'Anses (2014).

L'exploitation de ces mines peut conduire selon la nature géologique des sols et sous-sols à l'émission de PMAi ciblées par cette expertise.

La carte présentée en figure 13 illustre l'activité minière en France métropolitaine en 2015.

¹⁶ <http://www.mineralinfo.fr/page/roches-mineraux-industriels-1>

¹⁷ <http://www.mineralinfo.fr/page/potentiel-minier-francais>

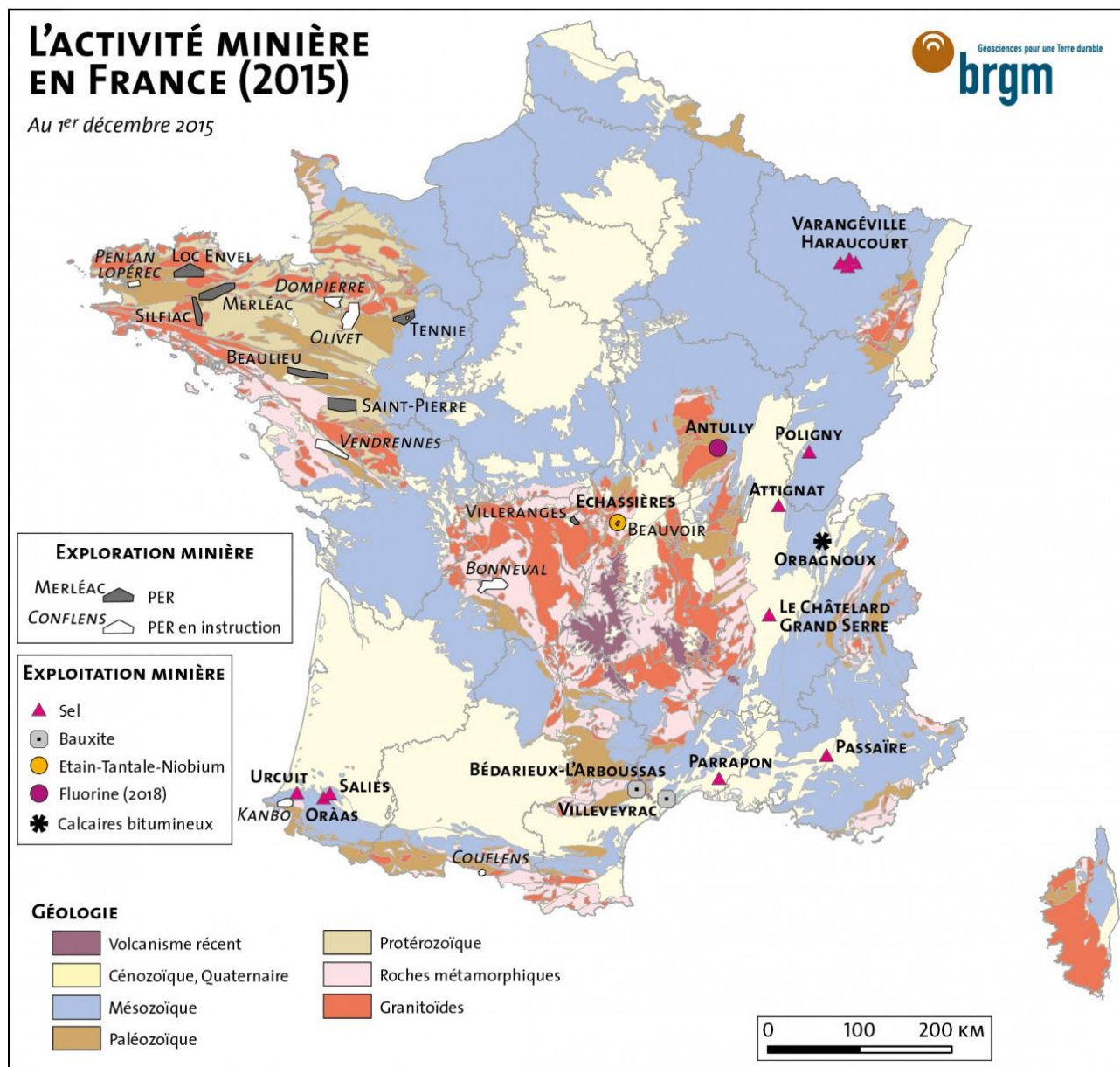


Figure 13 : Répartition géographique de l'activité minière en France en 2015 (BRGM, 2015)¹⁸

Par ailleurs, il existe d'autres activités susceptibles de solliciter le sol et le sous-sol au niveau national. En effet, certains sites géothermiques permettent de produire différents types d'énergie en fonction de la température de la chaleur puisée dans le sous-sol. Parmi les différents types de valorisation de la chaleur géothermique, peuvent être cités :

- La géothermie superficielle aussi appelé géothermie très basse température ou géothermie très basse énergie. Elle exploite la chaleur du sol ou de l'eau du sous-sol à des profondeurs généralement inférieures à 200 mètres de profondeur, pour des températures inférieures à 30°C ;
- La géothermie basse température (ou basse énergie) exploite la chaleur de gisements d'eau situés à des profondeurs de quelques centaines de mètres jusqu'à environ 2 000 m, pour des températures généralement comprises entre 30°C et 90°C ;

¹⁸ <http://www.mineralinfo.fr/page/potentiel-minier-francais>

- La géothermie haute température (aussi appelée haute enthalpie) concerne les fluides dont les températures sont supérieures à 150 °C. Ceux-ci sont mis en production par forages généralement à plus de 1 500 mètres de profondeur. Les ressources de géothermie haute température sont situées dans des zones au gradient géothermal anormalement élevé (jusqu'à 30 °C par 100 m).

A titre d'illustration, en France à fin 2015, 16 permis exclusifs de recherches de gîtes de géothermie profonde ont été octroyés. Par ailleurs à mi-2016, 7 autres demandes de permis exclusif de recherche étaient en cours d'instruction sur le territoire français (Alsace, Auvergne, Aquitaine, Rhône-Alpes, PACA).

3.5 Les secteurs des Travaux Publics (TP) et du Bâtiment et des Travaux Publics (BTP)

3.5.1 Généralités sur les secteurs des TP et du BTP

Le terme « bâtiment » fait référence à la construction d'édifices, à leur aménagement intérieur, à leur entretien, leur restauration ou leur démolition (d'après audition de la FFB, 2016). Les travaux sont effectués par des entreprises de toutes tailles, de l'artisan aux grands groupes multinationaux.

Ces édifices comprennent des logements collectifs, des maisons individuelles, mais aussi des locaux commerciaux et industriels (centres commerciaux, usines, bâtiments agricoles...), des centres de loisirs (piscines, salles de sports, de concert, théâtres, cinémas, musées...) des lieux publics (écoles, mairies, hôpitaux...) ou encore des bâtiments historiques (châteaux, monuments anciens...).

Dans la construction d'un bâtiment, il y a deux étapes clés : le gros œuvre, qui concourt à la solidité et à la stabilité de l'édifice (fondations, murs porteurs, charpentes, planchers...) et le second œuvre, qui regroupe tout le reste : de la toiture aux vitres, en passant par l'électricité, la plomberie, la peinture, le carrelage.

Le terme Travaux Publics (TP) désigne des infrastructures comme les routes, les tunnels, les canalisations et les ouvrages d'art et de génie civil, tels que les ponts, les barrages, les pistes d'aéroport, etc...(d'après audition de la FFB, 2016).

Les entreprises de TP construisent, posent, entretiennent, rénovent les réseaux d'infrastructures (d'après audition de la FNTP, 2016) :

- De communication (routes, rues, autoroutes, ponts, tunnels, lignes de chemin de fer, de lignes à grande vitesse, parkings, pistes cyclables, métro, tramway, voies navigables, ports, réseaux télécoms, numériques, de fibre optique etc.) ;
- D'eau (réseaux d'eau potable, d'eaux pluviales, d'assainissement, stations d'épuration...) ;
- De déchets (usine d'incinération, de retraitement) ;
- D'énergie (centrales nucléaires, hydraulique, charbon etc., lignes électriques aériennes ou enterrées, éclairage public, illuminations, éoliennes...) ;
- De loisirs (stades, bases de loisirs...).

Il existe donc des zones de recouvrement entre les activités TP et BTP. Certaines entreprises interviennent dans les deux activités.

La répartition des secteurs des TP est présentée dans le tableau 7 (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016) :

Tableau 7 : Répartition des différents types de TP (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016)

Secteurs	Répartition par type (%)	Répartition des effectifs (N)
Travaux routiers	36,9	86 000
Canalisations (eau, gaz)	16,7	41 000
Terrassements	17,1	45 000
Travaux électriques	13,7	40 000
Ouvrages d'art	8,3	22 000
Fondations spéciales	2,8	5 500
Travaux de voies ferrées	2,2	7 000
Travaux souterrains	1,1	350
Travaux maritimes	1,0	2 000
Travaux de génie agricole	0,2	250

Ce secteur comprend 8 000 entreprises adhérentes de la FNTP, dont 90 % sont des entreprises de moins de 50 salariés. Concernant les travaux routiers, la structure du secteur apparaît différente avec uniquement quelques acteurs industriels mais impliquant un grand nombre de collaborateurs. Ces entreprises emploient 260 000 salariés et 30 000 intérimaires en équivalent temps plein. Deux-tiers de ces salariés sont des ouvriers.

Les chantiers de TP sont donc des petits chantiers (petites opérations) couvrant un maillage très fin sur le territoire. Beaucoup d'opérations sont donc réalisées au quotidien et nécessitent une mobilisation constante d'équipes sur le terrain. Pour certaines opérations (canalisations de gaz, eau, etc.), des travaux peuvent être conduits en urgence.

D'après les auditions, plus de 600 000 chantiers sont réalisés annuellement, correspondant à une durée moyenne du chantier de 2 à 3 jours (exemple de Paris ou de Lille: plus de 15 000 interventions par an) (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016)

D'autres acteurs peuvent être amenés à intervenir sur les chantiers (opérateurs électricité, gaz, internet, eau, chauffage, collectivités locales, territoriales, SNCF, RATP, etc). Une partie de ces opérateurs se sont réunis en groupe de travail et ont été également auditionnés dans le cadre de cette expertise (d'après audition du GT Opérateurs, 2016). De nombreux opérateurs sont soumis à des obligations de service public et sont amenés à exploiter les ouvrages en concession. A titre illustratif, GRDF et Orange ont respectivement 200 000 et 300 000 kms d'infrastructures de génie civil enterrées et couvrent respectivement 77 % et 82 % de la population française. Ces opérateurs peuvent intervenir en tant qu'employeur et donneur d'ordre, les collectivités territoriales étant les principaux donneurs d'ordre. Les chantiers se répartissent selon quatre grandes classes d'intervention, dont la fréquence et le périmètre varient mais la typologie et la finalité restent similaires. A titre d'exemple, les opérateurs concernés par des canalisations d'eau et de chauffage interviennent, contrairement aux opérateurs électricité, gaz ou internet, sur des tranchées pouvant

être plus larges, plus profondes et en général situées en milieu de chaussée. Les typologies de chantiers se définissent comme suit :

- Des chantiers réseaux (à titre d'exemple, 23 000 par an dans le cadre d'extension ou de modernisation du réseau de gaz avec des longueurs et emprise de fouilles restreintes, environ 100 m sur 0,6 m de large et une profondeur d'environ 0,8 m). La majorité des travaux de terrassements est confiée à des prestataires ;
- Des chantiers branchements (à titre d'exemple, 30 000 par an pour le réseau de gaz sur une surface plus réduite de l'ordre de 1 à 2 m² sur un réseau distant de 4 m en moyenne). La majorité des travaux de terrassements est confiée à des prestataires ;
- Des interventions de sécurité (à titre d'exemple pour le réseau de gaz, 160 000 interventions annuelles, 99 % des interventions se font en moins d'une heure) contractualisées avec l'Etat pour lesquelles l'opérateur s'engage sur le délai d'intervention dans le cadre d'un contrat de Service Public ; seules ces opérations sont effectuées par des salariés de l'opérateur. Les mesures de prévention doivent être anticipées au préalable puisque les délais d'intervention et les modes opératoires (détection de fuite, le recours à l'aspiration ou l'humidification ne sont pas possibles) sont incompatibles avec l'activité ;
- Des opérations de maintenance du réseau (à titre d'exemple pour le réseau de gaz, 30 000 par an, maintenance corrective des ouvrages de distribution avec une emprise de 1 à 2 m²). La majorité des travaux de terrassements est confiée à des prestataires.

Outre les terrassements sur les chaussées ou les trottoirs, des travaux peuvent être conduits dans les bâtiments de la population générale ou leurs propres bâtiments, que ce soit pour la partie occupant/activités tertiaires ou gestionnaire de réseau / production ou maintenance du réseau (à titre d'exemple, percements de cloisons, pose d'équipements et traversées de cloisons dans les colonnes montantes ou maintenance des équipements en place, notamment chez les clients particuliers) (d'après audition du GT Opérateurs, 2016).

3.5.2 Industrie routière

3.5.2.1 Généralités sur les enrobés routiers et sur le réseau routier en France

Il existe une très grande diversité d'enrobés routiers. Ils se distinguent les uns des autres par la granulométrie (distribution statistique des tailles de grain), le type et la teneur en liant, le procédé de fabrication (chaud ou froid) et l'adjonction éventuelle de matériaux particuliers (Anses, 2013).

L'enrobé est utilisé pour la construction et l'entretien des infrastructures routières. Le bitume qu'il contient assure le lien entre les différents granulats et répond aux exigences attendues suivant le domaine d'application du revêtement : autoroutier, routier, de voirie urbaine, portuaire et aéroportuaire (pistes, aires de stationnement, ouvrages neufs, entretien, rénovation).

La technique des enrobés bitumineux est apparue dans les années 1930 et a été développée en France après la seconde guerre mondiale. Elle permet de répondre à des besoins très différenciés. Chaque type d'enrobés a des qualités bien précises, ce qui se traduit par un grand nombre de possibilités dans le choix du matériau à utiliser.

Les enrobés sont préparés en centrale et entreposés dans des silos avec une bonne isolation thermique pour augmenter la durée d'entreposage. Ensuite, le matériau est chargé dans des bennes de camions. La quantité requise est transportée par camion, à chaud, sur le lieu des travaux. Les bennes doivent être munies d'une bâche étanche recouvrant les enrobés pour réduire leur refroidissement et empêcher la formation d'une croûte froide en surface.

La longueur totale du réseau routier en France est estimée à 1 071 176 km, dont (Usirf, 2015) :

- 9053 km d'autoroutes concédées ;
- 2609 km d'autoroutes non concédées ;
- 8901 km de routes nationales ;
- 377 323 km de routes départementales ;

- 673 290 km de routes communales et rues.

Il existe peu de chaussées bétonnées en France, à savoir d'après les auditions : aucune sur le réseau départemental et 1% du réseau autoroutier, soit environ 200 ou 300 km sur le million de kilomètres du réseau routier français. Le béton est utilisé pour des opérations d'aménagements urbains mais qui représentent quelques pourcents de la surface revêtue, de l'ordre de 2% *a priori* (d'après audition de la FNTF, 2016).

La répartition des travaux routiers est la suivante (Usirf, 2015) :

- Travaux neufs : 30 % ;
- Travaux d'entretien et grosses réparations : 70 %.

La question de la présence d'actinolite dans les granulats d'enrobés routiers a conduit à la mobilisation de certaines grandes agglomérations sur le sujet, telles que Bordeaux, Rennes, Nantes, Nancy, Lyon, Paris, Lille, etc. Ainsi, plusieurs milliers de sondages ont été réalisés au niveau de chaque agglomération ou communauté d'agglomérations depuis quelques années, et ce initialement le plus souvent en lien avec la recherche d'autres polluants, tels que le chrysotile ajouté intentionnellement entre 1978 et 1994 d'une part, la silice cristalline ou les HAP d'autre part. Les agglomérations/communauté d'agglomération de Lille Métropole, Rennes Métropole, Nantes métropole, ville de Paris et la métropole du Grand Nancy, interrogés dans le cadre d'une audition de l'Anses, rappellent que ces sondages ont été initiés à des fins de cartographie ou de diagnostics avant travaux. Autant la présence de chrysotile paraît, selon les acteurs, plus aisément identifiable d'un point de vue de la localisation du fait de son utilisation intentionnelle, autant il est difficile d'évaluer précisément la présence d'actinolite dans les voiries. Les acteurs évoquent l'application du guide Usirf et notamment la recommandation d'un prélèvement tous les 200 m (USIRF, DGT, CNAMTS, FNTF, INRS, OPPBTP, GNMSTBTP, 2013). Cette recommandation paraît justifiée pour les autoroutes mais peu pour un contexte urbain. Ils insistent sur la formation à la reconnaissance des matériaux et l'organisation des régies avec du personnel capable d'identifier les zones homogènes pour la stratégie d'échantillonnage. De plus, il semble qu'il existe une disparité géographique selon la provenance des granulats utilisés. Ainsi, la métropole européenne de Lille indique des résultats négatifs pour l'actinolite asbestiforme suite à plus de 6000 carottages réalisés et analysés par des laboratoires. Une des hypothèses expliquant l'absence d'actinolite asbestiforme reposerait sur les sources de granulats en l'occurrence les carrières du boulonnais et de Belgique. Ces carrières sont caractérisées par une géologie dépourvue a priori de filons d'actinolite.

Par ailleurs, les acteurs interrogés soulignent unanimement une importante disparité des résultats rendus par les laboratoires. En effet, ils notent une évolution temporelle des résultats depuis l'émergence de cette problématique avec une forte décroissance des résultats positifs (indiquant la présence d'actinolite) en quelques années alors que le patrimoine urbain n'a pas évolué. Ils relèvent également une hétérogénéité des pratiques des laboratoires pour l'échantillonnage, le prélèvement et l'analyse ainsi que dans l'interprétation conduisant parfois à des résultats contradictoires d'un laboratoire à un autre. Tous les acteurs soulignent par ailleurs les contraintes réglementaires en termes d'obligation de recyclage prévue par la loi avec des difficultés de traçabilité et de caractérisation de la nature des granulats.

Les acteurs s'accordent sur la fragilité et les incertitudes liées à la métrologie, notamment en vue de justifier et de consolider des mesures de prévention. Cela soulève de nombreuses questions techniques, organisationnelles et financières pour le chantier, notamment les interventions sur le chantier, le statut et le traitement des déchets, l'évacuation des eaux usées, etc. La difficulté pour les régies est réelle, notamment pour des travaux de faible ampleur ou non anticipés.

Les acteurs s'interrogent sur l'intérêt de caractériser et de cartographier le réseau puisque des nouvelles constructions ou des réparations de voiries seront sans cesse à prévoir et rappellent la pratique généralisée d'utilisation d'enrobés recyclés. Par conséquent, cela imposera des diagnostics de manière systématique. Il est ainsi difficile d'avoir une prévention globale anticipée.

Ils soulignent l'importance de revenir aux principes généraux de prévention pour les entreprises intervenant et le sujet doit rester la prévention des effets sanitaires (avec, par exemple, une

problématique silice cristalline également à prendre en compte). Il s'agit également d'être vigilant vis-à-vis des possibles injonctions contradictoires des réglementations, transition énergétique, prévention santé au travail, etc.

3.5.2.2 Production d'enrobés et de bitume routiers

Les chiffres de la production française d'enrobés et de bitume routiers sont présentés ci-dessous (Usirf, 2015) :

Tableau 8 : Production française annuelle d'enrobés et de bitume routiers en 2013, 2014 et 2015 (Usirf, 2015)

	2013	2014	2015
Production d'enrobés (en millions de tonnes)	35,4	31,9	31,5
Bitume routier (en millions de tonnes)	2,69	2,43	2,40
<i>Production de liants bitumineux (en millions de tonnes)</i>	1,06	1,02	1,01
Centrales d'enrobages fixes (en unités)	434	430	423
Centrales d'enrobage mobile (en unités)	62	57	46
Total centrales (en unités)	496	487	469
Usines d'émulsion (en unités)	101	98	96

3.5.2.3 Activités/opérations susceptibles de générer des PMAi

Différentes opérations sont susceptibles de générer des PMAi lors (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016) :

- De l'élaboration des matériaux, lors du transport, du malaxage, du concassage et du stockage pour la fabrication d'enrobés, de graves d'assises, de graves de recyclage, de béton ;
- De la mise en œuvre des matériaux, lors du transport, du rabotage, du sciage, du décroustage, du malaxage (recyclage en place), du stockage pour la construction, l'entretien/maintenance ou la réhabilitation des routes et voiries ;
- De la démolition et du retraitement, lors du transport, rabotage, sciage, burinage, décroustage, malaxage, concassage, stockage pour le rabotage, le décroustage ou le retraitement en place des routes et voiries.

3.5.3 Industries du béton et de la démolition

3.5.3.1 Généralités sur les bétons

Le béton est un matériau de construction formé par un mélange de ciment¹⁹, de granulats et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants et des additifs.

Il convient de distinguer deux types de bétons selon que le mélange est :

- **Mis en place sur le chantier : béton prêt à l'emploi (BPE)** : il s'agit de béton frais préparé dans une centrale à béton, généralement extérieure au site de construction. Il est livré sur le chantier, dans des camions-toupie, malaxé et prêt à être coulé. Cette solution représente plus de 70 % du béton utilisé. Le BPE est principalement utilisé pour les ouvrages de volume important impossible à réaliser par d'autres moyens (fondations,

¹⁹ Liant hydraulique, c'est à dire un matériau minéral finement moulu qui, mélangé avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit.

poutres de forte section, massifs...), pour les ouvrages courants dont la réalisation sur chantier est d'un moindre coût (murs banchés, dalles pleines, poteaux...) ou d'ouvrages comportant peu d'éléments répétitifs, pour les liaisons et la solidarisation en béton de produits préfabriqués (Infociments, 2016) ;

- **Préfabriqué en usine** ou sur un site à proximité de l'ouvrage, hors de son emplacement définitif : produits en béton préfabriqués. L'industrie des produits en béton préfabriqués est principalement axée sur deux domaines : les composants standardisés ne nécessitant pas de moyens de manutention trop lourds (blocs, poutrelles, tuiles, pavés, tuyaux, éléments de voirie, etc.), des éléments en béton apparent dont la finition et la qualité exigée sont très difficilement réalisables sur chantier (Infociments, 2016).

Le béton peut adopter des formes très diverses parce qu'il est moulable ; il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. La formulation du béton et sa production répondent à des normes de fabrication. Selon sa formulation, sa mise en oeuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier.

Des exemples de différents types de bétons (BPE et produits en bétons préfabriqués) sont (d'après audition du Cerib et de la FIB, 2016 ; Infociments, 2016) :

- Les **bétons traditionnels**, les plus utilisés en BPE et en préfabrication ;
- Les **bétons secs**, également très utilisés (blocs béton ou « parpaings », pavés, dalles, bordures etc.) Ils peuvent monter assez haut en résistance, c'est la composition du squelette granulaire qui leur confère une grande part de cette propriété (nb : les bétons contenant peu d'eau sont plus résistants mais difficile à manipuler sans recours à des adjuvants) ;
- Les **bétons auto-plaçants** sont mis en oeuvre en usine mais aussi sur chantier sans vibration. Il s'agit de matériaux à démoulage différé (on les laisse durcir en moule ou en coffrage). Ils offrent de nombreux avantages (réduction des délais, gain de productivité etc.) et sont utilisés pour des applications variées dans le bâtiment ou le génie civil : éléments de mur, planchers, poteaux, poutres, regards, etc ;
- Les **bétons à hautes performances**, plus compacts, qui se caractérisent par une durabilité accrue et une haute résistance.
- Les **bétons fibrés** contiennent des constituants spécifiques : fibres métalliques, et/ou polymères etc. Ces bétons présentent en général une meilleure résistance à la traction, une amélioration des résistances mécaniques, une bonne maîtrise de la fissuration, une amélioration en matière de plasticité, de moulage et d'aspect de surface ;
- Les autres bétons aux propriétés variées : bétons lavés, utilisés pour leurs caractéristiques esthétiques, où les granulats peuvent être à nu (le béton est coulé puis lavé pour mettre les granulats à nu). Ce type de béton est moins utilisé. Il existe également des bétons avec des surfaces polies en usine.

La figure 14 illustre la répartition de différents types de bétons en fonction de leur fluidité et de leur résistance à la compression (d'après audition du Cerib, 2016).

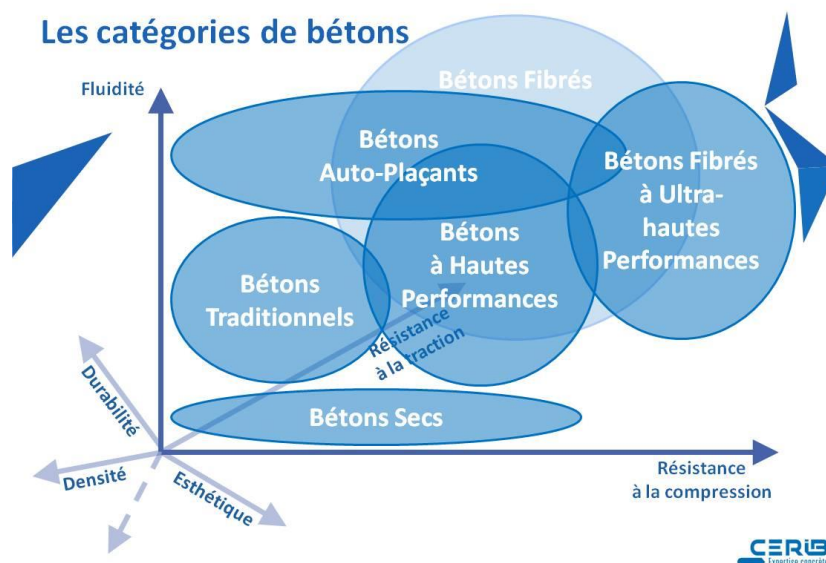


Figure 14 : Répartition des différents types de béton en fonction de leur fluidité et de leur résistance à la compression (d’après audition du Cerib, 2016)

La répartition des différents constituants du béton est présentée dans le tableau ci-dessous (d’après audition du Cerib, 2016) :

Tableau 9 : Répartition en masse et en volume des différents constituants du béton (d’après audition du Cerib, 2016)

Constituants	Proportion en masse (%) (Ordre de grandeur)	Proportion en volume (%) (Ordre de grandeur)
Granulats*	75-85	60-70
Ciment	8-18	7-14
Eau	5,5-9	14-22
Air	-	1-6
Addition minérale	-	1-5
Adjuvant	-	< 2
Fibres	-	< 2
Pigments	-	< 2

*Gravillons, sables, fillers

Il existe des normes couvrant tous ces constituants (cf. marque NF volontaire, marquage CE obligatoire) :

- Granulats : NF EN 12620, NF P 18 545, NF EN 13055-1 ;
- Ciment : NF EN 197-1, NF P 15-317, etc ;
- Eau : NF EN 1008 ;
- Additions minérales : NF P 18-508, etc ;
- Adjuvants : NF EN 934-2 ;
- Fibres : NF EN 14889-1, NF EN 14889-2 ;
- Pigments : NF EN 12878.

Le ciment peut être remplacé par des additions minérales : silice, calcaire, cendres....

Les granulats utilisés dans les bétons peuvent être des gravillons, des sables ou des fillers (granulats de diamètre encore plus fin que les sables (< 80 µm pour la plupart)). De façon générale, plus le béton doit être résistant à la traction et plus le diamètre des granulats utilisés a tendance à diminuer.

Les principales caractéristiques techniques des granulats recherchées en fonction des performances techniques que le béton doit atteindre sont :

- La granularité des coupures constituant le squelette ;
- La teneur en fines ;
- L'absorption d'eau ;
- La masse volumique ;
- La résistance mécanique ;
- L'aplatissement (lié à la forme des granulats) ;
- La teneur en chlorures, sulfates, alcalins actifs ;
- La régularité des caractéristiques techniques.

En effet, la minéralogie des roches exploitées par les carrières a un impact sur la résistance des granulats. Les caractéristiques « résistance mécanique » et « aplatissement » peuvent fournir des indications sur l'origine géologique des granulats. Les bétons auto-plaçants, par exemple, sont fabriqués dans la majorité des cas à partir de granulats roulés (ex : alluvionnaires) ou semi-concassés, plutôt qu'exclusivement concassés afin de faciliter l'écoulement du béton.

Les différentes catégories de béton sont définies dans la norme NF EN 206, et son complément national NF EN 206 / CN dans lequel sont ajoutés des contrôles supplémentaires sur les bétons. L'utilisateur de béton formule ses besoins au fabricant (utilisation du béton, conditions de cure, dimensions de la structure, actions dues à l'environnement auxquelles la structure sera exposée, durée d'utilisation prévue du projet, exigences sur les granulats apparents ou les bétons talochés etc.) qui lui livre un produit conforme à ses exigences (d'après audition de la FFB et du SNED, 2016).

3.5.3.2 Production nationale de bétons, importations/exportations

3.5.3.2.1 *Bétons prêts à l'emploi*

La production nationale annuelle de BPE de 2010 à 2014 est présentée dans le tableau 10 (d'après audition de l'Unicem, 2016).

Tableau 10 : Production nationale annuelle de BPE (2010-2014) (d'après audition de l'Unicem, 2016)

	2010	2011	2012	2013	2014
Millions de m ³	37,5	41,6	39,4	38,7	37,0
Evolution annuelle en %	+ 0,9	+ 11	- 5,3	- 1,7	- 4,6

Les productions régionales de BPE en 2014 sont présentées dans le tableau 11 (d'après audition de l'Unicem, 2016) :

Tableau 11 : Production régionale de BPE en 2014 (d'après audition de l'Unicem, 2016)

	Nombre d'unités de production	Production 2014 (en 1000m ³)	2014/2010	2014/2013	Densité d'unités de production / 10 000 km ²	Consommation par habitant m ³ /an
Alsace	49	1162	-1,8	-10,9	59	0,62
Aquitaine	137	2314	+3,2	-2,3	33	0,69
Auvergne	61	768	+9,6	-1,0	23	0,56
Bourgogne/Franche-Comté	101	1357	-1,1	-6,4	21	0,48
Bretagne	116	2460	-3,9	-2,9	43	0,75
Centre	98	1185	-7,1	-7,1	25	0,46
Champagne-Ardenne	51	898	+ 3,0	+3,0	20	0,67
Ile-de-France	109	5193	-6,1	-7,1	91	0,43
Languedoc-Roussillon	108	2305	+0,9	+3,3	39	0,84
Limousin	30	297	-12,9	-11,4	18	0,40
Lorraine	57	893	-14,8	-9,3	24	0,38
Midi-Pyrénées	133	2114	-10,6	-4,0	29	0,71
Nord/Pas-de-Calais	63	1612	-8,5	-5,0	51	0,40
Normandie	105	1895	-2,7	+0,0	35	0,57
Pays de la Loire	138	2735	-2,3	-6,4	43	0,74
Picardie	42	798	-6,4	+3,5	22	0,41
Poitou-Charentes	70	1291	+13,8	-5,7	27	0,72
PACA	164	3468	-8,9	-7,4	41	0,66
Rhône-Alpes	234	4205	+1,2	-5,0	54	0,65
France entière	1866	36 950	-1,5	-4,6	34	0,58

Certaines carrières disposent de leur propre centrale à béton.

3.5.3.2.2 Produits en béton préfabriqués

La production annuelle de produits en béton préfabriqués est de plus de 20 millions de tonnes. Les exportations concernent surtout les produits à forte valeur ajoutée (essentiellement vers les pays frontaliers). Les importations représentent environ 10 % du chiffre d'affaires et concernent surtout les produits de sol, de planchers, etc. (pays frontaliers, niveaux constants) (d'après audition du Cerib et de la FIB, 2016). Les entreprises de béton préfabriqué sont réparties équitablement sur tout le territoire. En 2013, l'industrie du béton (usines fixes, adhérentes ou non de la FIB²⁰) comprenait 822 établissements et 550 entreprises (certaines entreprises ayant plusieurs sites de production). Globalement, le nombre d'usines est en baisse significative. Quatre vingt-dix neuf pourcent de ces entreprises sont des PME, comprenant en moyenne une vingtaine d'employés par

²⁰ Les entreprises de béton prêt à l'emploi ne relèvent pas de la FIB. Elles dépendent du SNBPE (adhérent Unicem).

site de production (industrie très mécanisée, ne nécessitant pas beaucoup d'employés), principalement en Contrat à Durée Indéterminée (CDI) (emplois locaux). Ces entreprises font également appel à des travailleurs intérimaires. Sur le nombre total d'employés, 50 % sont affectés aux activités de production et 50 % aux activités logistiques, commerciales, etc.

3.5.3.3 Contrôle et traçabilité des bétons

La traçabilité des BPE est assurée *via* le bon de livraison qui accompagne chaque camion. Il indique en particulier le nom et l'adresse du chantier, la date et l'heure de fabrication, la désignation normalisée du béton et la quantité livrée (d'après audition de l'Unicem, 2016).

Dans le secteur de la démolition, les industries ont l'obligation de fournir au maître d'ouvrage un document de recollement qui précise la nature des déchets extraits, les quantités, ainsi que les exutoires. Il existe une procédure de traçabilité spécifique pour déchets dangereux et un logiciel de traçabilité des déchets de chantiers dédiés aux adhérents du SNED : www.igestigo.fr.

En termes de traçabilité, un fabricant de béton connaît la provenance de ses granulats, mais l'information est rarement fournie au maître d'œuvre.

Le maître d'œuvre demande souvent une certification sur le produit en béton, et non sur les granulats utilisés. L'utilisateur de granulats dispose de fiches techniques sur les granulats qui l'informent sur :

- Le site de production ;
- La nature pétrographique ;
- Le processus d'élaboration ;
- Un certain nombre de caractéristiques techniques : granularité, teneur en chlorures, absorption d'eau, etc.

Sur un même chantier, il est possible d'utiliser des bétons de différentes origines, provenant de plusieurs fournisseurs. Il est donc parfois très difficile de retracer l'origine des granulats utilisés dans un bâtiment précis.

3.5.3.4 Transport des bétons

3.5.3.4.1 *Bétons prêts à l'emploi*

Le BPE est un produit frais qui doit être mis en œuvre rapidement : sa mise en place dans l'ouvrage ne doit pas excéder deux heures. Les unités de production de béton sont donc situées à proximité des lieux de consommation. Leur rayon d'action est généralement compris entre 20 et 30 km (d'après audition de l'Unicem, 2016).

3.5.3.4.2 *Produits en béton préfabriqués*

Le transport des produits en béton à faible valeur ajoutée se fait sur de courtes distances (50 km au maximum), du fait du coût du transport. Certains matériaux en béton à forte valeur ajoutée (regards, tuyaux, cadres) peuvent être transportés sur une centaine de kilomètres. Les produits à très forte valeur ajoutée (écrans acoustiques, éléments architecturaux) peuvent être transportés sur tout le territoire.

3.5.3.5 Utilisation des bétons

3.5.3.5.1 Bétons prêts à l'emploi

Les BPE sont destinés aux secteurs du bâtiment (70 %) et des travaux publics (30 %).

Les différents usages des BPE sont présentés sur la figure suivante (d'après audition de l'Unicem, 2016) :

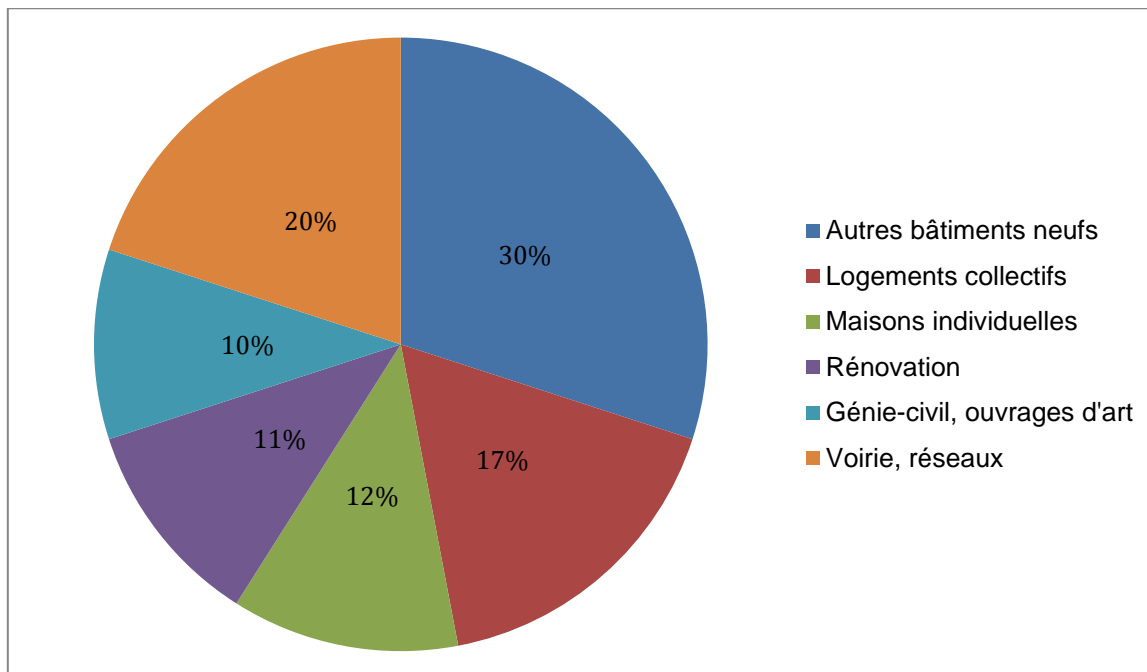


Figure 15 : Utilisation des BPE par type d'ouvrages (d'après audition de l'Unicem, 2016)

3.5.3.5.2 Produits en béton préfabriqués

Les produits préfabriqués en béton sont destinés au secteur du bâtiment (62 %) et au secteur du génie civil et des travaux publics (38 %).

Il est possible, pour une même entreprise, de fabriquer une multitude de produits en béton préfabriqués :

- Bâtiments : blocs, clôtures, éléments architecturaux, escaliers, planchers, tuiles etc ;
- Voirie et Assainissement : bordures, pavages, dalles, tuyaux, regards, etc ;
- Génie civil : éléments pour les ponts, ouvrages, cadres etc ;
- Produits divers.

Les principaux concurrents des produits en béton préfabriqué sont :

- Dans le secteur du bâtiment : les industries de la terre cuite, du bois, du béton coulé en place et de l'acier ;
- Dans le secteur des travaux publics (assainissement / voirie) : les industries du PVC/PEHD²¹, du grès, de la pierre naturelle et du béton coulé en place.

²¹ Polychlorure de vinyle / Polyéthylène Haute Densité

3.5.3.6 Démolition, élimination et recyclage des bétons

Le processus de démolition d'un ouvrage se fait en plusieurs étapes (d'après audition de la FFB et du SNED, 2016) :

- 1/ La dépollution du bâtiment, qui consiste à déposer, par des moyens manuels ou mécaniques l'ensemble des polluants composants le bâtiment (amiante, plomb...);
- 2/ Le curage, qui consiste à déposer, par des moyens manuels ou mécaniques, puis à trier l'ensemble des éléments de second œuvre (huisseries, plafonds, planchers, sanitaires...). A l'issue de cette étape, le bâtiment peut être réhabilité ou démoli ;
- 3/ La démolition à proprement parler, qui consiste à détruire, par des moyens techniques, tout ou partie d'un bâtiment. Cette étape s'accompagne d'un tri des déchets inertes (béton, briques...) en vue de leur valorisation.

Cette démolition peut être :

- Manuelle : opérations de curage ;
- Par sciage-carottage : pour créer des ouvertures, dans un objectif de réhabilitation ;
- Mécanique, par curage lourd ;
- À l'aide de pelles de grandes hauteurs ;
- À l'aide d'explosifs ;
- Par vérinage, en créant une rupture physique entre les étages pour que l'immeuble s'effondre.

Les volumes de déchets sur chantier sont répartis comme suit :

- 1% de déchets dangereux (amiante, plomb, etc.). Ces déchets sont envoyés pour enfouissement dans des centres dédiés ou sont expédiés dans des filières d'inertage (vitrification pour l'amiante) ;
- 10% de déchets non dangereux (plâtre, bois, métaux, fenêtres, etc.). Ces déchets de second œuvre sont issus des opérations de curage et sont triés sur chantier en vue de leur valorisation par des filières dédiées ;
- **90% de déchets inertes** (gravats : parpaings, briques, roches naturelles etc., bétons etc.). Ces déchets sont ensuite le plus souvent concassés sur site (économie de transport). Ils peuvent également être concassés sur des plateformes de tri ou envoyés sur des sites de stockage de déchets inertes (cette dernière solution concerne surtout les gravats qui sont plus difficilement valorisables du fait de leur nature – présence de sulfates, métaux lourds...).

3.5.3.7 Activités/opérations susceptibles de générer des PMAi

3.5.3.7.1 *Bétons prêts à l'emploi*

L'OPPBT a été sollicité afin de déterminer les opérations les plus couramment réalisées sur les matériaux de construction, dont les bétons, les plus émissives et le type de matériel utilisé pour les secteurs du bâtiment et des travaux publics. A noter qu'en l'absence de données de mesures relatives aux PMAi, les données transmises concernent l'émissivité en poussières totales et ne prennent pas en compte la mise en œuvre d'équipements de protection collective ni le port d'un éventuel EPI.

Les opérations listées par l'OPPBT sont :

- Pour le gros œuvre :
 - La fabrication sur chantier de bétons et mortiers (manuelle, mécanique) ;
 - Les travaux de coffrage (bois, banche) ;
 - La mise en œuvre des bétons et mortiers (manuelle, mécanique) ;
 - Les travaux de finition (manuelle, mécanique) ;
 - Les travaux de reprise (manuelle) ;
 - Le ponçage de béton (mécanique) ;
 - L'entretien, maintenance, traitement des fissures (manuelle) ;

- Les opérations de balayage de chantier (manuelle, mécanique).
- Pour l'enveloppe :
 - Les travaux d'étanchéité Classiques (y compris mise en place des graviers de protection) (manuelle, mécanisation légère) ;
 - Les travaux de couverture (y compris reprise partielle des supports) (manuelle, mécanisation légère) ;
 - Les travaux de bardage (y compris reprise partielle des supports) (manuelle, mécanisation légère).
- Pour la finition :
 - La préparation des supports verticaux et horizontaux en béton ou maçonneries (manuelle, mécanique) ;
 - La préparation des enduits, gâchage des produits pulvérulents (manuelle, mécanique) ;
 - La mise en œuvre des enduits (manuelle, mécanique) ;
 - Les travaux de revêtement sols et murs (manuelle) ;
 - L'entretien, la maintenance (manuelle).
- Les activités de démolition (cf. chapitre 3.5.3.7).

3.5.3.7.2 Produits en béton préfabriqués

Peu d'opérations sont réalisées sur chantier sur les produits en béton préfabriqués car ils sont conçus aux formes et dimensions requises pour le chantier. Il est toutefois possible que des interventions sur les produits en béton préfabriqués soient réalisées ponctuellement sur chantier, par exemple :

- Découpes en cas d'ouvertures non prévues lors de la commande ;
- Raccordements réalisés au cours de la vie de l'ouvrage ;
- Fixation d'éléments sur les produits en béton, etc.

D'autres interventions de finition (e.g. percements) peuvent également générer des poussières.

3.5.4 Les autres secteurs des TP

Des **exemples** d'activités susceptibles de générer des PMAi dans les secteurs des canalisations, voies ferrées, terrassement, travaux électriques sont présentées dans le tableau 12 (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016).

Tableau 12 : Activités susceptibles de générer des PMAi dans les différents secteurs de TP

Secteur TP	Activités	Processus potentiellement émissif
Canalisations	Interventions sur canalisations : construction, entretien/maintenance, réhabilitation	Transport de matériaux, sciage, burinage, rabotage, décroustage, ouverture de fouille, malaxage (recyclage en place), remblayage de fouille, stockage.
	Travaux divers VRD	Transport de matériaux, ouverture/remblayage de tranchées, burinage/sciage, décroustage, malaxage (recyclage en place), stockage.
Voies ferrées	Interventions sur voies ferrées : construction (ballast, béton, enrobé...), entretien/maintenance, réhabilitation	Transport de matériaux, burinage, sciage, concassage, malaxage, stockage.
	Démolition / recyclage : démontage (attaches, rails...), lavage, criblage, concassage et remise en place des ballasts	Transport de matériaux, sciage, concassage, criblage, malaxage, stockage.
Terrassement	Construction d'ouvrages en terre (déblais/remblais) : extraction, décroustage, compactage, concassage, criblage, épandage, malaxage et traitement en place, stockage, reprise/réutilisation/recyclage	Transport de matériaux, concassage, criblage, malaxage, stockage.
Travaux électriques	Installation, maintenance, modification de réseaux souterrains de distribution électrique, télécommunications, équipements électriques (éclairage, signalisation routière, parcmètres, etc.)	Transport de matériaux, sciage, burinage, décroustage.

D'autres secteurs des TP listés dans le tableau 7 peuvent être concernés par la problématique des PMAi, comme les travaux souterrains.

3.6 Secteur des déchets et du recyclage

3.6.1 Généralités sur le recyclage des déchets de TP

Le recyclage des déchets du TP se fait sur des plateformes dédiées, soit en carrières, soit sur des sites spécifiques et permet de valoriser les matériaux récupérables. Les déchets inertes issus des chantiers de TP représentent **environ** 210 millions de tonnes par an (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016) :

- 14 millions de tonnes de bétons (et graves traitées aux liants hydrauliques) ;
- 9 millions de tonnes d'enrobés et produits à base de bitume ne contenant pas de goudron ;
- 11 millions de tonnes d'autres matériaux de démolition de chaussées ;
- 160 millions de tonnes de terres et cailloux non pollués (y compris déblais mais hors terre végétale) ;
- 2,5 millions de tonnes de boues de dragages ;
- 1 million de tonnes de ballasts voies ferrées non pollués ;
- 11 millions de tonnes de déchets inertes en mélange ;
- 1 million de tonnes de briques, tuiles, céramiques, ardoises.

Sur ces 210 millions de tonnes **environ** :

- 147 millions de tonnes sont triées, réutilisées, recyclées ;
- 36 millions de tonnes vont en réaménagement en carrières ;
- 34 millions de tonnes sont stockées.

Les volumes de matériaux du TP recyclés sont en constante évolution pour atteindre des objectifs volontaires ou législatifs dans l'esprit de l'économie circulaire. Il y a un engagement volontaire de la France pour la croissance verte, dans lequel les acteurs s'engagent à augmenter la proportion de granulats recyclés pour participer à l'objectif de 70 % de recyclage des déchets de la construction au sens large (article 11 § 2-b de la Directive 2008/98/CE du 19 novembre 2008). Il s'agit donc de privilégier des usages de proximité, l'objectif étant de limiter le transport des matériaux. Une traçabilité complète des granulats recyclés est difficile à assurer. Les granulats recyclés sont essentiellement utilisés en voirie, principalement pour la fabrication d'enrobés routiers ou pour le réaménagement des carrières.

Les déchets du BTP peuvent être recyclés sur place, si besoin pour un nouveau chantier, transportés sur un autre chantier ou transportés vers des plateformes de recyclage en carrières ou des plateformes spécifiques. Les déchets inertes ultimes (matériaux sans valeur ajoutée) sont utilisés pour les réaménagements de carrières ou d'anciens sites. Le recyclage des déchets du BTP permet de valoriser les matériaux récupérables (béton, matériaux de construction, enrobés). Les volumes ainsi traités sont en constante augmentation pour atteindre les objectifs volontaires ou législatifs (Loi n°2015-992 du 17 août 2015) de recyclage dans l'esprit de l'économie circulaire.

Dans le secteur de la démolition, 24 millions de tonnes de matériaux de construction sont recyclés chaque année, dont 8 millions de tonnes directement sur chantiers et 16 millions de tonnes sur des plateformes de recyclage. Actuellement, une faible partie des granulats issue des déchets de béton de chantier est concassée et criblée afin de produire des granulats principalement à usage des chantiers routiers. En France, les granulats provenant de bétons de déconstruction ne sont actuellement pas ou peu recyclés pour la formulation de nouveaux bétons, comme cela peut être le cas dans d'autres pays d'Europe (e.g. Allemagne). Cela est lié au fait qu'il est difficile de maîtriser parfaitement la composition des bétons recyclés. Le projet national « Recybeton » engagé en 2012 a pour objectif de développer des techniques pour parvenir à un recyclage complet des bétons issus de la déconstruction dans de nouveaux bétons. Les résultats de ce projet étaient en 2016 (d'après audition de la FFB, du SNED, du SRBTP et de l'Unicem, 2016).

3.6.2 Etude du BRGM sur les gisements de déchets d'amiante et les filières de traitement disponibles

Une estimation des quantités de déchets d'amiante actuellement produites en France métropolitaine a été réalisée par le BRGM en vue de confronter ces données aux capacités des exutoires habilités à les éliminer (BRGM, 2017). Cette étude avait également pour objectif de réaliser une analyse prospective de cette situation à +10 ans et +20 ans. Dans le cadre de cette étude, seuls les déchets d'amiante au sens strict (ou réglementaire du terme) ont été considérés. Le cas des granulats extraits de carrières exploitant des matériaux potentiellement amiantifères²² et les déchets résultant de leur utilisation en TP et dans les bâtiments n'a pas été pris en compte dans cette étude du fait que le traitement des déchets de granulats ne fait actuellement pas l'objet de dispositions particulières au regard de leur potentielle teneur en amiante.

Néanmoins, la production de ces granulats, leurs utilisations et les déchets à venir qu'ils représentent ont été évalués **à titre indicatif**. Il ressort de cette étude que :

- La quantité de granulats produite depuis les premières années d'autorisation d'exploiter les carrières pourrait être de l'ordre de 150 millions de tonnes (entre 100 et 170 millions de tonnes) ;
- Les quantités de fraisâts d'enrobés générées seraient de l'ordre de 360 000 tonnes (entre 250 000 et 400 000 tonnes) ;
- La production de déchets de béton de démolition serait de l'ordre de 1,5 millions de tonnes par an à partir de 2020 ;
- Concernant l'hypothèse d'une utilisation en voirie, avec une durée de vie présumée de 100 ans, la question du renouvellement de ces granulats pourrait n'apparaître qu'à long terme (à partir de 2070) et générerait de l'ordre de 1,9 millions de tonnes par an de déchet à évacuer.

Une décision conduisant à éliminer, en tant que déchets d'amiante, les produits issus de granulats de carrière à occurrences fibreuses asbestiformes fréquentes provoquerait dès 2023 un important déficit des capacités d'élimination.

L'étude souligne également une forte disparité territoriale en exutoires et en installations de collecte des déchets d'amiante.

3.6.3 Elimination et recyclage des enrobés routiers

Les déchets des enrobés routiers doivent être envoyés sur une plateforme spécifique pour être traités en ISDI (Installation de Stockage de Déchets Inertes). Si les enrobés contiennent du chrysotile, ils sont envoyés dans des centres de stockage spéciaux. Il existe des obligations très spécifiques d'enfouissement de ces déchets et de contrôle des sites d'enfouissement (d'après audition du CIGO, 2016).

Le recyclage en centrale d'enrobage à chaud concerne principalement les mélanges granulaires liés avec du bitume. Ils sont issus du démontage d'anciennes chaussées en place, démontage général ou partiel ou de fabrications d'enrobés mises au rebut. Cela concerne aussi bien les couches de roulement, liaison, base et fondation. Ces matériaux sont définis sous le terme d'agrégats d'enrobés dans la norme NF P 98-149. La norme européenne NF EN 13108-8 traite de la caractérisation des agrégats d'enrobés pour le recyclage à chaud en centrale (Anses, 2013).

Le volume de déchets inertes issus des routes et voiries est estimé à 20 millions de tonnes par an, dont (d'après audition de la FNTP et de l'Usirf, 2016) :

- 9 millions de tonnes d'enrobés et produits à base de bitume ne contenant pas de goudron ;
- 11 millions de tonnes d'autres matériaux de démolition de chaussées.

²² Cf. chapitre 3.3.2

Les granulats issus de ces matériaux peuvent être recyclés pour la fabrication de nouveaux enrobés routiers.

3.7 Les autres secteurs hors TP / BTP

Le secteur de l'agriculture, et notamment les activités de soutien à l'agriculture incluant la préparation des terres, les opérations de récoltes, le maintien des terres agricoles en bon état, l'exploitation de systèmes d'irrigation pourrait être concerné par la problématique des PMAi dès lors que des opérations sont réalisées sur des sols susceptibles de contenir les espèces minérales ciblées dans la saisine.

Par ailleurs, le secteur des transports par voie ferrée, *via* l'usure des ballasts, par voie routière et/ou aérienne, *via* l'usure des routes pourrait également potentiellement être concerné par la problématique des PMAi.

3.8 Conclusion

En France, les principaux domaines géologiques dans lesquels des roches contenant l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées sont connues, correspondent à la chaîne des Alpes Occidentales et à son prolongement en Corse, aux massifs cristallins externes des Alpes, au Massif Central, aux Vosges, au Massif Armoricain et à la chaîne des Pyrénées.

Parmi les espèces minérales ciblées dans la saisine, l'**actinolite** et la trémolite sont les plus fréquemment identifiées en France.

L'étude de filière a mis évidence que de nombreux secteurs peuvent être concernés par la présence d'espèces minérales d'intérêt dans des environnements naturels ou des matériaux manufacturés à partir de matériaux naturels.

En amont de la filière, l'extraction de matériaux de carrières est le premier secteur d'activité pouvant être concerné par la problématique des PMAi. En termes de nombre de sites et de volume de matériaux extraits chaque année, les carrières de granulats sont les plus concernées. La présence d'espèces minérales d'intérêts dépend de la nature des matériaux exploités. Les granulats extraits des carrières sont utilisés principalement pour les travaux de BTP et TP suivants : travaux routiers et ferroviaires²³, les travaux de Voirie et Réseaux Divers (VRD), l'endiguement et autres usages pour infrastructures (58 %), pour la fabrication de bétons (~32 %, principalement le Béton Prêt à l'Emploi) et, dans une moindre mesure, pour les enrobés routiers (9 %) et les ballasts (1 %).

La traçabilité des granulats est difficile à assurer du fait de mélange et de la part croissante de l'utilisation de matériaux recyclés, notamment pour les travaux de voiries. Les granulats extraits des carrières potentiellement concernées par la problématique des PMAi sont généralement utilisés dans des ouvrages situés dans un périmètre restreint autour de la carrière (~ 50 km) du fait du transport des matériaux (granulats et bétons) sur de faibles distances.

Les secteurs d'activité intervenant en environnement naturel dans des zones géographique concernées par la présence d'espèces minérales d'intérêt peuvent également être concernés par la problématique des PMAi.

Il n'a pas été possible d'évaluer précisément le nombre d'entreprises et de salariés potentiellement concernés par la problématique des PMAi. Les données disponibles ne permettent donc pas de hiérarchiser les secteurs potentiellement concernés par la problématique des PMAi en France.

²³ Hors enrobés routiers et ballasts : sous-couches de plateformes de structures routières et ferroviaires.

4 Données d'émission et d'exposition aux PMAi

Afin d'identifier les nouvelles données concernant l'exposition aux PMAi, la présence de minéraux d'intérêts dans les matériaux et l'émissivité potentielle en PMAi, une recherche au travers de la littérature scientifique a été réalisée suite à la publication des travaux d'expertise relatifs aux fragments de clivage (Anses, 2015). Des données d'empoussièrement et d'exposition ont également été transmises par le ministère en charge de l'environnement.

4.1 Revue de la littérature

Les études ont été identifiées à partir d'une recherche sur les bases de données Pubmed et Scopus (date de publication 2015 à juillet 2016) à partir des mots clefs suivants : « actinolite OR anthophyllite OR tremolite OR grunerite OR riebeckite OR fluoro-edenite OR fluoroedenite OR winchite OR richterite OR erionite OR antigorite OR asbestiform OR "elongate mineral particles" OR "elongated mineral particles" OR amphibol* OR "naturally occurring asbestos" » associés aux mots clés suivants : « Air* », « exposure* », « Abrasion », « Aggregate* », « Concrete », « Pavement », « Soil », « Quarr* », « road* OR highway* », « Rock* », « Ston* ». Après un premier tri en considérant le titre et le résumé de la publication, 5 études ont été identifiées.

Une étude supplémentaire a été identifiée dans une revue non indexée par les bases de données Pubmed et Scopus.

Le GT s'est attaché à relire ces 6 études à l'aide d'une grille de lecture renseignant les éléments relatifs à l'origine des PMA (secteurs, milieux analysés), à la description des PMA, aux données métrologiques : protocole(s) de prélèvement, traitement de l'échantillon, technique analytique, critères de comptage, prise en compte de paramètres pour la discrimination des PMA. Ces 6 études sont résumées dans le Tableau 13.

Parmi ces 6 études, deux s'avèrent inintéressantes dans le cadre de ces travaux d'expertise, à savoir Moitra *et al.* 2015 et Bateson *et al.* 2015 car elles n'apportent pas d'éléments concernant l'exposition aux PMA ou l'émission de PMA depuis des matériaux. En effet, l'étude de Moitra *et al.* 2015 est une revue très générale sur les maladies pulmonaires professionnelles et environnementales émergentes dans laquelle l'amiante est mentionné, mais cette étude ne s'intéresse pas aux amphiboles ni aux PMA. Quant à Bateson *et al.* 2015, les données d'exposition rapportées concernent les amphiboles de la mine de Libby au Minnesota, mais sont basées sur des analyses réalisées en Microscopie optique à Contraste de Phase (MOCP), technique ne permettant pas une qualification des PMA.

L'étude la plus intéressante est celle de Van Orden *et al.* (2016) qui s'attache à caractériser la distribution granulométrique des fibres « d'amphiboles amiante » et des particules « d'amphiboles non amiante » par microscopie électronique à balayage à effet de champ (FESEM) afin de déterminer les différences et similitudes entre ces deux populations.

Cinq échantillons de minéraux « amphiboles amiante » (un d'actinolite amiante, deux de grunérite amiante (amosite), un de riebeckite amiante (crocidolite) et un de trémolite amiante) et cinq échantillons de minéraux « amphiboles non-amiante » (actinolite, grunérite, cummingtonite, riebeckite, trémolite) ont été sélectionnés sur la base de leur morphologie :

- Les échantillons « d'amphiboles amiante » présentent des fibres courbées et/ou en faisceaux ;
- Les échantillons « d'amphiboles non-amiante » présentent de larges cristaux, aciculaires, en lames ou prismatiques.

Après broyage à l'aide d'un moulin à café, mise en suspension de la poudre obtenue dans l'eau et soumise aux ultrasons durant 3 minutes, puis prise d'un aliquote en milieu de suspension et dépôt

sur un filtre en polyester, les échantillons sont analysés par FESEM. Les échantillons « d'amphiboles amiante » sont observés à un grossissement de X 18060 et les échantillons « d'amphiboles non-amiante » à un grossissement de X 5540. Les particules ayant une longueur supérieure à 2 µm et un diamètre inférieur à 3 µm sont comptabilisées par le biais d'un dispositif d'analyse d'images automatique, sans condition sur le ratio L/D.

Cette étude confirme qu'il existe un chevauchement dimensionnel entre les deux populations (asbestiforme et non asbestiforme). Les auteurs identifient des caractères dimensionnels « typiques » de la population de fibres dites « asbestiformes » :

- Diamètre < 0,5 µm ;
- Longueur > 10 µm ;
- Ratio L/D > 30.

Toutefois, cette étude souffre de limites notables :

- Les modalités de préparation des échantillons sont insuffisamment décrites ;
- Deux grossissements différents ont été utilisés pour observer et mesurer les particules.

En outre, il est à noter que cette étude a été financée par la NSSGA (National Stone, Sand, and Gravel Association), association américaine des pierres, sables et graviers.

Deux autres études concernent les amphiboles de Libby. Elles s'intéressent aux expositions résidentielles (Ryan *et al.* 2015) ou professionnelles chez des travailleurs forestiers (Harper *et al.* 2015). Ces études présentent également des limites méthodologiques, notamment la non-prise en compte des PMA de diamètre inférieur à 0,25 µm (Cf. Tableau 13).

L'étude de Locati *et al.* 2015 s'est attachée à évaluer les changements de morphologie et de taille de minéraux asbestiformes (trémolite asbestiforme) en simulant la dégradation naturelle par l'eau à l'aide de tests d'agitation. Cette étude met en évidence une dégradation de ces matériaux asbestiformes dans les conditions de réalisation du test, suggérant la nécessité d'une surveillance de ces matériaux. Une réduction de la longueur et du diamètre des fibres est observée au fil du temps, mais le ratio L/D reste constant, voire augmente. Cette étude présente des limites affaiblissant la portée de ses conclusions : le test mentionné n'étant pas référencé par une norme ou par tout autre document de référence, la question de la pertinence de cet essai en vue de l'objectif recherché se pose. Par ailleurs, ni l'échantillonnage (notamment modalités de choix et quantités de matière prélevées), ni certains paramètres de la préparation de l'essai (molarité de HCl, volume utilisé, durée d'action...) ne sont décrits. Aucun tableau d'analyse et/ou diagramme pour la composition chimique des différentes populations d'amphiboles considérées n'est disponible. De plus, cette étude, même si elle décrit également des matériaux contenant des amphiboles non asbestiformes (trémolite et magnésio-hornblende) étudie l'effet de la dégradation naturelle uniquement sur les échantillons de trémolite asbestiforme.

En conclusion, aucune donnée concernant l'exposition aux PMAi, la présence de minéraux d'intérêt dans les matériaux et l'émissivité potentielle en PMAi depuis ces matériaux n'a été considérée pertinente par le groupe de travail depuis la parution du rapport d'expertise relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015).

Tableau 13 : Synthèse des études identifiées dans la littérature relative aux émissions et expositions potentielles aux PMAi (date de publication 2015 à juillet 2016)

Référence	Objectif	Type de fibre / PMA	Observations	Conclusions
Moitra <i>et al.</i> 2015	Article de revue générale sur les maladies pulmonaires professionnelles et environnementales émergentes dans une perspective globale.	Amiante.	Article très général. Amiante mentionné, mais pas les PMA.	Pas d'intérêt pour la saisine.
Bateson <i>et al.</i> 2015	Évaluation des influences des erreurs de mesure d'exposition causées par les données estimées d'exposition historiques sur les risques de cancer du poumon. Cohorte des travailleurs de la mine de Libby.	Amphiboles de Libby (LA).	Données basées sur des analyses réalisées en MOCP.	Pas d'intérêt pour la saisine.
Harper <i>et al.</i> 2015	Évaluation de l'exposition du personnel forestier à proximité de la mine de Vermiculite Libby. Comparaison des méthodes de comptage NIOSH/US EPA. Estimations des risques de cancer en utilisant les méthodes de l'EPA.	Amphiboles de Libby (LA).	Très faible nombre de fibres quand détectées. Extrapolation impossible (variabilité spatio-temporelle des expositions). Quelques tâches investiguées. Absence de micrographies MET ²⁴ permettant d'illustrer la morphologie des LA amphiboles. Travailleurs : résidents locaux => exposition résidentielle.	Peu d'intérêt pour la saisine.

²⁴ Microscopie Electronique à Transmission.

Référence	Objectif	Type de fibre / PMA	Observations	Conclusions
Ryan <i>et al.</i> 2015	Description des données disponibles sur les expositions aux LA à partir des actions de pré-assainissement de l'US EPA. Développement d'une approche pour caractériser les expositions extérieures résidentielles des enfants aux LA.	Amphiboles de Libby (LA).	Fibres fines non prises en compte ($D > 0,25 \mu\text{m}$). Fragilité des données basées sur des sondages relatifs aux souvenirs de durées et fréquences d'activités menées durant la petite enfance => Possibilité d'un biais de classification pour les maisons et les activités. La granulométrie de la fraction fine mentionnée pour l'analyse des sols n'est pas définie. Grande variabilité des résultats.	Peu d'intérêt pour la saisine.
Locati <i>et al.</i> 2015	Évaluer les changements de morphologie et de taille des minéraux asbestiformes en simulant la dégradation naturelle par l'eau à l'aide de tests d'agitation. Mesure de l'évolution des paramètres L/D en fonction du temps, après agitation d'un échantillon dans un milieu aqueux.	Trémolite asbestiforme et amphiboles non asbestiformes (trémolite et magnésio-hornblende).	Mise en évidence de la dégradation de matériaux asbestiformes par l'effet d'intempéries : réduction L et D, mais ratio L/D constant ou en augmentation. <u>Points faibles :</u> – Amiante recherché. – Test mentionné non référencé par une norme ou un autre document ⇒ Pertinence en vue de l'objectif recherché ? – Aucune description sur l'échantillonnage, les modalités de choix et les quantités de matière prélevées. La molarité de HCl, le volume utilisé et la durée d'action ne sont pas décrits. – Absence de tableaux d'analyse et/ou de diagrammes pour la composition chimique des différentes populations d'amphiboles considérées.	Peu d'intérêt pour la saisine.

Référence	Objectif	Type de fibre / PMA	Observations	Conclusions
Van Orden et al. 2016	Caractérisation de la distribution granulométrique des fibres « d'amphiboles amiante » et des particules « d'amphiboles non amiante ». Détermination des différences et similitudes entre les deux populations.	5 minéraux « amphiboles amiantes » : actinolite amiante, grunérite amiante (amosite) (2échantillons), riebeckite amiante, trémolite amiante 5 échantillons minéraux « amphibole non-amiante » : actinolite, grunérite, cummingtonite, riebeckite, trémolite	Analyse FESEM, comptage et mesures des caractéristiques dimensionnelles par analyse d'images. Points faibles : – Manque d'informations relatives à la préparation – Utilisation d'un grossissement différent pour observer les deux populations de particules.	Pas d'information nouvelle.

4.2 Données carrières

Suite à l'expertise réalisée par le BRGM pour établir un diagnostic du potentiel amiantifère des carrières actives et à la publication de l'instruction ministérielle du 30 juillet 2014, des arrêtés préfectoraux ont été pris pour :

- Imposer aux exploitants dont les carrières avaient été classées en 2 ou en 3 de faire réaliser, par un géologue, un plan de repérage des roches contenant des amphiboles ;
- Pour toutes les carrières de classe 3, demander que soient réalisées par un laboratoire accrédité, des campagnes de prélèvements dans l'air en limite d'exploitation, dans le but de rechercher la présence potentielle de fibres d'amiante (Cf. chapitre 3.3.2).

Des rapports de plan de repérage des amphiboles et des données de mesures d'empoussièrément réalisées dans ce cadre ont été transmis par la DGPR et analysés par le GT (Cf. chapitre 4.2.1 et chapitre 4.2.2).

Il est à souligner que l'objectif de cette analyse était d'explorer d'éventuelles nouvelles données de présence d'amphiboles d'intérêt et de nouvelles mesures de PMAi afin de tirer des enseignements en vue de l'élaboration des protocoles, et ce en l'état actuel des rapports adressés par la DGPR. **Il ne s'agissait en aucun cas d'une tierce expertise de ces rapports.**

4.2.1 Données lithographiques/pétrographiques/minéralogiques

Trente-huit dossiers ayant fait l'objet de la réalisation d'un plan de repérage ont été examinés dans le cadre de la présente expertise. Ces plans de repérage ont été établis pour l'essentiel par des géologues travaillant dans des bureaux d'étude (31/38). Deux plans de repérage ont été établis par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité, et l'aménagement (CEREMA), deux autres par des étudiants encadrés par des géologues universitaires et trois autres par des géologues de l'entreprise concernée. Le contenu des rapports accompagnant les plans de repérage est très variable d'une étude à l'autre. Les rapports les plus complets incluent :

- 1. la présentation de l'objet et du cadre de l'étude ;
- 2. une présentation des données géologiques existantes, notamment cartographiques, concernant le contexte géologique de la zone dans laquelle se situe la carrière ;
- 3. une présentation plus précise de la géologie de la carrière, incluant en particulier une description des types de roche présents et l'analyse des déformations - ductiles et/ou fragiles - enregistrées par ces roches ;
- 4. une carte géologique détaillée (plan de repérage) sur laquelle sont reportées toutes les informations recueillies ainsi que la localisation des stations d'observation et des points ayant fait l'objet d'une prise d'échantillons ;
- 5. une présentation du programme analytique mis en œuvre à partir des échantillons prélevés et des résultats obtenus ;
- 6. une synthèse des données acquises et des résultats obtenus, accompagnée éventuellement de préconisations.

Selon l'étude considérée, ces différents points sont plus ou moins bien renseignés et les documents apparaissent au final assez disparates. Les différences constatées concernent en particulier les items 3 & 5. Dans les rapports les plus complets, des photographies des principaux affleurements, des différents types de roche et des principales structures macroscopiques fibreuses et/ou susceptibles de l'être sont incluses (§ 3.), de même que des photographies des échantillons prélevés et des amphiboles observées dans les différentes préparations étudiées en laboratoire (§ 5.). Dans quelques rapports, les informations présentées peuvent apparaître incomplètes et les conclusions insuffisamment étayées.

Dans les trente-huit dossiers examinés, le nombre d'échantillons prélevés et analysés est très variable d'une carrière à l'autre. Pour un site donné, ce nombre semble dépendre avant tout de la taille du site, de sa complexité géologique et de l'importance/abondance des structures fibreuses identifiées ou suspectées. Les techniques analytiques mises en œuvre sont également très variables d'un site à l'autre. La microscopie optique a été utilisée par tous les opérateurs et dans tous les sites. Dans 18 cas, cette méthode a été la seule à être mise en œuvre. Elle a été couplée à des observations au microscope électronique à balayage dans onze dossiers et à des observations au META dans huit dossiers. Le recours à une microsonde électronique est très rare (4 dossiers), celui à un diffractomètre des rayons X marginal (1 dossier).

4.2.2 Mesures d'empoussièrement

4.2.2.1 Observations générales

D'après l'étude du BRGM, 23 carrières ont été classées en classe 3 et ont dû faire procéder à des mesures d'empoussièrement (cf. chapitre 3.3.2).

Tableau 14 : Classement des 49 carrières jugées prioritaires au regard de l'aléa amiante (source BRGM)

Classe	Niveau	Caractéristiques et potentiel amiantifère	Nombre de carrières concernées
1	1	Absence de serpentine et/ou d'amphiboles dans les matériaux exploités	2
2	2	Présence de serpentine et/ou d'amphiboles fibreuses dans les matériaux exploités sans potentiel asbestiforme apparent	17
3	3	Présence exceptionnelle d'amphiboles asbestiformes ou potentiellement asbestiformes du groupe des amiantes dans les matériaux exploités Ou Présence fréquente d'amphiboles asbestiformes ou potentiellement asbestiformes du groupe des amiantes dans un matériau subordonné à l'échelle du site	13
	4	Présence fréquente d'amphiboles fibreuses proches du groupe des amiantes et potentiellement asbestiformes dans les matériaux exploités	3
	5	Présence fréquente d'amphiboles fibreuses du groupe des amiantes dans les matériaux exploités	7
Carrières non classées			7
Total			49

Les données de mesures d'empoussièrement réalisées selon les normes XP X 43-269 et NF X 43-050, sur les carrières de classe 3, transmises par la DGPR, examinées par le GT concernent 17 carrières.

De manière générale, une à trois campagnes de mesures ont été réalisées par carrière sur la période automne 2014 à fin 2015, avec plusieurs mesures environnementales et individuelles par campagne. Quelques carrières ont poursuivi les mesures sur 2016.

Le GT a relevé différentes informations manquantes ou biais méthodologiques dans les rapports, notamment au regard des préconisations mentionnées dans l'annexe B du guide GA X 46-033²⁵, ceci limitant l'interprétation des données. Ces observations portent sur :

- Stratégie d'échantillonnage :
 - Dans la plupart des rapports, la stratégie d'échantillonnage n'est pas décrite : le choix de la localisation des points de mesures ou des postes de travail investigués n'est pas explicité. Il n'y a généralement pas de description d'activité du site et notamment les données relatives à la production du jour, ni des mesures ou des données concernant les processus émissifs ;
 - Lorsque la stratégie est décrite, il est fait mention qu'elle a été établie *a priori* sur la base des éléments transmis par l'exploitant, sans visite préalable du site par l'organisme en charge d'effectuer les mesures ;
 - Il n'a pas été réalisé de mesures en bord de piste, ce qui ne permet pas d'apprécier la remise en suspension des poussières par le passage des camions ;
 - Au mieux, les points de mesure environnementaux sont localisés sur un plan de la carrière, parfois sans échelle permettant d'apprécier la distance des points par rapport aux sources. ;
 - Aucune donnée sur la durée des tâches et la répartition des tâches par opérateur n'est disponible.
- Prélèvement :
 - La nature des matériaux n'est pas renseignée ;
 - Les conditions météorologiques et environnementales au moment des mesures sont peu ou pas renseignées, notamment l'humidité du sol (certaines mesures ont été réalisées malgré des épisodes pluvieux ou un sol mouillé), de même que la production du site ;
 - La nature des têtes de prélèvement, de même que le port d'un appareil de protection respiratoire, ne sont pas toujours renseignés ;
 - Les moyens de protection collective ne sont pas mentionnés.
- Analyse :
 - Les sensibilités analytiques sont parfois élevées, que ce soit pour les mesures environnementales ou les mesures individuelles ;
 - L'abaissement de la VLEP n'a parfois pas été pris en compte, entraînant une sensibilité analytique nettement supérieure à 1 f/L ;
 - Les sensibilités analytiques des points ambiants auraient pu être abaissées et ainsi améliorées en poursuivant l'analyse ;
 - Le seuil de 5 f/L comme borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95% est parfois également visé pour des prélèvements individuels.

4.2.2.2 Résultats

Quelques mesures d'empoussièrement, environnementales et/ou individuelles, révèlent la présence d'actinolite dans de rares carrières et du chrysotile a été détecté dans une seule carrière. Les concentrations « brutes » en actinolite, sans prise en compte de l'incertitude élargie, varient sur un site de 0 à 2,5 f/L et de 0 à 53 f/L sur le deuxième site. Une mesure individuelle a révélé une concentration en actinolite/chrysotile supérieure à 169 f/L (part de chrysotile non déterminée).

Les informations manquantes et biais méthodologiques évoqués précédemment limitent l'interprétation de ces résultats.

²⁵ GA X 46-033 - Guide d'application de la norme NF EN ISO 16000-7 - Stratégie d'échantillonnage pour la détermination des concentrations en fibres d'amiante en suspension dans l'air.

Conclusion

Ces mesures ont été réalisées dans le cadre de recherche d'amiante et, par conséquent, la recherche de PMAi n'a pas été spécifiquement investiguée.

Toutefois, des résultats démontrent une exposition potentielle des travailleurs et des populations riveraines à l'actinolite pour certaines carrières. Nombre d'éléments sont manquants pour permettre une appréciation très fine de la validité de ces résultats (variabilité et faiblesse des stratégies d'échantillonnage, informations météorologiques, analyse des matériaux, sensibilités analytiques, etc....).

4.3 Bases de données Colchic et Scola

Colchic est une base de données recensant l'ensemble des données d'exposition professionnelle recueillies dans les entreprises françaises par les Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) et l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Les mesures archivées dans Colchic ne sont pas représentatives de l'ensemble des situations d'exposition à un agent chimique en France, mais pour certains agents chimiques pour lesquels des dizaines de milliers de mesures ont été effectués, la représentativité est améliorée.

Aucune donnée relative aux PMAi, dont notamment l'actinolite, n'a été recensée dans cette base de données.

Scola est une base de données qui recense les résultats de mesures d'évaluation d'exposition professionnelle réalisées par les organismes accrédités dans le cadre du contrôle réglementaire des valeurs d'exposition aux agents chimiques. Ces résultats ont pu être obtenus dans des conditions d'exposition particulières et ne peuvent prétendre être dans tous les cas représentatifs d'un secteur professionnel donné.

Une extraction des données de mesures enregistrées dans Scola de juillet 2012 à décembre 2015 concernant les espèces d'amiante amphibole (actinolite amiante, amosite, anthophyllite amiante, crocidolite et trémolite amiante) a été réalisée (INRS, 2016).

Une exploitation statistique a été réalisée pour toutes ces amphiboles en sous-sections 3 (Retrait – Encapsulage) et sous-section 4 (Intervention) pour un nombre de mesures supérieur à 10 :

- Par matériau puis stratifié par type d'amphibole ;
- Par technique puis stratifié par type d'amphibole ;
- Par couple « matériau – technique » puis stratifié par type d'amphibole.

Les prélèvements ont été effectués à un débit de 3L/min sur filtre d'acétate ou d'ester de cellulose 37 mm non taré placé dans une cassette à 3 ou 4 étages en matériau conducteur de l'électricité. Les échantillons ont été analysés en META.

Le Tableau 15 présente le nombre de mesures disponibles, quels que soient le matériau, la technique, et l'amphibole détectée. Les mesures réalisées en sous-section 3 représentent 95 % des mesures disponibles.

Tableau 15 : Nombre de mesures disponibles dans Scola concernant les fibres d'amiante amphibole (juillet 2012-décembre 2015)

	N	Moy (f/L)	Min (f/L)	Max (f/L)
Total	4 488	1 167	5	5 356
Sous section 3 (Retrait/encapsulage)	4 286	1 181	5	5 217
Sous section 4 (Intervention)	202	877	2	5 650

De l'actinolite a été mesuré sur 36 prélèvements effectués en sous-section 3 et 12 prélèvements en sous-section 4.

Certains de ces résultats peuvent apparaître surprenants. En effet, l'actinolite n'a pas été commercialisée et contrairement à ce qui était attendu, cette variété d'amiante a été identifiée dans de nombreux matériaux manufacturés autres que les enrobés routiers.

Plusieurs hypothèses ont été avancées, dont une éventuelle pollution par de l'actinolite des fibres commerciales de trémolite ou une erreur lors de l'identification et une confusion entre trémolite et actinolite. L'éventualité d'une erreur lors de l'enregistrement dans la base de données par les laboratoires n'a pas été écartée.

En conclusion, ces données sont peu significatives et difficilement interprétables.

Il est à noter l'existence d'autres données produites hors accréditation et hors contexte réglementaire indiquant la présence d'actinolite (cas de la ville de Paris, par exemple).

4.4 Bases de données DGS

Les organismes accrédités pour l'établissement de la stratégie de prélèvement et le prélèvement de fibres d'amiante dans l'air et/ou les analyses et comptages de ces fibres d'amiante au titre du code de la santé publique doivent adresser chaque année au ministère de la santé un rapport d'activité récapitulant les informations et les résultats des prestations effectuées l'année précédente (Article 5 de l'arrêté du 19 août 2011 relatif aux conditions d'accréditation des organismes procédant aux mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante dans les immeubles bâtis).

Un extrait de l'analyse des rapports d'activité des années 2013 et 2014, effectuée à la demande de la DGS par le CSTB a été transmis au groupe de travail.

Ce document très synthétique présente les variétés d'amiante identifiées dans les prélèvements d'air par les laboratoires en fonction des types de matériaux identifiés lors de ces prélèvements d'air.

Il mentionne le nombre d'échantillons d'air analysés, le type de matériaux identifiés, les variétés de fibres identifiées, ainsi que les :

- Pourcentages de matériaux d'un même type en fonction des variétés d'amiante ;
- Pourcentages d'une même variété d'amiante identifiée en fonction des différents types de matériaux ;
- Pourcentages du type de matériau et de la variété d'amiante par rapport au total.

Parmi les matériaux identifiés, certains pourraient avoir été fabriqués à partir de granulats pouvant potentiellement contenir des amphiboles, à savoir : ciment, mortier, revêtements routiers...

Si le chrysotile et l'amosite sont les variétés les plus fréquemment identifiées pour l'ensemble des matériaux, sont également identifiés de l'actinolite dans un échantillon de ciment, de l'antrrophyllite dans 2 échantillons de ciment, 1 de dalles de sol vinyle et 1 de

dalle de sol vinyle + colle, de la trémolite dans 1 échantillon de ciment et 1 échantillon de flocage. Les variétés d'actinolite et d'anthophyllite n'ont pas été retrouvées en 2013, mais en 2014.

Il est à noter que le document transmis n'apporte aucune information sur les modalités de prélèvement, de préparation ou d'analyse. Il ne présente pas non plus les concentrations mesurées dans l'air mais simplement la présence ou l'absence des différentes variétés d'amiante. Les données ne sont donc pas interprétables. Il convient de rappeler que compte tenu de l'objectif des mesures réalisées, à savoir la détermination des fibres d'amiante dans l'air, la présence de PMAi n'est pas exclue, même si elle n'a pas été mentionnée dans les rapports d'essai.

4.5 Projet CARTO Amiante

Le Projet CARTO Amiante, lancé en septembre 2014 par la DGT, l'OPPBTP et l'INRS, vise à dresser une cartographie de l'empoussièrement amiante généré par des processus de travail couramment mis en oeuvre dans le BTP essentiellement de courte durée. Dans le cadre de ce projet, un protocole de mesurage adapté aux interventions de courte durée, à faible ou fort niveau d'empoussièrement a été élaboré et validé.

Les chantiers concernés par ce projet relèvent de la sous-section 4 (Code du Travail). Ainsi, 62 situations (couples matériau/technique) ont été identifiées : 40 situations à analyser prioritairement et 22 situations à analyser en second choix.

La campagne de mesure étant axée sur la recherche d'amiante réglementaire (chrysotile, crocidolite et amosite) lors d'intervention sur matériaux contenant de l'amiante intentionnellement ajouté, les PMAi ne sont pas investiguées.

Les mesures réalisées dans le cadre de ce projet ne pourront donc pas permettre d'obtenir des informations quant à l'émissivité des matériaux ou l'exposition des travailleurs aux PMAi. De même, une réanalyse des filtres prélevés dans le cadre de ce projet pour rechercher spécifiquement des PMAi n'apportera pas de réponse sur cette question puisque les mesures ne ciblaient pas des interventions sur des matériaux de construction susceptibles de contenir des PMAi (béton notamment).

CARTO – Amiante-Actinolite :

Lors de son audition, l'OPPBTP a mentionné un « *Accord d'accompagnement en matière de mesures d'empoussièrement généré lors de travaux sur chaussées contenant de l'actinolite* » signé en septembre 2015 entre l'OPPBTP et l'Usirf. Ce projet, communément appelé « CARTO amiante actinolite », vise à évaluer les empoussètements en actinolite dans l'air générés lors de différents processus réalisés sur des chantiers de travaux routiers.

Au jour de l'audition, une seule campagne de mesure concernant le processus de sciage d'enrobés routiers sur un seul chantier avait été réalisée, du fait de la rareté des chantiers de travaux routiers proposés et de la difficulté du repérage préalable de l'actinolite.

Les résultats de cette campagne ont montré des résultats de concentrations nulles (0 f/L) mais la sensibilité analytique était dégradée. Une réanalyse des échantillons a montré la présence de chrysotile, mais pas d'actinolite. Cette campagne a été mise en suspens dans l'attente des recommandations de l'Anses sur la mesure des PMAi.

Dans l'attente des recommandations de l'Anses, des mesures exploratoires à venir sur les PMA et la silice cristalline à l'initiative de l'Usirf et de l'OPPBTP sur un chantier autoroutier ont été mentionnées au cours de leur audition. Cette campagne ciblera notamment les deux opérations suivantes : sciage et burinage.

4.6 Données transmises lors des auditions

Le SNED, en partenariat avec l'INRS, l'OPPBTP et la CARSAT, conduit actuellement une étude « **Respire** » sur l'évaluation des empoussièrtements liés aux métiers de la démolition en fonction du type de chantier et du type de matériau.

D'après les informations transmises par le SNED, cette étude a été réalisée sur 26 chantiers entre 2010 et 2014, dont :

- Les chantiers de curage de bâtiments anciens (avant 1949) en site urbain (3 chantiers) ;
- Les chantiers de curage d'immeubles d'habitation en béton (années 60 ou 70) (3 chantiers) ;
- Un chantier d'habitations individuelles récentes ;
- Les chantiers d'abattage de bâtiments anciens (avant 1949) en site urbain (4 chantiers) ;
- Les chantiers d'abattage d'immeubles d'habitation en béton (années 60 ou 70) (4 chantiers) ;
- Les chantiers d'écrêtage d'immeubles d'habitation en béton (années 60 ou 70) (2 chantiers) ;
- Un chantier d'abattage d'un bâtiment industriel à structure en acier ;
- Deux chantiers non classables par ailleurs.

Des mesures de poussières totales, inhalables, alvéolaires, plomb, silice et fibres minérales ont été réalisées. Aucune mesure de PMAi n'a été réalisée. Cette étude, dont les principaux résultats ont été publiés par l'INRS (INRS, 2017), ne permet pas d'apprécier les concentrations en PMAi dans l'air générées par les opérations de démolition évaluées, mais peut permettre d'identifier des situations pour lesquelles l'émission de poussières contenant potentiellement des PMAi est plus importante.

Une autre étude métier sur le curage incluant des mesures d'empoussièrtement est en cours avec l'OPPBTP.

L'Usirf a mentionné lors de son audition la réalisation et l'enregistrement dans leur base de données CIMAROUT de quelques mesures d'empoussièrtement d'actinolite (10 mesures sur 3 chantiers dont 1 chantier avec l'OPPBTP) concernant les processus de carottage, fraisage, sciage et pelletage. Ils indiquent que ces mesures ont été réalisées dans le respect des normes en vigueur relatives à l'amiante et ne ciblent donc pas les PMAi. Les résultats à ce jour montrent des niveaux d'empoussièrtement inférieurs à 3 f/L²⁶.

Ils indiquent également que certaines mesures réalisées dans le cadre de la réglementation applicable aux travaux de sous-section 3 selon le code du travail ont été menées dans le cadre du projet CARTO « amiante-actinolite ». L'Usirf s'interroge actuellement sur deux processus présentant des résultats élevés : le burinage et le sciage, pour lesquels des mesurages supplémentaires pourraient être réalisés.

4.7 Conclusion

Aucune donnée concernant l'exposition aux PMAi, la présence de minéraux d'intérêt dans les matériaux ou l'émissivité potentielle en PMAi depuis ces matériaux recensée dans la littérature n'a été considérée pertinente par le groupe de travail suite à la parution du rapport d'expertise relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015).

²⁶ Ces données ont été examinées par le groupe de travail qui a constaté des erreurs dans certains rapports soulevant des questions quant à la pertinence de ces résultats.

Les mesures réalisées en carrières, dans les bâtiments, sur des opérations courantes dans le BTP ou sur les chantiers routiers l'ont été dans le cadre de recherche d'amiante et, par conséquent, la recherche de PMAi hors amiante réglementaire n'a pas été investiguée.

Toutefois, des résultats indiquent une exposition à l'actinolite-amiante des travailleurs dans certaines carrières et potentiellement des populations riveraines de ces carrières ainsi que certains travailleurs sur des chantiers routiers. Une réexploitation des prélèvements d'air orientée vers la recherche de PMAi devrait permettre de collecter des données utiles dès lors que l'échantillon de matériau source est disponible.

Aucune donnée n'est actuellement disponible concernant l'exposition aux PMAi hors amiante réglementaire dans le secteur du bâtiment.

Concernant les rares données de mesures d'actinolite dans l'air, quels que soient le secteur d'activité et l'opération réalisée, un trop grand nombre d'éléments sont manquants pour permettre une appréciation très fine de la validité de ces résultats (variabilité et faiblesse des stratégies échantillonnage, informations météorologiques, analyse des matériaux, sensibilités analytiques, etc...).

5 Protocole de mesures exploratoires des espèces minérales dans les matériaux susceptibles de libérer des PMAi

5.1 Objectif du protocole

Ce protocole a été élaboré dans un but exploratoire d'acquisition de données sur la présence ou non dans un matériau des minéraux ciblés²⁷, dans le cadre d'une caractérisation qualitative de ce dernier.

Ce protocole présente les différentes étapes de traitement et d'analyse à suivre mais sa mise en œuvre nécessitera impérativement une étude de faisabilité pour ajuster les différents paramètres préconisés *a priori*. Compte tenu des compétences nécessaires pour le prélèvement de ces matériaux, des techniques analytiques mises en œuvre et des particularités techniques, ce protocole ne pourra être appliqué que par du personnel et des laboratoires expérimentés dans l'analyse des minéraux naturels.

Ce protocole présente des spécificités en fonction de la nature des matériaux et de leur provenance (cf. Figure 16).

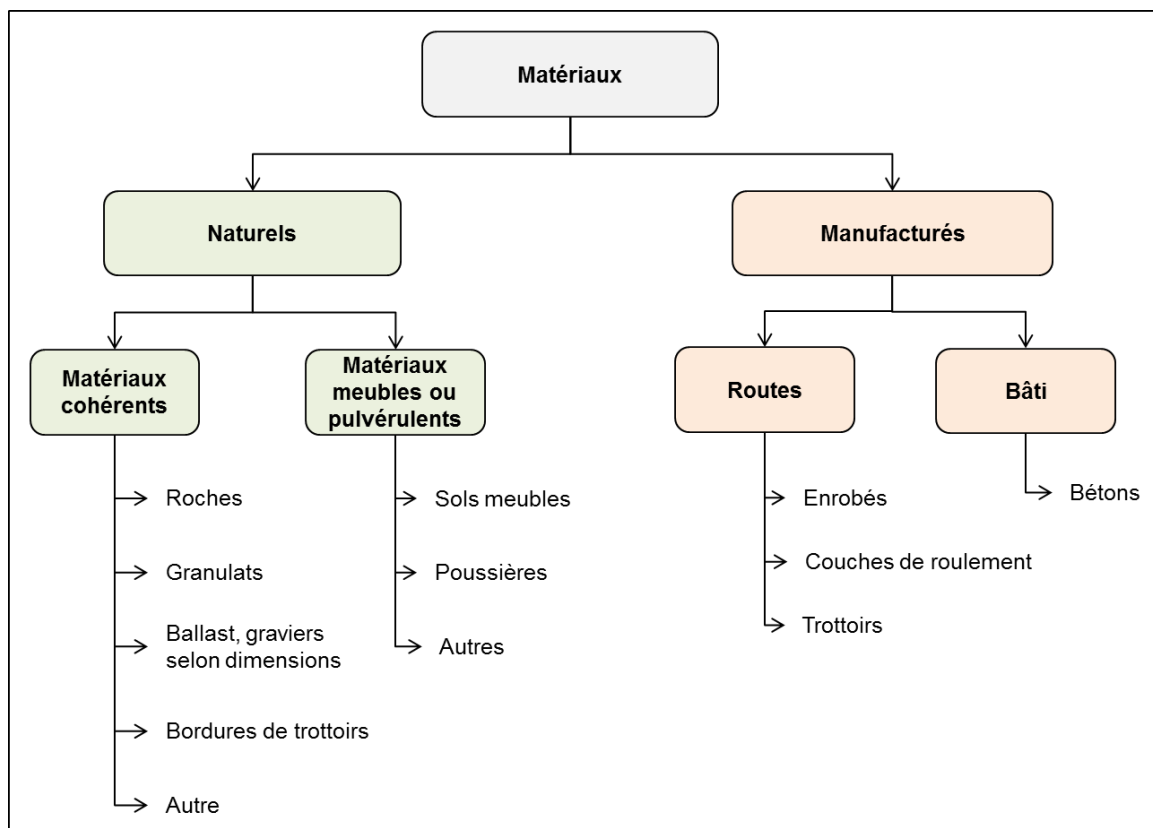


Figure 16 : Typologie des matériaux en fonction de leur nature et provenance

²⁷ Minéraux ciblés : minéraux listés dans la saisine susceptibles de libérer des PMAi.

5.2 Mesures de protection à mettre en œuvre

A des fins de prévention des risques professionnels, et conformément aux recommandations émises par l'Anses dans son rapport relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015), les interventions menées dans le cadre de ce protocole exploratoire d'acquisition de données doivent être réalisées en appliquant, à visée conservatoire, les préconisations de la réglementation amiante (mesures de protection collective, équipements de protection individuelle, formation des opérateurs, gestion des déchets, etc.). Par analogie, ces interventions relèvent de la sous-section 4.

5.3 Stratégie d'échantillonnage et de prélèvement

La stratégie d'échantillonnage et les modalités de prélèvement sont fonction du site et/ou du matériau à investiguer. Le préleveur veille à ce que le volume ou la masse des échantillons soit représentatif du matériau à analyser et tient compte des conditions de réception éventuellement imposées par les laboratoires en charge des analyses.

Le prélèvement, la réduction des échantillons et le prélèvement de la fraction destinée à l'analyse doivent être réalisés par un organisme indépendant de l'entreprise qu'il contrôle.

La stratégie d'échantillonnage doit être établie par une personne expérimentée qui supervisera les prélèvements effectués de sorte à garantir la traçabilité du prélèvement à l'analyse.

5.3.1 Milieu naturel (matériaux cohérents ou matériaux meubles ou pulvérulents)

Dans le cadre d'une recherche des minéraux ciblés à partir d'échantillons issus du milieu naturel, les paramètres permettant d'orienter l'échantillonnage sont principalement d'ordre géologique. En conséquence, le préleveur en charge de l'échantillonnage doit être compétent en géologie et en mesure de reconnaître et de décrire les caractéristiques pétrographiques et minéralogiques des matériaux étudiés. La mobilisation de ces compétences doit permettre de concentrer les investigations sur les matériaux les plus susceptibles de contenir l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées (échantillonnage dirigé). Les principaux éléments géologiques permettant d'orienter l'échantillonnage sont les suivants :

- nature pétrographique des roches présentes ;
- évolution tectonique et métamorphique subie/enregistrée par les roches présentes ;
- existence de zones faillées ;
- présence de plans de faille porteurs de minéraux fibreux ;
- présence de veines renfermant des minéraux fibreux.

Les principales occurrences en France des espèces minérales d'intérêt sont précisées dans la partie 3.2.2.

En plus des minéraux présents naturellement sur un site, certains sites comportent des sols artificiels issus de déblais qui doivent être pris en considération pour l'échantillonnage.

Le guide de prévention ED 6142 de l'INRS, relatif aux travaux en terrain amiantifère (INRS, 2013), mentionne également des sources d'informations complémentaires pouvant être consultées afin d'établir l'échantillonnage : bases de données Basias, basol, diagnostics de pollution des sols, etc.

5.3.2 Granulats

L'échantillonnage des granulats est réalisé selon les préconisations de la norme NF EN 932-1 qui prescrit des méthodes permettant de prélever des échantillons de granulats, qu'ils

proviennent de livraisons ou d'installations de préparation et de traitement, y compris des stocks. La norme décrit également des méthodes de réduction d'un échantillon global²⁸.

La norme NF EN 932-2 décrit, en outre, les méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire²⁹ pouvant être mises en œuvre.

5.3.3 Matériaux manufacturés

L'échantillonnage doit être dimensionné aux travaux prévus.

Différents guides existants permettent de définir les stratégies d'échantillonnage en fonction de la nature des matériaux et des opérations réalisées, notamment :

- La norme Pr NF 46-020 relative au repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante dans les immeubles bâtis, qui présente un descriptif des sondages et prélèvements à effectuer en fonction des composants de la construction ;
- La norme ISO 22262-2 relative au dosage quantitatif de l'amiante en utilisant les méthodes gravimétrique et microscopique, qui mentionne des modalités de sélection et prétraitement d'un sous-échantillon représentatif en fonction de la nature de l'échantillon ;
- Le guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux USIRF, DGT, CNAMTS, FNTP, INRS, OPPBTP, GNMSTBTP (2013) qui décrit les modalités d'échantillonnage d'enrobés bitumineux.

Il convient de repérer les zones homogènes et de dimensionner l'échantillonnage en fonction de la taille de chaque zone homogène et de la profondeur de la couche d'intérêt.

Dans le cas de chantiers routiers, les recommandations du guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux proposées par l'Usirf, à savoir un prélèvement tous les 200 mètres linéaires, ne sont pas toujours adaptées, notamment dans le cas de chantiers urbains où plusieurs zones homogènes peuvent coexister dans une même rue. Il convient également de tenir compte de la largeur de la voie. Une bonne connaissance des matériaux de voirie est indispensable à l'établissement de la stratégie d'échantillonnage. Chaque sous-couche constitutive du prélèvement doit être isolée et conditionnée par la personne en charge du prélèvement de manière à pouvoir être analysée séparément.

5.3.4 Feuille de prélèvement

Le préleveur complétera une feuille de prélèvement comportant *a minima* les éléments suivants :

- Nom du site ;
- Date du prélèvement ;
- Nom du préleveur ;
- Éléments de stratégie : choix du site, du nombre et de la masse approximative des échantillons prélevés, localisation des prélèvements, photos, etc ;
- Nature des matériaux ;
- Dans le cas des affleurements naturels :
 - Référence de l'affleurement

²⁸ Echantillon global : Réunion des prélèvements (NF EN 932-1) c'est-à-dire ensemble des quantités de matériau prélevé sur un lot lors d'une seule opération

²⁹ Echantillon de laboratoire : Échantillon réduit prélevé dans un échantillon global destiné aux essais en laboratoire (NF EN 932-1)

- Coordonnées de l'affleurement
 - Description de l'affleurement
 - Photographies et cartographie de l'affleurement avec localisation de la zone échantillonnée
- Photographies de l'échantillon prélevé ;
 - Description visuelle de l'échantillon prélevé et, dans le cas de carottes, description des différentes couches et sens d'orientation de la carotte (organisation de ces couches les unes par rapport aux autres) ;
 - Des remarques complémentaires pourront être apportées à la feuille de prélèvement si le préleveur les juge nécessaires à une meilleure compréhension des conditions de prélèvement, *etc.*

5.4 Conditionnement et transport des échantillons

Les échantillons prélevés doivent être conditionnés et envoyés au laboratoire dans des conditions n'altérant pas leur intégrité, accompagnés de la fiche de prélèvement. Par mesure de précaution, les échantillons sont placés dans un premier contenant hermétique, lequel est ensuite mis dans un second contenant, également hermétique (double ensachage) (Cofrac, 1999).

5.5 Préparation des échantillons

Le laboratoire doit réceptionner un échantillon représentatif du matériau à investiguer. La quantité à réceptionner est conditionnée par cette représentativité, elle est garantie par le préleveur.

A réception par le laboratoire, l'échantillon est préparé en vue de son analyse.

En cas de réception d'une carotte multicouches, chaque couche de matériau doit être traitée séparément.

5.5.1 Observation macroscopique préliminaire

Avant toute préparation, une observation initiale de l'échantillon sous loupe binoculaire ou stéréomicroscope possédant une gamme de grossissements d'environ x10 à x40 permet de cibler la prise d'essai à traiter pour analyse.

5.5.2 Réalisation de lames pour une observation en Microscopie Optique à Lumière Polarisée (MOLP)

5.5.2.1 Matériaux naturels cohérents

En présence d'un échantillon de matériau rocheux cohérent, la première étape consiste en la réalisation d'une ou plusieurs lames minces polies. Le nombre de lames minces à réaliser dépend de l'hétérogénéité de l'échantillon et doit être déterminé par le géologue en charge du prélèvement sur le terrain. La fabrication de ces lames minces est initiée à la demande du géologue. La section de l'échantillon concernée par la fabrication d'une lame mince doit être définie par le géologue de telle manière à privilégier, le cas échéant, une observation des fibres dans leur plus grande longueur.

5.5.2.2 Matériaux naturels meubles ou pulvérulents et matériaux manufacturés

Selon la nature de l'échantillon, une préparation sur lames des grains d'intérêt sélectionnés après observation sous loupe binoculaire peut être réalisée. Un broyage manuel de l'échantillon peut être nécessaire pour obtenir l'épaisseur adaptée à l'analyse.

Les modalités de préparation sont décrites dans la norme ISO 22262-1.

5.5.3 Préparation en vue d'une analyse Microscopie électronique à transmission analytique (META)

Une quantité minimale de 100 grammes est nécessaire.

Préparation : L'objectif est d'isoler le granulat sans le détériorer.

Si la dimension du matériau est trop importante, il peut être nécessaire de fragmenter l'échantillon au marteau ou à l'aide d'un burin ou d'un outil similaire, jusqu'à une taille acceptable permettant ensuite de réaliser un broyage en mortier.

Trois sous-échantillons, de l'ordre de 1 à 2 g chacun, seront prélevés.

Le sous-échantillon est fragmenté et homogénéisé par broyage manuel dans un mortier en agate. Si cela n'est pas préjudiciable aux matériaux ou aux analyses, une brumisation d'eau manuelle des échantillons est recommandée pour réduire l'émission de poussières. Le broyage mécanique ne doit pas être utilisé afin de se prémunir de toute modification du matériau telle une amorphisation de surface par exemple.

Les résidus du broyat sont calcinés dans un four à moufle à $450^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ pendant au moins 6 heures afin d'éliminer les matières organiques présentes, puis subissent une attaque acide par HCl 1 N pour solubiliser les constituants matriciels tels que la calcite ou le gypse par exemple (adaptation NF ISO 22262-2).

Selon le type de matériaux, l'étape calcination ou l'étape attaque acide peut être ignorée et les conditions adaptées. Ainsi, dans le cas spécifique des carottes d'enrobés, les sous-échantillons sont prélevés dans la fraction solide après élimination du liant bitumineux par calcination dans un four à moufle à $450^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$, pendant au moins 6 heures puis attaque acide avec HCl 1 N (adaptation Usirf, DGT, CNAMTS, FNTP, INRS, OPPBRP, GNMSTBTP 2013). Dans le cas d'échantillons de béton, ils sont prélevés après broyage et attaque acide par HCl 1 N.

Les étapes de fragmentation et de broyage doivent être réalisées dans des conditions permettant de s'éviter toute contamination des personnes et des locaux.

Prise d'essai :

Environ 20 mg d'échantillon broyé ou de résidus de calcination sont prélevés pour chaque prise d'essai représentative.

Le nombre de prises d'essai est fonction de l'homogénéité du matériau avec un minimum de 3 prises d'essai dans le cas d'un matériau homogène et de 5 prises d'essais pour les matériaux hétérogènes.

Traitement d'une prise d'essai.

En fonction de la nature de l'échantillon (minéral acido-sensible par exemple) une attaque acide préalable par ajout d'environ 2 mL d'acide chlorhydrique 1 N pendant 5 à 15 minutes maximum peut être nécessaire.

Le traitement pour une prise d'essai est le suivant :

- Ajout d'acide
- Ajout d'eau ;
- Agitation avec ultrasons pendant environ 5 minutes ;
- Filtration sur une membrane en polycarbonate prémétallisée au carbone de diamètre de pores de $0,4 \mu\text{m}$ ou moins ;
- Dépôt d'une seconde couche de carbone ;
- Préparation d'au moins 2 grilles MET par filtration directe ou Laveur-Jaffe selon les préconisations de la norme NF X 43-050.

5.6 Analyse : Identification des minéraux ciblés

5.6.1 Stratégie analytique

Afin d'identifier la présence de minéraux ciblés dans le matériau, les stratégies analytiques suivantes sont proposées en fonction de la nature de du matériau dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Stratégies analytiques en fonction de la nature du matériau

Naturels cohérents	Naturels meubles ou pulvérulents ou manufacturés
<p><u>1^{ère} étape</u> : recherche/identification en MOLP</p> <p><u>2^{ème} étape (facultative)</u> : analyse à la microsonde électronique si présence de minéraux ciblés suspectée en MOLP</p> <p><u>3^{ème} étape</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Si absence de minéraux ciblés déterminée en MOLP: analyse en META • Si présence de minéraux ciblés déterminée en MOLP : étape facultative 	<p><u>1^{ère} étape</u> : recherche/identification en MOLP</p> <p><u>2^{ème} étape</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si absence de minéraux ciblés déterminée en MOLP: analyse en META • Si présence de minéraux ciblés déterminée en MOLP : étape facultative

Le déroulé de ces différentes stratégies est schématisé ci-après.

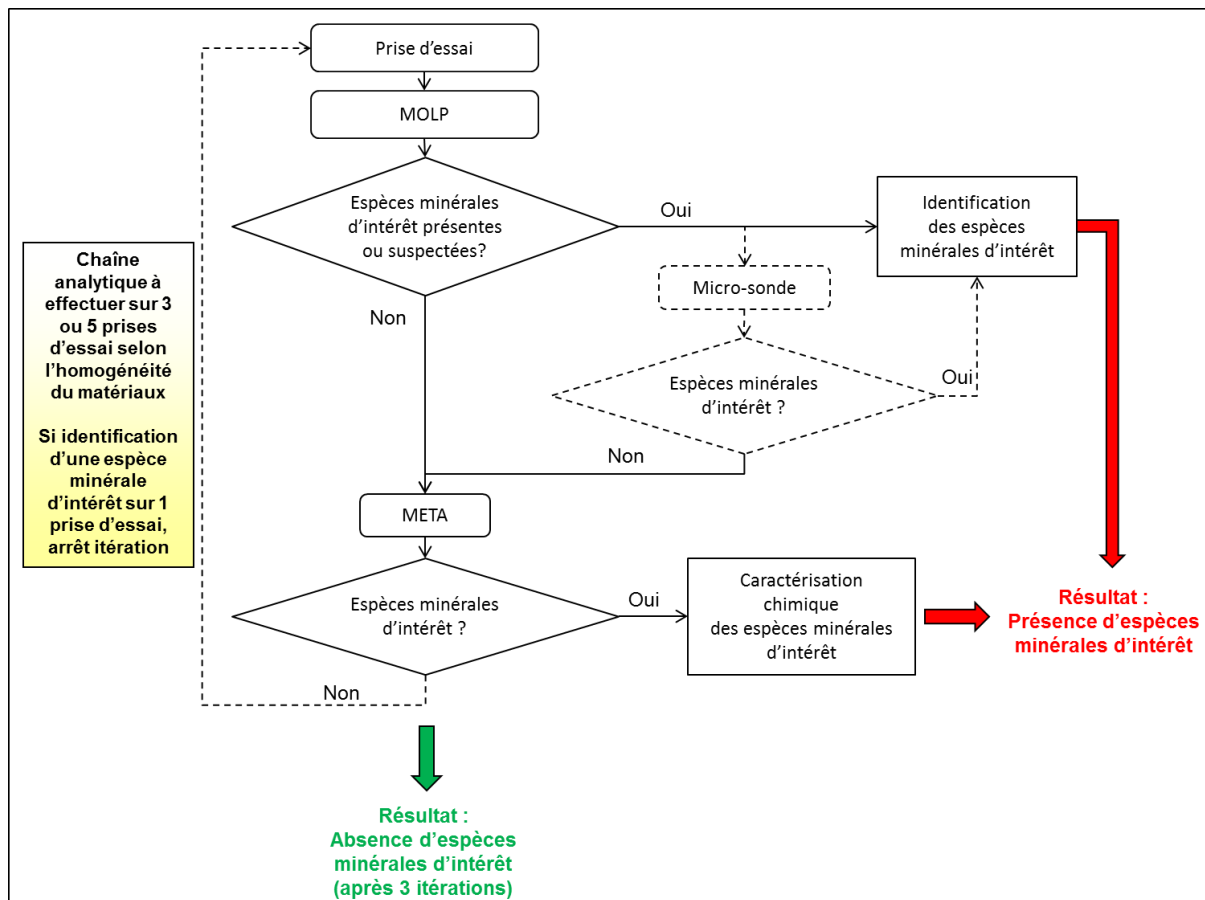


Figure 17 : Stratégie analytique pour l'identification des espèces minérales

L'analyse est à effectuer sur les 3 prises d'essai ou 5 prises d'essais, en cas d'échantillon hétérogène.

Toutefois, dès lors qu'une espèce minérale d'intérêt est identifiée sur une prise d'essai, quelle que soit l'étape (MOLP, microsonde électronique, META), il est inutile de poursuivre la chaîne analytique ou les essais sur les prises restantes.

Les critères permettant de conclure à la présence ou à des traces d'une ou plusieurs espèces minérales d'intérêt ou à l'absence d'espèces minérales d'intérêt sont fonction de la technique analytique mise en œuvre et sont précisés dans les paragraphes correspondants.

5.6.2 Identification sur lames minces en MOLP – Analyses en microsonde électronique

5.6.2.1 Matériaux naturels cohérents

En première approche, l'examen d'une lame mince de l'échantillon est effectué au MOLP pour identifier les phases minérales présentes. A l'issue de cette première étape de la recherche, les espèces minérales d'intérêt peuvent être d'ores et déjà identifiées, suspectées ou non observées.

Si des espèces minérales d'intérêt sont identifiées ou suspectées dans l'échantillon observé, leur caractérisation précise doit être établie de telle manière à obtenir des informations sur leur composition chimique. Cette caractérisation se fait à travers la description de leurs caractéristiques optiques et/ou par l'intermédiaire d'analyses ponctuelles à la microsonde électronique. La microsonde électronique permet de compléter les premières analyses et d'obtenir des données précises sur la composition chimique des espèces minérales d'intérêt identifiées ou suspectées. Le dosage porte au minimum sur les 11 éléments suivants : Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni et les résultats sont exprimés en pourcentages de poids d'oxydes. A partir de ces résultats, il est possible de déterminer la formule structurale et donc de préciser le nom des espèces minérales analysées. Pour les amphiboles, la détermination des formules structurales est faite à partir de la feuille de calcul établie par Locock (2014) et basée sur la classification des amphiboles proposée par l'IMA (Hawthorne *et al.* 2012).

5.6.2.2 Matériaux naturels meubles ou pulvérulents ou matériaux manufacturés

En première approche, l'examen d'une lame de l'échantillon est réalisé au MOLP afin de décrire les phases minérales présentes. Pour la mise en œuvre de l'analyse, il convient d'appliquer les préconisations des parties pertinentes de la norme ISO 22262-1.

Si des espèces minérales d'intérêt sont identifiées, leur caractérisation peut être affinée par la détermination de leurs caractéristiques optiques.

Dans le cas de matériaux naturels meubles ou pulvérulents ou de matériaux manufacturés, une analyse par microsonde électronique n'est pas adaptée en raison de l'hétérogénéité de ce type de matériau.

5.6.3 Analyses en META

Compte tenu du mode de préparation de l'échantillon (Cf. chapitre 5.5.3.), la stratégie analytique en META consiste à rechercher la présence de PMA dans l'échantillon préparé (c'est-à-dire de particules minérales présentant un ratio L/D > 3) puis à caractériser ces PMA selon leurs critères chimiques et cristallographiques, afin d'identifier d'éventuelles PMAi.

La stratégie analytique en META peut donc être schématisée de la façon suivante :

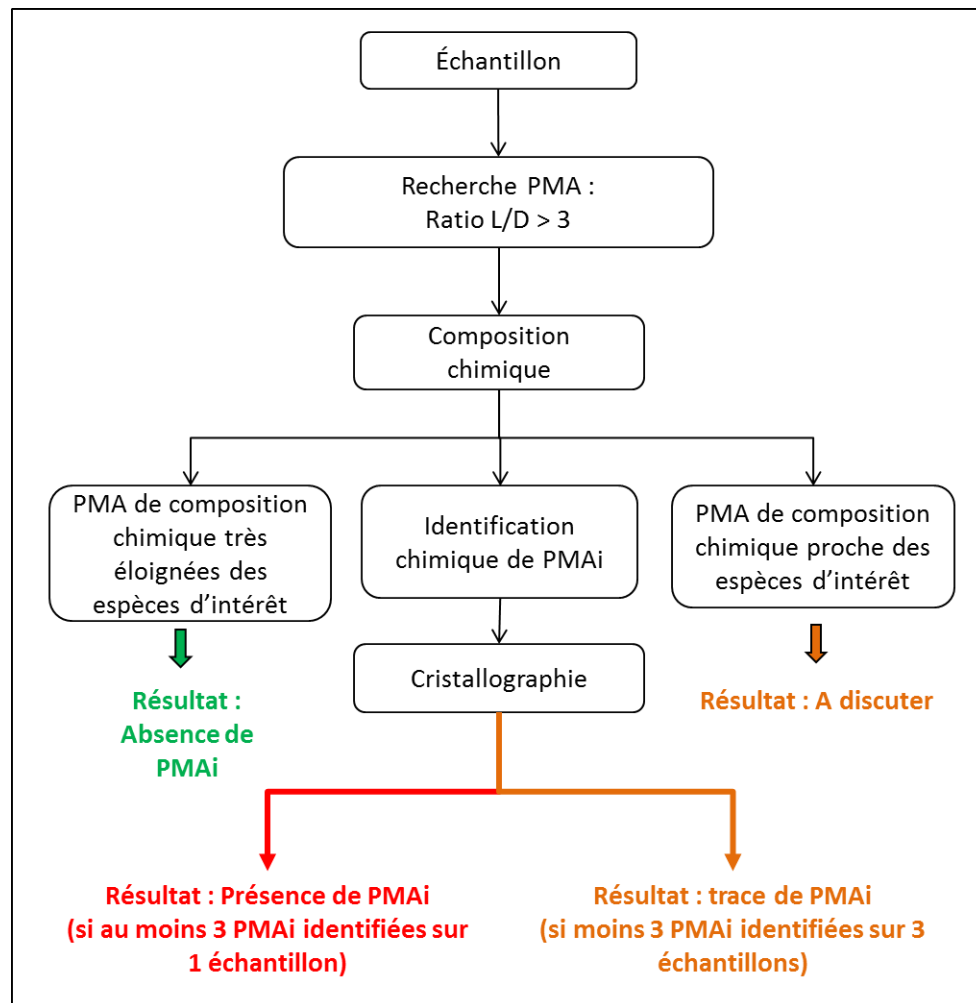


Figure 18 : Stratégie analytique en META

Préparation :

Les modalités de préparation de l'échantillon pour essai sont décrites au chapitre 5.5.3.

Modalités :

Pour la mise en œuvre de l'analyse, il convient d'appliquer les préconisations de la norme NF X 43-050, notamment :

- les règles d'étalonnage du MET et de l'analyseur chimique (EDX) ;
- le suivi pour la qualité des analyses (blanc, témoins analytiques, qualité des grilles, ...).

Identification des PMAi :

La première étape consiste à rechercher les PMA, l'unique critère d'identification de ces PMA étant leur ratio $L/D > 3$. Dans le cas d'une particule à bords non parallèles, le diamètre pris en compte pour le calcul de ce ratio est le diamètre maximum.

Pour chaque PMA observée, les critères chimiques et cristallographiques sont à prendre en compte afin d'identifier sa nature. Sa longueur, son diamètre et ses critères morphologiques sont relevés (Cf. Tableau 17).

Le dosage porte au minimum sur les 11 éléments suivants : Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni et les résultats sont exprimés en pourcentages d'oxydes et en fraction massique. Les

spectres EDS acquis sont interprétés à l'aide des pourcentages en poids d'oxydes précédemment déterminés (Cf. Tableau 2, chapitre 3.2.1). Locock a développé une feuille de calcul basée sur la classification proposée par Hawthorne pour les amphiboles (Locock, 2014). Cette feuille de calcul est à utiliser pour l'identification des amphiboles.

Une feuille de relevé d'analyse, telle que celle présentée dans le Tableau 17, est à compléter.

Tableau 17 : Exemple de fiche d'analyse META dans les matériaux

N° prise d'essai		Masse de l'échantillon (mg)							
Date de prélèvement		Masse de la prise d'essai (mg)							
Date de l'analyse		Surface effective de filtration (mm)							
Opérateur		Surface du filtre de préparation observée (mm ²)							
N° grille	N° de l'ouverture	L > 0,5 µm	D (µm)	L/D	Diff ³⁰ + -	Morphologie ³¹	Chimie ³²	Variété PMA ³³	Remarques Photos

Critères d'arrêt :

³⁰ Diff+ : obtention d'un cliché de diffraction électronique compatible avec les PMAi, Diff - : Absence de cliché de diffraction électronique.

³¹ Morphologie : Bords parallèles : BP ; Bords étagés : BE ; Terminaisons perpendiculaires TP (préciser 1 ou 2) ; Terminaisons non perpendiculaire : TNP ; Faisceau : F ; Agglomérat : A ; Autre (à spécifier. Des exemples issus de Campbell *et al.* 1977 sont mentionnés en annexe) ; Non Déterminé : ND.

³² Chimie : Doser Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni en pourcentages d'oxydes et en fraction massique.

³³ Variété PMA : actinolite, trémolite, anthophyllite, grunérite, riébeckite, chrysotile, antigorite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, érionite, autre.

Pour chaque prise d'essai, l'identification de PMAi doit être effectuée sur une surface de 0,3 mm² d'un filtre de préparation de diamètre total 25 mm (diamètre utile de l'ordre de 22 mm, surface effective de l'ordre de 380 mm²) sur 2 grilles. Si un filtre de préparation d'un diamètre différent est utilisé, le rapport de surface (surface de filtre de préparation observée sur surface effective de filtration soit 0,3/380) est à conserver en fonction du diamètre du filtre de préparation utilisé.

Rendu des résultats :

La conclusion de l'analyse sera formulée de la façon suivante :

- Présence d'espèces minérales d'intérêt ;
 - Mentionner le nom des espèces identifiées
- Traces d'espèces minérales d'intérêts ;
 - Mentionner le nom des espèces identifiées
 - La présence d'espèces minérales de composition chimique proche de celle des espèces minérales d'intérêt doit être mentionnée.
- Absence d'espèces minérales d'intérêt.

Le Tableau 18 précise les critères permettant d'établir cette conclusion en fonction du nombre de PMAi identifiées sur la surface observée et du nombre de prises d'essai.

Tableau 18 : Critères de rendu des résultats de l'analyse META

Rendu du résultat	Critère	Éléments complémentaires
Présence d'espèce(s) minérale(s) d'intérêt	Au moins 3 PMAi doivent avoir été observées sur une même prise d'essai.	Préciser la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d'intérêt identifiée(s) <i>Exemple : 1 winchite, 1 actinolite et une anthophyllite observées => « présence d'espèces minérales d'intérêt » et détailler lesquelles.</i>
Traces d'espèce(s) minérale(s) d'intérêt	Moins de 3 PMAi doivent avoir été identifiées par prise d'essai pour chaque prise d'essai <i>Exemple : Prise d'essai 1 : 2 PMAi Prise d'essai 2 : 2 PMAi Prise d'essai 3 : 0 PMAi.</i>	Préciser pour chaque PMAi observée la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d'intérêt identifiée(s)
Absence d'espèce minérale d'intérêt	Aucune PMAi ne doit avoir été identifiée sur chacune des prises d'essai.	

Limite de quantification en masse à atteindre au META :

Compte tenu du critère d'arrêt de comptage, la limite de quantification à atteindre est de 3 PMAi pour 0,3 mm² du filtre de préparation observé.

Cette limite de quantification peut-être calculée en % par la formule suivante :

$$LQ (\%) = \frac{N * S_f * \rho * V}{S_a * m * 10^3} * 100$$

Avec : N = nombre de PMAi observées sur la surface de filtre analysée ;

S_f = surface effective de filtration du filtre de préparation en mm^2 ;

S_a = surface analysée du filtre de préparation en mm^2 ;

m = masse de la prise d'essai en mg ;

ρ = masse volumique d'une PMAi en $\mu\text{g} \cdot \mu\text{m}^3$;

V = volume moyen d'une PMAi en μm^3 ;

Ainsi, dans les conditions de l'essai, à savoir :

- une prise d'essai de 20 mg ;
- un filtre de préparation de 25 mm de diamètre soit une surface effective de filtration d'environ 380 mm^2 ;
- une surface analysée du filtre de préparation de $0,3 \text{ mm}^2$.

et considérant que la masse volumique moyenne d'une PMAi est similaire à celle d'une amphibole, soit environ $3,2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ou $3,2 \cdot 10^{-6} \mu\text{g} \cdot \mu\text{m}^3$, et en prenant en compte un volume moyen d'une PMAi de $106 \mu\text{m}^3$ (déterminé en considérant un cylindre de longueur moyenne de $15 \mu\text{m}$ et de diamètre de $3 \mu\text{m}$), **la limite de quantification à atteindre est d'environ 0,002 %**. Cette limite peut être plus basse selon la taille des PMAi identifiées.

5.7 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit expliciter la démarche analytique suivie et les méthodes mises en œuvre.

Il doit contenir *a minima* les renseignements suivants, auxquels il faut annexer la stratégie d'échantillonnage détaillée, les feuilles de prélèvement et les feuilles d'analyse :

- Nature des espèces minérales identifiées :
 - 1) présence / absence / traces d'actinolite, trémolite, anthophyllite, grunérite, riébeckite, chrysotile, antigorite ;
 - 2) présence / absence / traces de fluoro-édénite, winchite, richtérite, ériónite ;
 - 3) présence / absence / traces d'autres minéraux (amphiboles susceptibles de libérer des PMA) : les citer ;
- Limites de quantification atteintes ;
- Dimensions et morphologie des PMAi identifiées en META.

6 Protocole de mesures exploratoires de PMAi dans l'air

6.1 Objectif du protocole

Ce protocole a été élaboré dans un but exploratoire d'acquisition de données sur la présence ou non de PMAi dans l'air. Les PMAi considérées dans ce protocole sont les PMA d'espèces minérales ciblées dans la saisine de ratio L/D > 3 et de D < 3 µm. Le diamètre pris en compte, dans le cas de PMA à bords non parallèles, est le diamètre maximum.

Une distinction entre les PMAi de longueur supérieure à 5 µm et de longueur inférieure à 5 µm sera réalisée.

Les espèces minérales ciblées sont les suivantes :

- Amphiboles actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite ;
- Amphiboles winchite, richtérite, fluoro-édénite ;
- Serpentes chrysotile et antigorite ;
- Erionite.

Ce protocole décrit les grandes lignes à suivre, mais sa mise en œuvre nécessite impérativement une étude de faisabilité afin d'ajuster les différents paramètres préconisés *a priori*. Compte tenu des compétences nécessaires pour sa mise en œuvre, ce protocole doit être appliqué par du personnel et des laboratoires expérimentés dans l'analyse des minéraux naturels. Il ne s'agit pas d'un protocole de routine.

Selon l'objectif recherché : évaluation de l'empoussièrement, évaluation de l'émissivité, etc., les mesures peuvent être réalisées sur opérateur -mesures individuelles- ou en ambiance -mesures à points fixes.

6.2 Mesures de protection à mettre en œuvre

A des fins de prévention des risques professionnels et conformément aux recommandations émises par l'Anses dans son rapport relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015), les interventions menées dans le cadre de ce protocole exploratoire d'acquisition de données doivent être réalisées en appliquant, à visée conservatoire, les préconisations de la réglementation amiante (mesures de protection collective, équipements de protection individuelle, formation des opérateurs, gestion des déchets, etc.). Par analogie, ces interventions relèvent de la sous-section 4.

6.3 Stratégie d'échantillonnage et de prélèvement

La stratégie d'échantillonnage doit être établie après une visite sur le terrain et examen des documents techniques mis à disposition par l'employeur, voire des rapports d'étude existants.

Les mesures en milieu extérieur doivent être réalisées dans des conditions de vent et d'humidité faibles et pas en cas de pluie, ni de sol mouillé.

6.3.1 Mesures individuelles

Le cas échéant, des groupes d'exposition similaire (GES) pourront être constitués.

Un plan, un croquis et/ou des photos décrivant le site, les activités et la localisation des points de mesurage et des conditions observées sont recommandés.

Prélèvement :

Les prélèvements d'air seront réalisés selon la norme XP X 43-269.

6.3.2 Mesures à point fixe

Afin d'établir la stratégie d'échantillonnage des prélèvements d'air dans les bâtiments, les préconisations de la partie dédiée du guide d'application GA X 46-033 doivent être suivies.

L'annexe B de ce guide précise les modalités et paramètres à prendre en compte afin d'établir la stratégie d'échantillonnage en milieu extérieur, notamment la position de la source, la topographie, la position et la typologie des bâtiments et/ou zones boisées, etc.

Les prélèvements d'air doivent être réalisés conformément à la norme NF X 43-050 à l'aide d'une tête sélective isodirectionnelle (CATHIA ou équivalent).

6.3.3 Feuille de prélèvement

Pour chaque prélèvement d'air réalisé, une fiche de prélèvement devra être renseignée et comporter *a minima* les informations suivantes :

- Référence du filtre ;
- Date de prélèvement ;
- Volume prélevé en L ;
- Débit de prélèvement en L/min (initial, final et moyen);
- Heure de début et de fin de prélèvement ;
- Durée de prélèvement en min ;
- Mesures individuelles :
 - Nom de l'opérateur ;
 - Description des tâches réalisées par l'opérateur pendant le prélèvement et description des activités environnantes ;
 - Port d'un appareil de protection respiratoire (APR) : type, durée du port en minutes et précision des tâches au cours desquelles l'APR est porté.
- Mesures à point fixe :
 - Localisation des points de prélèvement (plan, photos, proximité des sources d'émission, etc.) ;
 - Description des activités environnantes pendant le prélèvement ;
 - Toute information utile sur la topographie et la configuration des lieux :
 - Le relief : site encaissé (dent creuse) ou surélevé ;
 - La proximité des sources potentielles ;
 - L'état du sol : à nu, recouvert, couvert végétal.
- Recensement des éventuels problèmes survenus au cours des prélèvements ;
- Dans le cas de mesures réalisées en extérieur : données météorologiques (température, humidité, vitesse et direction du vent, etc.), humidité du sol au moment de la campagne de prélèvements d'air, etc.

6.4 Conditionnement et transport des échantillons

Les échantillons prélevés doivent être conditionnés individuellement sous emballage garantissant le maintien du filtre, face prélevée sur le dessus et envoyés au laboratoire dans des conditions n'altérant pas leur intégrité, accompagnés de la fiche de prélèvement. Le conditionnement du filtre doit garantir que la face prélevée ne touche en aucun cas un élément de l'emballage (Cofrac, 2013)

6.5 Préparation des échantillons

Les filtres ou portions de filtres sont préparés par méthode indirecte, conformément à la norme NF X 43-050 (1996).

En présence de poussières acido-sensibles (calcite, carbonates, etc.), un traitement acide peut être réalisé par ajout d'environ 2 mL d'acide chlorhydrique 1 N pendant environ 5 minutes, aux résidus de calcination, avant leur filtration.

6.6 Analyse

Les règles d'étalonnage du MET et de l'analyseur chimique (EDX), ainsi que le suivi pour la qualité des analyses (blanc de laboratoire, témoins analytiques, surface effective de filtration, surface des ouvertures de grilles, qualité des grilles, ...) de la norme NF X 43-050 doivent être appliqués.

L'analyse doit être réalisée sur au moins 4 ouvertures de grilles sur 2 grilles de MET. Le nombre d'ouvertures de grilles à lire est dépendant de la sensibilité d'analyse à atteindre ou du nombre de PMAi observées.

6.6.1 Sensibilité analytique à atteindre

Pour les mesures individuelles, la sensibilité analytique visée est de 1 PMAi de longueur supérieure à 5 µm par litre et, pour les mesures à point fixe, elle est de 0,3 PMAi de longueur supérieure à 5 µm par litre.

6.6.2 Comptage

Tous les objets présentant un rapport d'allongement supérieur à 3, un diamètre maximal inférieur à 3 µm et une longueur supérieure à 0,5 µm sont mesurés, quelle que soit la morphologie. Une information qualitative de la présence d'objets de diamètre supérieur à 3 µm est indiquée, le cas échéant. Les règles de comptage à suivre sont celles définies par la norme NF X 43-050.

Pour chaque PMAi observée, un classement est fait selon la morphologie, la granulométrie et selon les critères cristallographique et chimique.

L'analyse chimique porte au minimum sur les 11 éléments suivants : Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni et les résultats sont exprimés en pourcentages d'oxydes et en fraction massique.

Les spectres EDS³⁴ acquis sont interprétés à l'aide des pourcentages en poids d'oxydes précédemment déterminés (Cf. Tableau 2, chapitre 3.2.1). Locock a développé une feuille de calcul basée sur la classification proposée par Hawthorne pour les amphiboles (Locock, 2014). Cette feuille de calcul est à utiliser pour l'identification des amphiboles.

Les critères à observer pour la description morphologique des PMAi sont ceux rappelés dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Critères morphologiques pour description des PMAi

Critères morphologiques	
Critères à préciser a minima	Bords parallèles
	Bords étagés
	Une terminaison perpendiculaire Deux terminaisons perpendiculaires
	Terminaisons non perpendiculaires

³⁴ Spectre EDS = spectres obtenus par spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (en anglais Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)

	Faisceau
	Agglomérat
Critères complémentaires pouvant être mentionnés	Autres : prismatique, aciculaire, etc. Des exemples issus de Campbell <i>et al.</i> 1977 sont mentionnés en annexe
-	Non déterminée

Trois classes granulométriques sont considérées selon les critères dimensionnels suivants :

- Critères dimensionnels type EPA : $D < 0,5 \mu\text{m}$, $L > 5 \mu\text{m}$ et $L/D > 20$;
- Critères dimensionnels type OMS : $L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$;
- Critères dimensionnels PMAi courtes : $L < 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$.

Une feuille de relevé d'analyse telle que présentée dans le Tableau 20 est à compléter. La morphologie, la longueur et le diamètre de chaque PMAi sont à renseigner.

Tableau 20 : Exemple de fiche d'analyse META dans l'air

N° filtre		Volume prélevé (L)							
Date de prélèvement		Fraction de filtre traitée							
Date de l'analyse		Surface effective de filtration (mm ²)							
Opérateur		Nombre d'ouvertures de grilles							
		Surface moyenne d'une ouverture de grille (mm ²)							
		Grandissement							
N° grille	N° de l'ouverture	L > 0,5 μm	D < 3 μm	L/D	Diff ³⁵ + -	Morphologie ³⁶	Chimie ³⁷	Variété PMA ³⁸	Remarques Photos

³⁵ Diff+ : obtention d'un cliché de diffraction électronique compatible avec les PMAi, Diff - : Absence de cliché de diffraction électronique.

³⁶ Morphologie : Bords parallèles : BP ; Bords étagés : BE ; Terminaisons perpendiculaires TP (préciser 1 ou 2) ; Terminaisons non perpendiculaires : TNP ; Faisceau : F ; Agglomérat : A ; Autre (à spécifier) ; Non Déterminé : ND.

³⁷ Chimie : Doser Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni en pourcentages d'oxydes et en fraction massique.

³⁸ Variété PMA : actinolite, trémolite, anthophyllite, grunérite, riébeckite, chrysotile, antigorite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, autre.

6.6.3 Critères d'arrêt de comptage

Pour les PMAi de longueur $> 5 \mu\text{m}$, les critères d'arrêt de comptage sont déterminés en tenant compte de la sensibilité analytique à atteindre ou après observation d'un minimum de 100 PMAi sur au moins 2 ouvertures de grilles par grille.

Pour les PMAi de longueur $< 5 \mu\text{m}$, l'arrêt du comptage est établi après observation de 100 PMAi sur au moins 2 ouvertures de grilles par grille ou observation d'un minimum de 5 ouvertures par grille.

6.7 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir *a minima* les renseignements suivants, auxquels il faut annexer la stratégie d'échantillonnage détaillée, les feuilles de prélèvement et la feuille d'analyse de présentation des résultats (tableau avec les critères de classification,...) :

- Informations issues du prélèvement :
 - Référence du filtre ;
 - Date de prélèvement ;
 - Volume prélevé en L ;
 - Débit de prélèvement en L/min (initial, final, moyen).
- Informations issues de l'analyse :
 - Identification de l'analyste ;
 - Date de l'analyse ;
 - Fraction du filtre traité pour analyse ;
 - Surface effective de filtration en mm^2 ;
 - Grandissement utilisé ;
 - Surface moyenne d'ouverture de grille en mm^2 ;
 - Nombre d'ouvertures de grilles examinées pour les PMAi $> 5 \mu\text{m}$;
 - Nombre d'ouvertures de grilles examinées pour les PMAi $< 5 \mu\text{m}$;
 - Sensibilité analytique pour les PMAi de $L > 5 \mu\text{m}$;
 - Sensibilité analytique pour les PMAi de $L < 5 \mu\text{m}$;
 - Nombre de PMAi de $L > 5 \mu\text{m}$ comptées ;
 - Nombre de PMAi de $L < 5 \mu\text{m}$ comptées ;
- Incertitude élargie sur les résultats, par classe granulométrique ;
- Photographies : illustration des principales morphologies identifiées, associées à leur analyse chimique ;
- Les clichés MET et les spectres EDX seront archivés.

En plus des fiches d'analyse complétées, les résultats sont synthétisés sous forme de tableau présentant la concentration en PMAi/L et le pourcentage de chaque classe granulométrique pour chaque espèce (cf. Tableau 21). Si parmi les espèces minérales identifiées, des variétés d'amiante sont présentes, celles-ci sont clairement mentionnées.

Tableau 21 : Synthèse des résultats d'analyse META dans l'air

		Concentration (PMAi/L)			Classes granulométriques (%)		
		OMS	EPA	courtes	OMS	EPA	courtes
Amphiboles	Actinolite						
	Anthophyllite						
	Trémolite						
	Amosite						
	Grunérite						
	Crocidolite						
	Riébeckite						
	Winchite						
	Richtérite						
	Fluoro-édénite						
	Autres amphiboles						
Serpentines	Chrysotile						
	Antigorite						
Érionite							

Un graphique présentant les longueurs et diamètres de chaque PMAi est élaboré selon le modèle de la Figure 19.

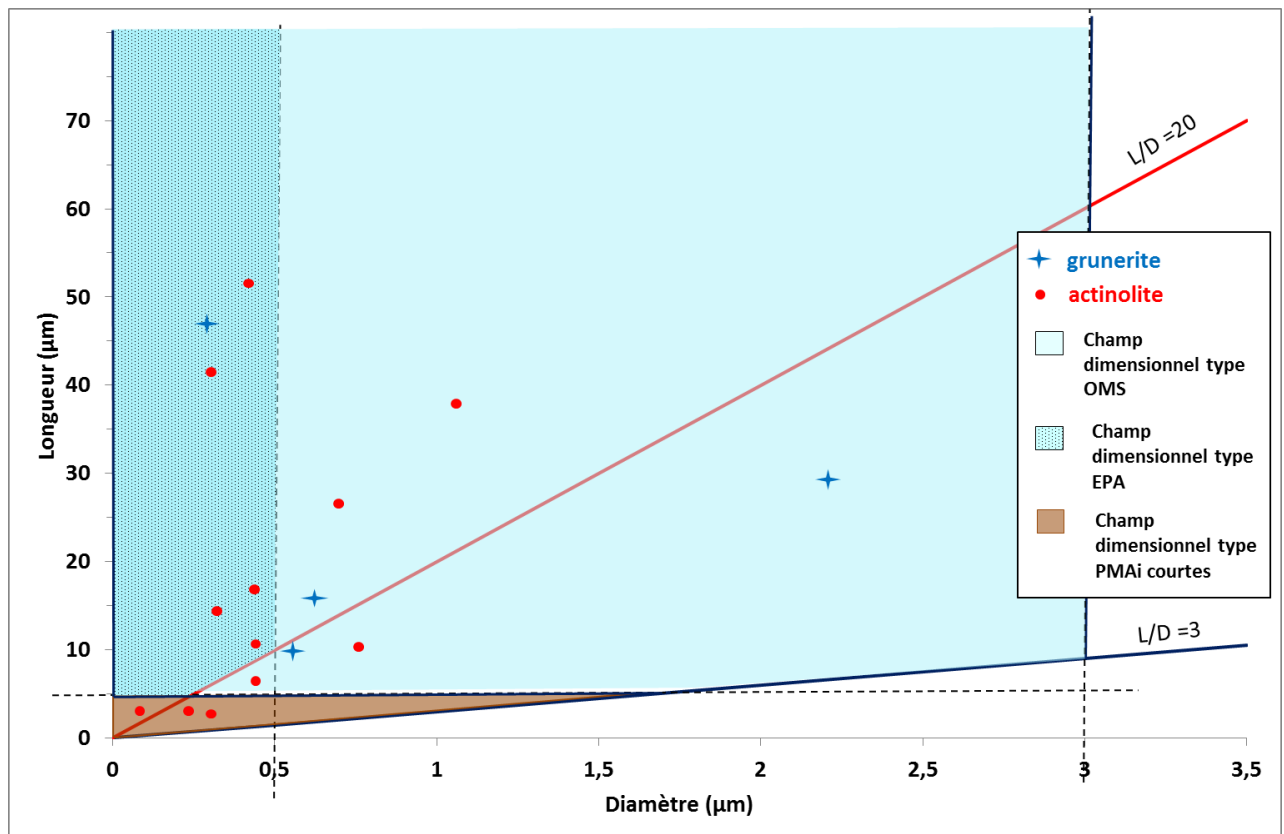


Figure 19 : Exemple de représentation graphique des résultats d'analyse META dans l'air

6.8 Variante : mesure des retombées atmosphériques

Une approche complémentaire peut être envisagée consistant à réaliser des prélèvements à l'aide de jauges de dépôts (jauge Owen par exemple). Ces dispositifs sont mis en place pour des durées nettement plus longues que pour les prélèvements d'air (généralement un mois minimum) et peuvent permettre d'appréhender les retombées atmosphériques totales aux alentours des points d'émission. Cette méthode n'est pas adaptée au suivi des épisodes d'empoussièrement de courte durée (quelques heures à quelques jours), mais les résultats sont utilisés à des fins de comparaisons spatiales et temporelles sur le long terme. La détermination d'un niveau initial ou d'un point zéro sans activité est un préalable nécessaire pour effectuer un suivi des concentrations avec cette méthode. Le résultat s'exprime en nombres de fibres par unité de surface et par jour ($F/mm^2/jour$).

La norme NF X 43-014 décrit les critères de choix des sites d'échantillonnage en fonction des sources de pollution à surveiller, les différents collecteurs ainsi que plusieurs méthodes de traitement des retombées atmosphériques.

Les collecteurs sont constitués d'un récipient de collecte d'un volume de 2 à 30 L et d'un entonnoir. Il est recommandé que le matériau constitutif de ces éléments soit du verre. Une grille peut être ajoutée sur l'entonnoir afin de retenir les feuilles et débris végétaux divers.

Traitement de l'échantillon :

La norme NF X 43-014 décrit les modalités générales de traitement de l'échantillon.

Analyse (META) :

Les règles d'étalonnage du MET et de l'analyseur chimique (EDX) ainsi que le suivi pour la qualité des analyses (blanc de laboratoire, témoins analytiques, surface effective de filtration, surface des ouvertures de grilles, qualité des grilles, ...) de la norme NF X 43-050 doivent être appliqués.

La récupération des retombées peut être réalisée à l'aide d'une solution aqueuse qu'il convient de filtrer afin de récupérer un substrat à analyser au META en vue de détecter la présence ou non de PMAi.

7 Cahier des charges techniques pour la réalisation d'une étude en laboratoire afin d'évaluer les émissions en PMAi générées lors de sollicitations mécaniques de matériaux de construction

7.1 Objectif du protocole

Le protocole expérimental, élaboré dans un but exploratoire, vise à déterminer la présence de particules minérales allongées d'intérêt dans les émissions particulières issues de bétons sollicités mécaniquement. Les PMAi considérées dans ce protocole sont les PMA d'espèces minérales ciblées dans la saisine de ratio $L/D > 3$ et de $D < 3 \mu\text{m}$. Pour mémoire, les espèces minérales ciblées sont les suivantes :

- Amphiboles actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite ;
- Amphiboles winchite, richtérite, fluoro-édénite ;
- Serpentes chrysotile et antigorite ;
- Erionite.

Il est à noter que ce protocole expérimental ne vise en aucun cas à qualifier le niveau d'exposition d'un opérateur en situation de travail. De même les résultats de ces essais ne pourront pas être extrapolés dans un but d'évaluation de l'exposition, mais permettront de déterminer si des bétons formulés à partir de granulats contenant des espèces minérales d'intérêt peuvent émettre des PMAi lors de sollicitations mécaniques.

En outre, ce cahier des charges peut être décliné pour déterminer l'émission en PMAi générées lors d'autres types de sollicitations mécaniques que celles proposées dans ce document et sur d'autres types de matériaux (roche, enrobés, etc.).

7.2 Mesures de protection à mettre en œuvre

A des fins de prévention des risques professionnels et conformément aux recommandations émises par l'Anses dans son rapport relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015), les interventions menées dans le cadre de cette étude en laboratoire doivent être réalisées en appliquant, à visée conservatoire, les préconisations de la réglementation amiante (mesures de protection collective, équipements de protection individuelle, formation des opérateurs, gestion des déchets, etc.). Par analogie, ces interventions relèvent la sous-section 4.

7.3 Démarche expérimentale

La démarche expérimentale proposée consiste, en :

- la préparation d'éprouvettes de béton dont les caractéristiques sont maîtrisées ;
- la réalisation d'une sollicitation mécanique caractérisée ;
- la détermination de la nature des émissions particulières et notamment la présence de PMAi.

Les essais sont réalisés dans une enceinte expérimentale ventilée et maintenue en dépression. Des gants, placés au niveau de l'enceinte, permettent la manipulation d'outils par l'expérimentateur.

Simultanément aux sollicitations, les particules aéroportées et déposées sont prélevées en vue de rechercher la présence de PMAi. De même, un suivi de la concentration et de la granulométrie de la phase aérosol est réalisé.

Une phase d'ajustement sera conduite en vue, d'une part de valider les conditions opératoires des essais, notamment les conditions aérauliques, le bruit de fond particulaire et les conditions opératoires des sollicitations mécaniques, et d'autre part d'ajuster les conditions de prélèvement des échantillons.

La Figure 20 illustre la démarche expérimentale proposée.

Il est proposé de tester *a minima* 2 formulations de béton et 3 sollicitations mécaniques par formulation de béton. Les sollicitations envisagées correspondent aux opérations *a priori* les plus émissives en termes d'empoussièrément d'après les auditions réalisées dans le cadre de cette expertise, à savoir le sciage, le perçage et le ponçage.

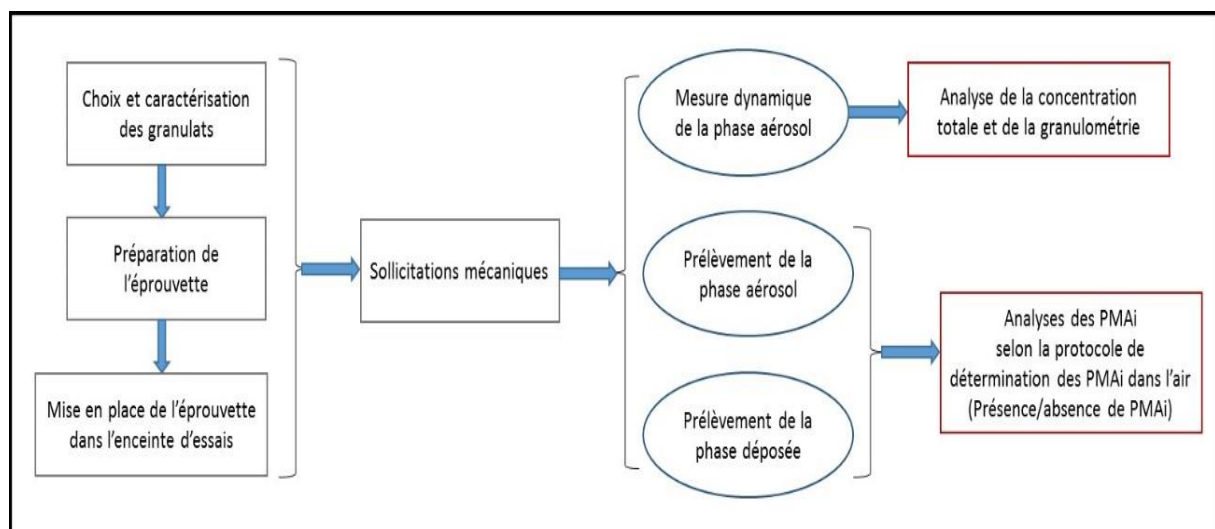


Figure 20 : Démarche expérimentale pour l'étude en laboratoire

7.4 Protocole d'essai

7.4.1 Formulation des éprouvettes

7.4.1.1 Provenance et caractérisation des granulats en amont

Provenance :

Les granulats sont issus de carrières dans lesquelles la présence d'actinolite ou d'une autre espèce minérale d'intérêt est avérée.

L'origine des granulats doit être spécifiée. Les caractéristiques des granulats doivent être transmises par le fournisseur, notamment les caractéristiques de résistance mécanique relatives à la norme 12620 +A1 (2008).

Caractérisation :

Les granulats doivent être analysés à réception, avant formulation des éprouvettes de béton selon le protocole de « mesures exploratoires des espèces minérales dans les matériaux susceptibles de libérer des PMAi » (Cf. chapitre 5)

7.4.1.2 Choix de la formulation

La définition de l'éprouvette d'essai s'appuie sur les données de la norme NF EN 206/CN relative au « Béton — Spécification, performance, production et conformité ». Celle-ci définit 18 types de bétons traditionnels dans son annexe F.

En vue de s'orienter vers un béton dont la composition est couramment mise en œuvre en France, il est proposé de mettre en place des éprouvettes de béton de composition médiane entre XC4 et XC1, soit avec un ratio eau/ciment compris entre 0,50 et 0,65.

Ainsi, la formulation des éprouvettes pourrait être la suivante : 260 kg de ciment, 130 kg d'eau et 1810 à 1910 kg de granulats (sable + gravillons) de façon à obtenir une masse volumique de 2200 à 2300 kg/m³.

Les valeurs préconisées dans la norme NF EN 206/CN ont été définies avec des granulats « de masse volumique normale, dont D_{max} est comprise dans la plage de 20 mm à 32 mm ».

Il est également possible de se référer à la fiche technique CIMBéton, « les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre », proposant des ordres de grandeurs pour les proportions de chaque constituant d'un béton (Cf. Tableau 22)

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Volume (en %)	14 – 22	1 - 6	7 – 14	60 - 78
Poids (en %)	5 - 9		9 - 18	65 - 85

Tableau 22 : Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant

La même formulation de béton est préparée à partir de granulats de deux provenances différentes, de manière à réaliser les essais de sollicitation sur deux types d'éprouvettes.

7.4.1.3 Préparation et dimensionnement

Compte-tenu de l'émission potentielle de PMAi associée à la préparation du béton, il est proposé de préparer les éprouvettes en milieu extérieur. Il est préconisé le port de gants, d'une combinaison jetable et d'un masque respiratoire (niveau de protection à déterminer), qui seront traités comme des déchets amiantés. Le niveau de protection est faible car le risque d'émission est drastiquement réduit lorsque les granulats sont manipulés dans une phase aqueuse.

La préparation du béton est réalisée par mélange de l'eau, du ciment et des granulats dans un malaxeur assurant son homogénéité. Le béton est ensuite coulé dans un coffrage en bois.

De façon à permettre leur manipulation, des éprouvettes de 30 x 30 cm de côté et de 15 cm de hauteur sont proposées.

Le séchage des éprouvettes, d'une durée de 28 jours, doit être identique pour l'ensemble des expérimentations. La laitance sera supprimée par ponçage afin de permettre une action directe sur les granulats.

7.4.2 Description du banc d'essai

7.4.2.1 Dimensions et agencement du banc d'essai

Le banc d'essai est composé principalement des éléments suivants :

- Éprouvette ;
- Outil dédié à la sollicitation mécanique ;
- Dispositif de captage et de mesure de l'aérosol.

L'ensemble est confiné dans une boîte à gants étanche en dépression (Figure 21). Le matériau constitutif de l'enceinte du banc et du capotage doit être non sensible aux charges

électrostatiques et facilement « décontaminable » pour faciliter le nettoyage entre chaque essai.



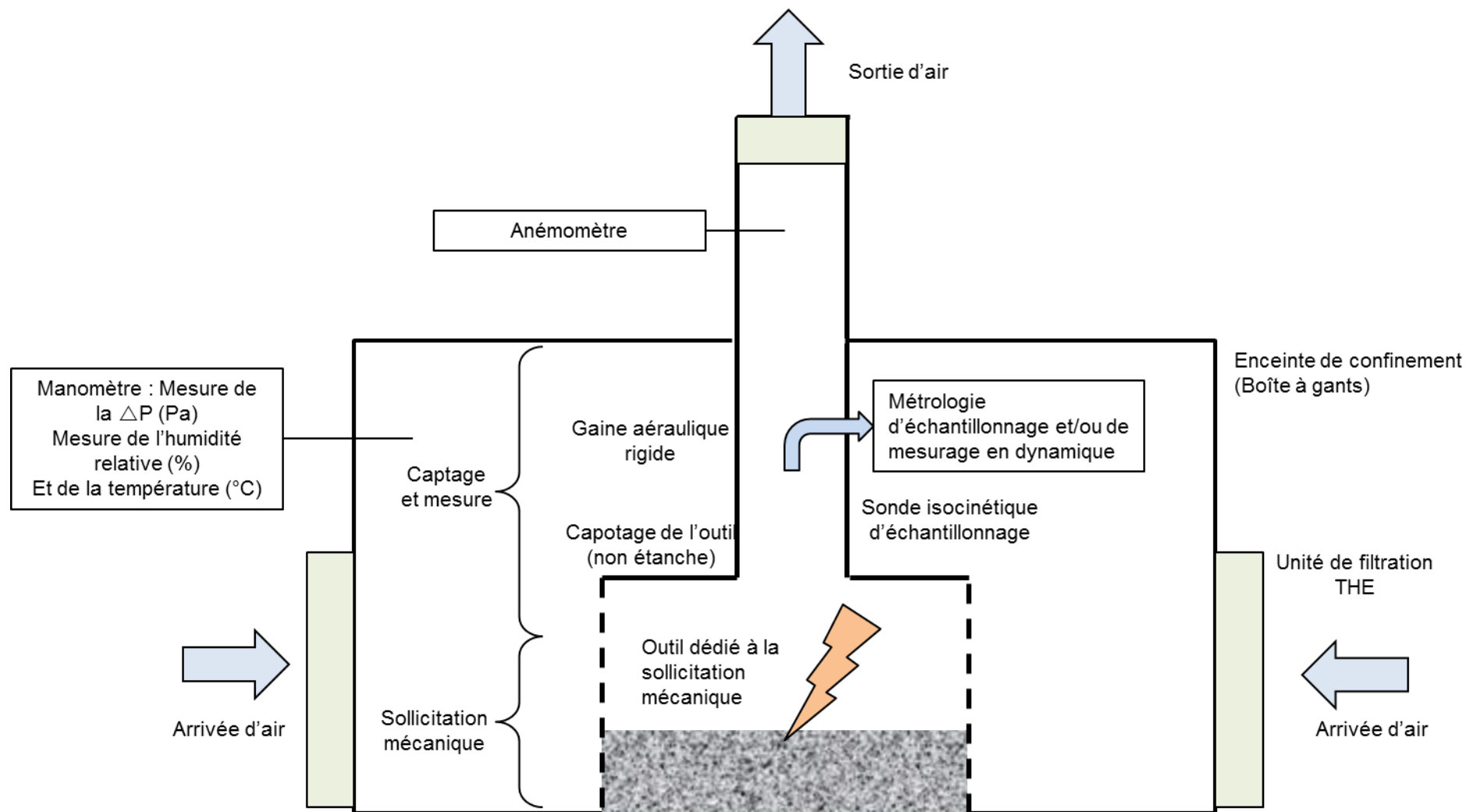


Figure 21 : Schéma de principe du banc de caractérisation des PMAi émises lors de sollicitations mécaniques d'éprouvette de béton

Le banc d'essai doit permettre d'accueillir une éprouvette de béton de 30x30x15 cm.

Un support spécifique doit être prévu pour une manutention aisée de l'éprouvette et son dépôt dans le banc. De façon à permettre l'introduction de l'éprouvette dans le banc, la façade avant du banc doit être démontable.

Un capotage, non étanche, situé au-dessus de l'éprouvette et englobant l'outil est proposé de façon à collecter au mieux l'ensemble des particules produites et à limiter leur dispersion dans l'ensemble du banc. Ce capotage doit être dimensionné en fonction des dimensions de l'outil et de sa manipulation.

La manipulation de l'outil nécessite la mise en place de gants.

Un sas « entrée » doit permettre l'introduction de matériel propre dans le banc (métrologie, éléments de nettoyage, eau, papier, sac). Un sas « sortie » doit permettre d'évacuer les déchets générés. Les sas devront être ventilés.

7.4.2.2 Aéraulique du banc d'essai

De façon à protéger l'opérateur, les expérimentations doivent être conduites dans une enceinte étanche, ventilée et maintenue en dépression. Les conditions de ventilation de cette enceinte doivent être paramétrées de façon à obtenir des niveaux de dépression de l'ordre de 30 à 50 Pa.

Pour ce faire, le ventilateur d'extraction doit être muni d'un potentiomètre de façon à réguler son fonctionnement et des registres sont placés aux entrées d'air du banc pour permettre une régulation des pertes de charges. De façon à suivre le niveau de dépression, un manomètre est connecté à l'enceinte (Figure 21).

Dans le même temps, les conditions aérauliques sont suivies à l'aide d'un anémomètre à fil chaud dans la gaine aéraulique d'extraction (Figure 21).

Afin d'échantillonner de façon représentative l'aérosol produit lors des sollicitations mécaniques, il est proposé de travailler à des renouvellements d'air horaires (RAH) élevés de l'ordre de 70 à 80 RAH. Pour une boîte à gants dont le volume intérieur est de l'ordre de 1 m³, il s'agit ainsi d'imposer un débit d'air de sortie de l'ordre de 70 à 80 m³/h.

Dans une gaine de prélèvement de 20 cm de diamètre, les vitesses d'air sont de l'ordre de 0,4 à 0,5 m/s.

7.4.2.3 Suivi des conditions environnementales

Les conditions de température et d'humidité relative doivent être maîtrisées et suivies dans le banc d'essai. Ces facteurs environnementaux peuvent avoir un impact sur le phénomène d'aérosolisation des particules produites par la sollicitation mécanique. Les consignes de température et d'humidité relative sont respectivement établies à 23±2°C et 50±5%.

7.4.3 **Dispositif de prélèvement des particules émises**

Particules émises dans l'air :

Le dispositif d'échantillonnage des particules émises dans l'air est constitué d'une buse de prélèvement, positionnée en amont d'un porte-filtre 37 mm muni d'une membrane en ester de cellulose de diamètre de pores 0,45 µm. Cette buse est dimensionnée de façon à assurer des prélèvements isocinétiques. L'ensemble est positionné, au plus près de la zone de sollicitation, au centre de la gaine aéraulique, de manière isoaxiale par rapport au flux aéraulique.

Le prélèvement d'air est réalisé par filtration au débit de 3 L/min en vue d'une analyse en META.

Poussières sédimentées :

Les poussières sédimentées sont collectées tout ou partie à l'aide d'un pinceau à usage unique dans un contenant non électrostatique (verre, par exemple) dans des conditions permettant d'éviter toute contamination des personnes et des locaux.

Bruit de fond particulaire :

Le bruit de fond particulaire correspond à la concentration particulaire dans le banc d'essai, avec la ventilation en fonctionnement et en l'absence de sollicitation. Il doit être qualifié pour différents niveaux de dépression testés. De même, le bruit de fond associé au fonctionnement de l'outil employé pour la réalisation des sollicitations mécaniques doit être qualifié. Le bruit de fond particulaire est évalué à l'aide de compteurs de particules sur une plage granulométrique comprise entre 0,1 et 20 µm.

7.4.4 Ajustement des conditions opératoires

Cette phase de travail préliminaire vise à ajuster et valider les paramètres liés aux sollicitations mécaniques en vue d'obtenir des prélèvements représentatifs et analysables notamment en évitant des phénomènes de surcharge des filtres en particules.

Pour ce faire, les paramètres suivants doivent être évalués et ajustés :

- Nombre de sollicitations ;
- Vitesse de fonctionnement (2 niveaux) ;
- Durée de la sollicitation.

La profondeur d'application de la sollicitation, comprise entre 5 et 10 cm, est fixée pour l'ensemble de la campagne expérimentale. L'outil est mis en œuvre en un point de l'éprouvette par le manipulateur, avec l'application d'un mouvement vertical et sans mouvement horizontal de manière à être le plus reproductible possible d'une expérimentation à l'autre. Une photographie de l'état de l'éprouvette avant et après usage de l'outil doit être réalisée.

Cette phase de travail permet également d'ajuster les modalités de prélèvement des particules émises lors de la sollicitation, notamment la durée du prélèvement, afin d'éviter tout colmatage du filtre, ainsi que les conditions aérauliques dans le banc d'essais.

La validation des conditions de réalisation des essais sera effectuée par des essais de répétabilité pour chaque configuration.

7.4.5 Essais de sollicitation mécanique

Trois sollicitations mécaniques sont testées par formulation de béton, et trois essais par couple formulation/sollicitation sont réalisés.

Les sollicitations mécaniques à tester sont le sciage, le perçage et le ponçage.

7.4.5.1 Installation du matériel dans le banc

L'installation de l'éprouvette, de l'outil et des boîtes de pétri nécessitent l'ouverture du banc. Durant cette opération, la ventilation du banc doit être en fonctionnement et le port d'EPI est préconisé. Le banc est ensuite refermé hermétiquement.

7.4.5.2 Mesure du bruit de fond particulaire

Les conditions aérauliques validées lors de l'ajustement des conditions opératoires sont mises en place. Les essais sont réalisés en dépression (minimum -30 Pa). Une mesure en dynamique à l'aide d'un compteur de particules et un prélèvement sur filtre sont effectués avant le début de l'essai de sollicitation mécanique afin de s'assurer de l'absence de contamination du banc. La durée de prélèvement sur filtre permettant de caractériser le bruit de fond particulaire doit être équivalente à la durée de prélèvement lors des essais de sollicitation mécanique.

7.4.5.3 Essai de sollicitation mécanique et prélèvement des particules émises

Les paramètres validés lors de la phase d'ajustement des conditions opératoires doivent être appliqués lors des essais de sollicitations mécaniques : durée de la sollicitation, vitesse de l'outil, profondeur d'application, etc....

La sollicitation mécanique et le prélèvement des particules émises débutent une fois la stabilité des conditions aérauliques atteinte et des conditions environnementales satisfaisantes. Le prélèvement d'air doit débuter avant la sollicitation mécanique.

Les durées du prélèvement et de sollicitation mécanique définies lors de la phase d'ajustement des conditions opératoires sont appliquées.

7.4.5.4 Retrait du matériel

Préalablement à l'évacuation de l'éprouvette après essai, celle-ci est aspergée de surfactant ou humidifiée de façon à limiter l'aérosolisation de particules. L'ouverture du banc et le retrait de l'éprouvette est alors possible. Cette ouverture rompt l'étanchéité du banc d'essai. Lors de cette opération, le port d'EPI adapté est préconisé (masque respiratoire dont le niveau de protection est à définir, combinaison à usage unique et gants).

7.4.5.5 Décontamination de la boîte à gants

Entre chaque essai, la boîte à gants doit être décontaminée.

Cette décontamination consiste en un nettoyage méticuleux de l'ensemble des surfaces, ainsi que de l'outil servant aux sollicitations mécaniques et de la buse de prélèvement des aérosols. Il est proposé d'utiliser du papier humidifié. Durant cette phase de nettoyage, la ventilation du banc est maintenue. L'introduction de matériels pour le nettoyage s'effectue par le sas d'entrée.

La mesure du bruit de fond particulaire avant chaque essai permet de s'assurer de l'effectivité de la décontamination.

7.4.5.6 Transport des échantillons

Les échantillons de granulats et les échantillons de particules prélevées (dans l'air et sédimentées) doivent être conditionnés et envoyés au laboratoire dans des conditions n'altérant pas leur intégrité. Les échantillons sont placés dans un premier contenant hermétique, lequel est ensuite mis dans un second contenant, également hermétique (double ensachage).

7.4.5.7 Analyse des prélèvements d'air et de poussières déposées

L'analyse des prélèvements des particules émises dans l'air et des poussières sédimentées est réalisée conformément au « protocole de mesures exploratoires des espèces minérales dans les matériaux susceptibles de libérer des PMAi » (cf. chapitre 5), afin d'identifier la présence d'espèces minérales d'intérêts. En cas de présence d'espèces minérales d'intérêt, les PMAi sont caractérisées en META selon les préconisations formulées dans la partie « comptage » du protocole de mesures exploratoires des PMAi dans l'air (Cf. chapitre 6.6.2). La morphologie, la longueur et le diamètre de chaque PMAi sont renseignés. Les modalités de rendu des résultats (tableaux et graphiques) sont détaillées dans les protocoles exploratoires de mesure des espèces minérales d'intérêt dans les matériaux et des PMAi dans l'air.

8 Cahier des charges techniques pour la conduite d'une campagne exploratoire de mesures de terrain

8.1 Objectifs de la campagne de mesures exploratoire

L'objectif de la campagne de mesures est d'évaluer les niveaux de concentration en PMAi émis lors de différentes activités. Le cahier des charges proposé ici est à visée exploratoire et d'acquisition de données. Il n'a pas pour objectif premier d'obtenir des mesures représentatives de l'ensemble des situations d'exposition des populations professionnelles et générale aux PMAi.

8.2 Logistique

Il est proposé que cette campagne de mesures s'appuie sur la logistique mise en place dans le cadre de l'actuel Projet CARTO.

Le projet CARTO, mis en place pour dresser une cartographie de l'empoussièrement amiante généré par des processus de travail couramment utilisés dans le BTP essentiellement de courte durée, cible uniquement les interventions sur les matériaux contenant de l'amiante ajouté et certaines activités. Il ne couvre actuellement pas les matériaux naturels, les activités hors BTP, etc.

Cependant, le schéma global peut être décliné dans le cadre de la campagne expérimentale de mesures de PMAi sur le terrain avec un rôle similaire pour les différents acteurs :

- Identification de sites : la recherche de site doit tenir compte des critères détaillés au chapitre 8.3 ;
- Validation du chantier par un coordonnateur ;
- Intervention par un organisme indépendant et compétent sur chantier sous l'égide d'un superviseur.

L'ensemble des résultats doit être consolidé et synthétisé au sein d'une base de données, ce qui nécessite de développer un outil informatique (base de données / application web) permettant de saisir l'ensemble des données.

L'analyse des résultats de la campagne de mesurage doit être réalisée par un acteur compétent. Les principales étapes sont les suivantes :

- Vérification et validation des données ;
- Traitement statistique des données et interprétation des résultats ;
- Recommandations en matière de stratégie d'échantillonnage, de prélèvements et d'analyse.

Le rôle et les missions du coordonnateur seraient de :

- Valider la concordance entre les sites et le périmètre de la campagne ;
- Mettre à la disposition les moyens humains nécessaires à l'accomplissement de la mission ;
- Mettre à la disposition du projet un outil informatique (base de données / application web) ;
- Assurer un reporting sur l'état d'avancement de la campagne.

Le rôle et les missions du superviseur seraient de :

- Constater que les opérations de terrain sont conformes à ce qui a été planifié par le coordonnateur, en particulier pour ce qui concerne la situation étudiée et le respect des points clés relatifs aux prélèvements ;
- Réaliser un reportage photo des sites.

La mise en œuvre de cette campagne exploratoire doit s'appuyer sur des organismes indépendants, compétents et expérimentés.

8.3 Choix des sites/activités à investiguer

Le tableau suivant recense les critères à prendre en considération pour cibler les sites et/ou activités potentiellement impactés par la présence d'espèces minérales d'intérêt et donc susceptibles d'émettre des PMAi dans l'air ambiant. Pour les travaux de bâtiments et autres travaux publics, le choix des sites à investiguer repose en premier lieu sur la connaissance des sites d'extraction, en se référant aux travaux conduits par le BRGM (cf. chapitre 3.3.2). Il conviendra ensuite de s'assurer de la traçabilité des matériaux extraits de ces carrières ciblées. En l'absence de données permettant la traçabilité des granulats, les sites à investiguer en priorité sont ceux situés dans un rayon de 50 km autour de la carrière ou de la centrale à béton ciblée.

Concernant les autres activités en environnement naturel, en l'absence de données, il est recommandé d'identifier les zones potentiellement à risque sur la base des données de cartographie du BRGM.

Dans tous les cas, le matériau (béton, enrobés routiers, ballast, sol...) devra être caractérisé en amont.

Concernant les opérations à tester, en complément des informations transmises lors des auditions, l'OPPBT a été sollicité afin de déterminer les opérations les plus couramment réalisées sur les matériaux de construction, les plus émissives et le type de matériel utilisé pour les secteurs du bâtiment et des travaux publics. Leurs réponses sont intégrées dans le tableau ci-dessous. A noter qu'en l'absence de données de mesures relatives aux PMAi, les données transmises concernent **l'émissivité en poussières totales** et ne prennent pas en compte la mise en œuvre d'équipements de protection collective ni le port d'un éventuel EPI.

En l'absence de données pour les autres secteurs d'activité, la campagne exploratoire devra cibler en priorité les opérations *a priori* les plus émissives et les plus fréquemment mises en œuvre.

1
2

Tableau 23 : Critères de sélection des sites et activités à investiguer pour la campagne exploratoire de terrain

Sites	Critères	Activité / processus à investiguer	Commentaires
Carrières de granulats et de ROC	Cibler les carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt (cf. chapitres 3.3.3 et 3.3.4)	Tous postes, maintenance, etc.	Certains sites ont déjà fait l'objet de campagnes à visée de recherche d'amiante (cf. Chapitre 3.3.2)
Carrières de minéraux industriels	Cibler les zones géographiques potentiellement impactées	Exploitation de la carrière	
Mines	Cibler les zones géographiques potentiellement impactées	Exploitation de la mine	
Autres travaux souterrains (tunnels)	Cibler les zones géographiques potentiellement impactées. Cibler les travaux souterrains utilisant des bétons fabriqués à partir de granulats susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt (à proximité des carrières d'intérêt)	Percement du tunnel à l'aide de tunnelier, forage, projection de béton (pompe, machine à projeter).	Les interventions classées prioritaires par l'OPPBT en termes d'émissivité de poussières et de fréquences d'opérations sont : le percement de tunnels et la projection de béton.
Chantiers routiers	<u>Pour les routes en bitumes :</u> Cibler les chantiers dans lesquels les espèces minérales d'intérêt ont été identifiées ou sont suspectées : Chantiers utilisant des enrobés routiers fabriqués à partir de granulats extraits des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir des minéraux d'intérêts. Chantiers à proximité des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt (Rayon : 50 km). <u>Pour les routes en béton :</u> Cibler les chantiers à proximité des carrières exploitant des matériaux	Extraction et recyclage (fabrication de matériaux) : malaxeur concasseur Fraisage ou rabotage : conducteur fraiseuse Fraisage ou rabotage : conducteur camion Fraisage : conducteur balayeuse Fraisage : régleur Ouvrier au sol : opérateur chargé de l'arrosage, du nettoyage, de la gestion de déchets (bâchage, conditionnement, cerclage des bigbags), etc. lors des opérations de fraisage Carottage Sciage : ouverture de tranchée, sciage de bordures de trottoirs en béton Pelletage : ouverture de tranchée	Certains sites ont déjà fait l'objet de campagnes à visée de recherche d'amiante (cf. Chapitre 4). Les interventions classées prioritaires par l'OPPBT en termes d'émissivité de poussières et de fréquences d'opérations sont : 1/ Le rabotage de chaussées, le décrotage de chaussées, le sciage de chaussées ou de bordures. 2/ Le sciage et le burinage de chaussées 3/ Extraction et recyclage, carottage, petites interventions

Sites	Critères	Activité / processus à investiguer	Commentaires
	susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt (Rayon : 50 km).	Décroûtage – déconstruction : à la pelle mécanique Décroûtage au marteau piqueur Burinage : marteau piqueur électrique Burinage : Brise roche hydraulique BRH (opérateur déporté) Dépavage Thermo décapage Hydro décapage Perçage d'enrobé : perceuse ou perforateur Enrobeur – projeteur : réparation de nids de poule (procédé à froid) Autres : petites interventions manuelles (perceuse, burin, marteau burin)	
Centrales béton, centrales d'enrobage	Cibler les centrales s'approvisionnant auprès des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir les espèces minérales d'intérêt. Cibler les centrales localisées dans ou à proximité des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir les espèces minérales d'intérêt (Rayon : 50 km).	Transport et déchargement des matériaux, mélange	
Centrales d'enrobage	Cibler les centrales d'enrobage fixes et mobiles situées à proximité des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir les espèces minérales d'intérêt (Rayon : 50 km).	Transport et déchargement des matériaux, mélange	

Sites	Critères	Activité / processus à investiguer	Commentaires
Bâtiments et ouvrages de génie civil	Cibler les constructions en béton situées à proximité des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir les espèces minérales d'intérêt (en activité ou fermées...) (Rayon : 50 km).	<p>Cibler les chantiers de constructions neuves ou de réhabilitation lourde (avec intervention sur la structure).</p> <p>Gros œuvre :</p> <p>Fabrication sur chantier de bétons et mortiers</p> <p>Travaux de coffrage</p> <p>Mise en œuvre des bétons et mortiers (machine à projeter, à la pelle, coulage à la benne, à la pompe)</p> <p>Travaux de finition</p> <p>Travaux de reprise</p> <p>Taille de pierre</p> <p>Ponçage de béton et de pierre</p> <p>Réalisation de chape en ciment</p> <p>Entretien, maintenance, traitement des fissures notamment</p> <p>Opérations de balayage de chantier</p> <p>Enveloppe :</p> <p>Travaux d'étanchéité classique</p> <p>Travaux de couverture</p> <p>Travaux de bardage</p> <p>Travaux de finition :</p> <p>Préparation des supports verticaux et horizontaux en béton ou maçonnés (grenailleuse, aspirateur, petit outillage)</p> <p>Préparation des enduits, gâchage des produits pulvérulents (truelle, auge, mélangeuse)</p> <p>Mise en œuvre des enduits (spatule, tyrolienne, pompe et lance de projection)</p>	<p>Les interventions classées prioritaires par l'OPPBTP en termes d'émissivité de poussières et de fréquence d'opérations sont :</p> <p>La Fabrication sur chantier de bétons et mortiers ;</p> <p>Les travaux d'entretien/maintenance ;</p> <p>Les opérations de balayage des chantiers.</p> <p>Les opérations réalisées par la population générale sur des bétons fabriqués à partir de granulats issus des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir les espèces minérales d'intérêt doivent également être investiguées.</p>

Sites	Critères	Activité / processus à investiguer	Commentaires
		Travaux de peinture (ponceuse, pinceau, rouleau, pistolet, pulvérisateur) Travaux de revêtement sols et murs (petit outillage) Entretien, maintenance (décapeuse, outillage électroportatif dont ponceuse et perceuse).	
Chantiers de démolition et centres de tri des déchets de BTP	Cibler les chantiers situés à proximité des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir les espèces minérales d'intérêt (Rayon : 50 km). Cibler les centres de tri dans lesquels les déchets de ces sites de démolition sont acheminés.	Curage avant démolition (masse, pied de biche, marteau piqueur, tapis, goulotte, benne) Démolition intérieure et écrêtage (pelle grignoteuse, BRH, broyeur) Abattage (pelle grignoteuse, BRH, broyeur) Découpage, sciage, carottage (matériel spécifique, scies, petit outillage) Démolition à l'explosif (pelle hydraulique, broyeur) Tri et évacuation des produits de démolition (balai, benne, pelle hydraulique avec pince de tri)	Les interventions classées prioritaires par l'OPPBT en termes d'émissivité de poussières et de fréquence d'opérations sont : Curage avant démolition. Tri et évacuation des produits de démolition.
Autres secteurs des TP	Canalisations : Cibler les zones géographiques potentiellement impactées.	Interventions sur canalisation (construction, entretien/maintenance, réhabilitation) : transport de matériaux, sciage, burinage, rabotage, décroulage, ouverture de fouille, malaxage (recyclage en place), remblayage de fouille, stockage Travaux VRD divers : transport de matériaux, ouverture/remblayage de tranchées, burinage/sciage, décroulage, malaxage (recyclage en place), stockage	Si le calendrier est compatible (travaux urgents). Les interventions classées prioritaires par l'OPPBT en termes d'émissivité de poussières et de fréquence d'opérations sont : L'ouverture et la remise en état de revêtements bitumineux (trottoirs et chaussées) à l'aide de scie sol, mini pelle, tractopelle. Le découpage de canalisation et le démontage de canalisation par désembrochage.

Sites	Critères	Activité / processus à investiguer	Commentaires
	Voies ferrées : cibler les chantiers utilisant des ballasts extraits des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir des minéraux d'intérêts. Cibler les chantiers à proximité des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt (Rayon : 50 km).	Interventions sur voies ferrées (construction, entretien/maintenance, réhabilitation), démolition et recyclage des matériaux : Transport de matériaux, burinage, sciage, compactage, concassage, criblage, malaxage, stockage	Les interventions classées prioritaires par l'OPPBTP en termes d'émissivité de poussières et de fréquences d'opérations sont : 1/ le retrait et remplacement de ballast 2/ le démontage de voies existantes
	Terrassement : Cibler les zones géographiques potentiellement impactées	Construction d'ouvrages en terre (déblais/remblais) : extraction, décroulage, compactage, concassage, criblage, épandage, malaxage et traitement en place, stockage, reprise/réutilisation/recyclage	Les interventions classées prioritaires par l'OPPBTP en termes d'émissivité de poussières et de fréquences d'opérations sont : 1/le terrassement en déblais/remblais 2/ le traitement de sol (malaxeur, épandeuse) et les petits terrassements (pelle, mini pelle) 3/ la préparation des matériaux (concasseur, crible, tapis convoyeur)
	Travaux électriques : Cibler les zones géographiques potentiellement impactées	Travaux d'installation, de maintenance de modification de réseaux souterrains de distribution électrique, télécommunications, équipements électriques (éclairage, signalisation routière, parcmètres etc.) : transport de matériaux, sciage, burinage, décroulage.	Si le calendrier est compatible (travaux urgents)
Terrains agricoles	Cibler les zones géographiques potentiellement impactées	Labour	
Activités sur des ROC : maçons, marbriers de décoration, marbriers funéraires,	Cibler les ROC extraites des carrières exploitant des matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt.	Extraction et préfabrication des blocs (sciage au câble diamanté, coupe à la haveuse, exploitation à l'explosif). Transformation industrielle des blocs : sciage primaire, secondaire et finition.	

Sites	Critères	Activité / processus à investiguer	Commentaires
tailleurs de pierre, graveurs, entreprises du patrimoine.		Taille de la pierre et autres finitions, en chantier et en atelier. Les métiers associés à ces usages sont : les maçons, les marbriers de décoration, les marbriers funéraires, les tailleurs de pierre, les graveurs, les entreprises du patrimoine.	
Site géographique pour population générale	Population riveraine des sites précités Sentiers de randonnées	Mesures d'ambiance Mesures individuelles (marche, VTT, etc.)	

1

8.4 Déroulement des mesures

En fonction des activités suivies et opérations réalisées, des prélèvements individuels et à points fixes doivent être effectués selon les préconisations du protocole de mesures des PMAi dans l'air élaboré dans le cadre de cette expertise (Cf. chapitre 6). Ce protocole précise les éléments à prendre en compte pour l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage, le prélèvement, la préparation des échantillons, l'analyse et le rendu des résultats.

Le matériau brut doit systématiquement être caractérisé en amont des prélèvements d'air en suivant les préconisations du protocole d'analyse des espèces minérales dans les matériaux susceptibles de libérer des PMAi élaboré dans le cadre de cette expertise (Cf. chapitre 5).

Tout écart à la stratégie initialement élaborée doit être mentionné.

8.5 Mesures de protection à mettre en œuvre

A des fins de prévention des risques professionnels et conformément aux recommandations émises par l'Anses dans son rapport relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015), les interventions menées dans le cadre de cette campagne de mesure exploratoire doivent être réalisées en appliquant, à visée conservatoire, les préconisations de la réglementation amiante (mesures de protection collective, équipements de protection individuelle, formation des opérateurs, gestion des déchets, etc.). Par analogie, ces interventions relèvent de la sous-section 4.

9 Conclusions du groupe de travail

Cette saisine fait suite aux conclusions des précédents travaux de l'Anses sur les « effets sanitaires et l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrières » (Anses, 2015). En l'état actuel des connaissances sur les effets sanitaires et en raison des incertitudes et des difficultés liées à leur caractérisation et à leur différenciation par les méthodes d'analyse de routine, l'expertise recommandait de ne pas distinguer les 5 amphiboles asbestiformes réglementaires des fragments de clivage de leurs homologues non asbestiformes répondant aux critères dimensionnels des fibres « OMS » ($L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$).

Au vu de ces conclusions, l'Anses a notamment recommandé que le terme de « **particules minérales allongées** » (PMA) soit employé pour décrire les particules minérales ayant un rapport d'allongement supérieur à 3, sans tenir compte de leur caractère asbestiforme ou non asbestiforme. Cette première expertise a également mis en évidence des effets sanitaires similaires à ceux de l'amiante démontrés pour d'autres amphiboles calciques et calco-sodiques, présentes sous forme de mélange de particules asbestiformes et non asbestiformes : la fluoro-édénite, classée agent cancérigène pour l'Homme par le CIRC en 2014 (groupe I) ainsi que la winchite et la richtérite, constituants majoritaires des amphiboles de Libby, classées cancérigènes pour l'Homme par l'US EPA en 2014. Le terme « particules minérales allongées d'intérêt » (PMAi) s'applique donc aux espèces minérales d'intérêt suivantes :

- **Actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite pour les amphiboles ;**
- **Chrysotile/antigorite pour les serpentines ;**
- **Erionite pour les zéolites.**

1/ Présence des espèces minérales d'intérêt dans l'environnement naturel et secteurs d'activité potentiellement concernés par la problématique des PMAi :

Dans l'environnement naturel, de nombreuses roches magmatiques et métamorphiques sont susceptibles de contenir dans leur minéralogie l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées. En France, les principaux domaines géologiques dans lesquels des roches contenant l'une ou l'autre des espèces minérales ciblées sont connus ; ils correspondent à la chaîne des Alpes Occidentales et à son prolongement en Corse, aux massifs cristallins externes des Alpes, au Massif Central, aux Vosges, au Massif Armoricaire et à la chaîne des Pyrénées.

Parmi les espèces minérales ciblées dans la saisine, l'**actinolite** et la trémolite sont les plus fréquemment identifiées en France. Les occurrences de chrysotile et d'antigorite sont fréquentes dans certaines lithologies (serpentinites, et péridotites serpentinisées) mais à l'exception de quelques massifs alpins localisés notamment en Haute-Corse et dans les Alpes occidentales, ces roches ne forment pas de massifs étendus. Des occurrences d'anthophyllite, de grunérite, de riébeckite et winchite sont connues mais ces occurrences sont associées à des roches très nettement subordonnées en termes de surfaces impactées. Concernant la fluoro-édénite, la richtérite et l'ériionite, leur présence est parfois mentionnée dans la littérature mais ces données sont extrêmement rares et sans doute non exhaustives. Dans la très grande majorité des cas, les amphiboles observées au niveau de ces occurrences se présentent sous forme non asbestiforme.

L'étude de filière a mis en évidence que de nombreux secteurs peuvent être concernés par la présence d'espèces minérales d'intérêt dans des environnements naturels ou des matériaux manufacturés à partir de matériaux naturels. Leur présence peut conduire par la suite à l'émission de PMAi lors d'intervention sur ces matériaux.

1.1 L'extraction de matériaux de carrières est le premier secteur d'activité pouvant être concerné par la problématique des PMAi. Les carrières potentiellement concernées sont listées ci-dessous par ordre décroissant en termes de probabilité d'occurrence des espèces minérales dans les matériaux exploités :

- Les carrières localisées dans des environnements géologiques propices à la formation de ces espèces minérales sont concernées. Une liste des roches exploitées dans les carrières de granulats et de Roches Ornementales et de Construction (ROC) susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt et donc de libérer des PMAi lorsqu'elles sont sollicitées sont proposées dans les annexes 1 et 2.

La présence d'espèces minérales d'intérêts dans ces carrières peut être plus ou moins fréquente, en fonction du type de matériau exploité. Une même carrière peut exploiter des matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt et d'autres non. La présence d'espèces minérales d'intérêt peut donc varier dans le temps, en fonction de la nature même des matériaux exploités.

En termes de nombre de sites, de travailleurs et de volumes de matériaux extraits, les carrières de granulats sont potentiellement plus concernées par la problématique des PMAi que les carrières de ROC.

- Les carrières de roches alluvionnaires localisées en aval de ces zones géologiques peuvent également être concernées, de même que certaines carrières de roches meubles non alluvionnaires.
- Les carrières exploitant exclusivement d'autres types de roches que celles listées dans les annexes 1 et 2 ne sont a priori pas concernées par la problématique des PMAi. Toutefois, certaines carrières exploitant exclusivement des matériaux non susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt peuvent également être concernées dans le cas très précis où des filons de roches contenant des espèces minérales d'intérêt recoupent les matériaux qui font l'objet de l'exploitation (filons de dolérite).
- Les carrières de minéraux industriels ne sont a priori pas concernées par la problématique des PMAi.
- Les carrières de granulats marins ne sont pas concernées par la problématique des PMAi.

1.2 Les secteurs d'activité, tels que l'exploitation de mines, les travaux publics et les principaux ouvrages souterrains, intervenant en environnement naturel dans ces zones géologiques peuvent également être concernés par la problématique des PMAi. Aucune étude en France en lien avec les PMAi concernant ces secteurs d'activité n'a été rendue publique à ce jour. D'autres secteurs peuvent être concernés, comme celui de l'agriculture par exemple, mais il n'existe actuellement pas d'études géologiques pour ces secteurs.

1.3 En ce qui concerne la filière en aval, tous les secteurs utilisateurs de matériaux naturels (granulats, ROC) issus de ces carrières et tous les secteurs intervenant sur les matériaux manufacturés à partir de ces matériaux naturels sont potentiellement concernés par la problématique des PMAi : bâtiment, travaux publics. Les **granulats** sont utilisés pour les **travaux routiers et ferroviaires**³⁹, les **travaux de Voirie et Réseaux Divers (VRD)**, **l'endiguement et autres usages pour infrastructures** (58 %), pour la **fabrication de bétons** (~32 %, principalement le Béton Prêt à l'Emploi) et, dans une moindre mesure, pour les enrobés routiers (9 %) et les ballasts (1 %). Ainsi, les ouvrages particulièrement concernés sont les bâtiments et les ouvrages de génie civil en béton et les routes. En théorie, une traçabilité des granulats extraits des carrières est possible à partir des bons de livraison et du marquage CE. Dans la pratique, cette traçabilité est très difficile à établir du fait des mélanges de granulats, du mélange de bétons au niveau des chantiers et de **la part croissante de l'utilisation de matériaux de construction recyclés**, notamment pour les travaux de voiries. Néanmoins, les ouvrages construits dans les zones géographiques situées dans un périmètre restreint autour des carrières exploitant les roches précitées sont plus concernés par la problématique des PMAi du fait du transport sur de faibles distances de ces matériaux (30-50 km). Il sera d'autant plus aisé d'assurer une traçabilité des granulats dans les régions pour lesquelles la production de granulats suffit aux besoins (e.g.

³⁹ Hors enrobés routiers et ballasts : sous-couches de plateformes de structures routières et ferroviaires.

Bretagne) et pour les carrières disposant de leur propre centrale à béton. En revanche, pour certaines agglomérations telles que Paris, ne disposant pas de carrières de granulats couvrant la demande, cet exercice est plus difficile à réaliser.

En ce qui concerne les ROC, les secteurs principalement concernés sont le bâtiment, le funéraire et la voirie. La traçabilité des ROC est plus aisée que celle des granulats du fait du « faible » nombre de carrières en France, de la spécificité des matériaux extraits et du faible taux de recyclage de ces matériaux patrimoniaux et durables.

L'étude de filières a également mis en évidence la présence d'espèces minérales d'intérêt dans de nombreux pays, dont des pays frontaliers de la France, ce qui soulève la question du contrôle et de la traçabilité des **matériaux importés** (granulats, ROC, minéraux industriels) depuis les carrières de ces pays. Ceci est d'autant plus important pour les ROC compte tenu de la part croissante du volume de matériaux importés d'Europe et surtout d'Asie.

2/ Données d'exposition aux PMAi⁴⁰ :

Aucune donnée pertinente concernant l'exposition aux PMAi, la présence d'espèces minérales d'intérêt dans les matériaux et l'émissivité potentielle en PMAi depuis ces matériaux n'a été recensée dans la littérature depuis la parution du rapport d'expertise relatif aux fragments de clivage (Anses, 2015).

Les mesures réalisées en carrières, dans les bâtiments, lors d'opérations courantes dans le BTP ou sur les chantiers routiers ont été conduites dans le cadre de la réglementation amiante et, par conséquent, les PMAi hors amiante réglementaire n'ont pas été prises en compte dans ces campagnes. Par ailleurs, des résultats d'études spécifiques/ponctuelles conduites dans les carrières et les chantiers routiers indiquent une exposition potentielle à l'actinolite-amiante des travailleurs et potentiellement des populations riveraines de ces carrières. Aucune donnée n'est actuellement disponible concernant l'exposition aux PMAi hors amiante réglementaire dans le secteur du bâtiment.

Les rares données disponibles ne sont pas représentatives de l'exposition potentielle aux PMAi et ne permettent pas leur exploitation statistique. De plus, le GT rappelle que les relations entre la présence d'espèces minérales d'intérêt dans un matériau et la libération de PMAi dans l'air (c'est-à-dire son émissivité) ne sont pas simples à établir. Ainsi, en l'état actuel des connaissances, une hiérarchisation des secteurs potentiellement impactés par la problématique des PMAi n'est pas envisageable. Deux aspects sont à prendre en considération pour établir une telle hiérarchie :

- Les sources : une identification des sites d'extraction de matériaux susceptibles de libérer des PMAi et la caractérisation des matériaux extraits permettront de tracer les secteurs d'activités en aval et les zones géographiques potentiellement impactés.
- Les actions réalisées sur les matériaux susceptibles de libérer des PMAi : l'émissivité en PMAi dépend du couple matériau/technique mis en œuvre. Une caractérisation de l'émissivité des différents couples est nécessaire pour évaluer les mesures organisationnelles et de prévention à mettre en place.

Par défaut, il est néanmoins envisageable de s'appuyer sur les connaissances relatives à la mise en œuvre des couples matériau/technique les plus émissifs en poussières afin de hiérarchiser les couples à investiguer en priorité.

3/ Analyse des espèces minérales d'intérêt dans les matériaux et des PMAi dans l'air :

L'expertise souligne enfin le faible recul sur le plan métrologique se traduisant à l'heure actuelle par une hétérogénéité des protocoles d'échantillonnage, de préparation et d'analyse des échantillons observés dans les différentes études conduites et fait le constat de nombreuses

⁴⁰ Dans l'air, les PMAi considérées sont celles de dimensions $L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L/D > 3$.

informations manquantes (informations météorologiques, analyse des matériaux,...) ou inadaptées (sensibilités analytiques,...) dans les rapports d'essai) pouvant conduire à des pratiques et à une interprétation des résultats variables d'un laboratoire à l'autre. Des protocoles de mesures ont ainsi été élaborés dans le cadre de cette expertise afin de pouvoir acquérir des données sur la présence des espèces minérales d'intérêts dans les matériaux et leur émissivité en PMAi. Deux cahiers des charges visant à réaliser une étude d'émissivité des matériaux de construction en laboratoire et une campagne de mesures exploratoire sur le terrain ont également été élaborés.

10 Recommandations

Compte tenu des conclusions et de l'absence de données d'exposition aux PMAi validées, le GT recommande que :

- Soient conduites des études exploratoires permettant d'acquérir des données sur :
 - La caractérisation et l'émissivité des matériaux contenant des espèces minérales d'intérêt ;
 - Les niveaux de concentrations en PMAi émis lors de différentes activités.

La conduite de ces études pourra s'appuyer sur les cahiers des charges⁴¹ établis par l'Anses et devra faire appel à des acteurs compétents et expérimentés dans chacun des domaines d'expertise concernés. Le GT recommande que des mesures de concentrations en silice cristalline alvéolaire soient réalisées conjointement dans le cadre de ces études exploratoires.

Conformément à la demande de la saisine, le cahier des charges élaboré en vue d'évaluer les émissions en PMAi concerne les matériaux de construction. Toutefois, le GT recommande que des études d'émissivité soient conduites sur d'autres matériaux (e.g. ROC, carottes d'enrobés routiers, etc.).

Sur le plan analytique, le GT recommande que :

- Les protocoles sur le prélèvement et l'analyse des espèces minérales d'intérêt dans les matériaux et dans l'air établis par l'Anses soient appliqués pour ces études exploratoires. Le GT insiste sur la nécessité de réaliser une étude de faisabilité préalable aux études exploratoires permettant de tester et ajuster ces protocoles.

Il convient par ailleurs de rappeler que ces protocoles ont été élaborés dans le but de conduire les études exploratoires, et que, dans l'attente de protocoles validés, le GT recommande aux laboratoires souhaitant conduire des études sur les PMAi de s'appuyer sur ces protocoles.

Le GT rappelle que l'étude en cours sur l'« analyse des émissions en PMAi et en silice cristalline générées lors de tests d'usure soumis à des matériaux naturels en laboratoire » (Anses, BRGM, INRS, SPSE/LAFP) apportera des éléments techniques complémentaires sur l'analyse des espèces minérales dans les matériaux et l'air, ainsi que des informations descriptives des PMAi notamment en termes de granulométrie, de composition chimique, de niveau d'émission, etc.

- Les méthodes de préparation et d'analyse des échantillons de matériaux naturels (prise d'essai, traitement de l'échantillon, nombre d'essais pour conclure), soient normalisées.

Au-delà de la réalisation de ces études exploratoires, le GT recommande que :

- Soient poursuivies par le BRGM les études sur les carrières de roches alluvionnaires ;
- Soit investiguée la présence d'espèces minérales d'intérêt, *y compris* les espèces d'amiante réglementaire, dans les matériaux importés (naturels ou manufacturés à partir de matériaux naturels) ;

⁴¹ « Cahier des charges techniques pour la réalisation d'une étude en laboratoire afin d'évaluer les émissions en PMAi générées lors de sollicitations mécaniques de matériaux de construction » et « Cahier des charges techniques pour la conduite d'une campagne exploratoire de mesures de terrain »

- Soient pris en compte les résultats des études exploratoires sur l'émissivité des PMAi des matériaux pour faire évoluer, le cas échéant, la réglementation sur les matériaux importés (naturels ou manufacturés à partir de matériaux naturels) ;
- Soient investigués les matériaux susceptibles de contenir des espèces minérales d'intérêt, y compris les espèces d'amiante réglementaire, et destinés à être recyclés avant leur réutilisation.

Indépendamment des études, les recommandations établies en termes d'évaluation et de prévention des risques professionnels dans la saisine « fragments de clivage » s'appliquent en l'état pour les PMAi de la présente expertise et pour l'ensemble des secteurs d'activités concernés, y compris à l'occasion des études exploratoires.

Par ailleurs, le GT rappelle que les professionnels de ces secteurs d'activité, outre l'exposition aux PMAi, peuvent être exposés à d'autres facteurs de risque particulière et/ou chimique cancérogènes avérés et notamment la silice cristalline. Le GT souligne que la mise en œuvre de dispositifs de prévention de l'exposition à la silice cristalline permet également de limiter l'exposition aux PMAi. Les recommandations qui seront établies dans le cadre des travaux d'expertise en cours à l'Anses sur la silice cristalline devront, le cas échéant, être également prises en compte.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le CES « évaluation des risques liés aux milieux aériens » : 6 avril 2017.

11 Bibliographie

11.1 Publications

Afsset. (2009). Rapport d'expertise collective relatif aux fibres courtes et aux fibres fines d'amiante. Prise en compte du critère dimensionnel pour la caractérisation des risques sanitaires liés à l'inhalation d'amiante. Réévaluation des données toxicologiques, métrologiques et épidémiologiques dans l'optique d'une évaluation des risques sanitaires en population générale et professionnelle. (Saisine 2005-001). Maisons-Alfort, Anses, 394p.

Anses. (2013). Rapport d'expertise collective relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle de produits bitumineux et de leurs additifs. (Saisine 2008-SA-0410). Maisons-Alfort, Anses, 312 p.

Anses. (2014). Rapport d'expertise collective relatif à l'évaluation de la toxicité de l'antigorite. (Saisine 2012-SA-0199). Maisons-Alfort, Anses, 116 p.

Anses. (2015). Rapport d'expertise collective relatif aux effets sanitaires et à l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière. (Saisine 2014-SA-0196). Maisons-Alfort, Anses, 218 p.

Bateson TF, Kopylev L. (2015). Influence of exposure assessment and parameterization on exposure response. Aspects of epidemiologic cohort analysis using the Libby Amphibole asbestos worker cohort. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. Vol. 25(1) : 12-17.

BRGM. (2014). Mémento sur l'industrie française des roches ornementales et de construction. Rapport final. BRGM/RP-62417-FR. 90 p.

BRGM. (2017). Recueil de données chiffrées sur les gisements de déchets d'amiante au regard des filières de traitement disponibles. Rapport de synthèse. BRGM/RP-66047-FR. 119 p.

Cofrac Lab Ref 26, révision 00 du 31/01/2013 - Exigences spécifiques pour l'accréditation des organismes procédant aux mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante dans les immeubles bâtis (<https://www.cofrac.fr/documentation/LAB-REF-26>, accédé le 28/03/2017)

COFRAC programme n°144/02 janvier 1999 - Essais concernant la recherche d'amiante dans les matériaux et dans l'air (<https://www.cofrac.fr/documentation/PRG-144>, accédé le 28/03/2017)

Campbell WJ, Blake RL, Brown LL, Cather EE, Sjöberg JJ (1977) Selected Silicate Minerals and Their Asbestiform Varieties: Mineralogical Definitions and Identification- Characterization, US Department of the Interior, Bureau of Mines Information Circular IC 8751, Washington, DC 80 p.

Deer WA, Howie RA, Zussman J. (1997). Double chain silicates (Rock forming minerals), Vol. 2B. Geological Society of London, 2nd Edition, 784 p.

Deer WA, Howie RA, Wise WS, Zussman J. (2006). Rock forming minerals, Vol. 4B: Framework silicates – Silica Minerals, Feldspathoids and Zeolites. Geological Society of London, 2nd Edition, 982 p.

Deer WA, Howie RA, Zussman J. (2009). Rock forming minerals, Vol. 3B : Layered silicates excluding micas and clay minerals. Geological Society of London, 2nd Edition, 320 p.

Germine M, Puffer JH. (1989). Origin and development of flexibility in asbestiform fibers. Mineralogical Magazine, vol. 53 : p. 327-335.

Harper M, Butler C, Berry D, Wroble J. (2015). Where Occupation and Environment Overlap: US Forest Service Worker Exposure to Libby Amphibole Fibers. J. Occup. Environ. Hyg. Vol. 12(5) : p. 47-53.

Hawthorne FC, Oberti R, Harlow GE, Maresch WV, Martin RF, Schumacher JC, Welch MD (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. Am. Mineral, vol. 97 : p. 2031-2048.

- Infociment. (2016). Compositions, types et propriétés des bétons. En ligne au <http://www.infociments.fr/betons/types>. Consulté en septembre 2016.
- IARC (International Agency for Research on Cancer) (2014) Carcinogenicity of fluoro-edenite, silicon carbide fibres and whiskers, and carbon nanotubes. *The Lancet* 15, 1427 – 1428
- INRS (2013) Guide de prévention INRS ED6142 « Travaux en terrain amiantifère – opérations de génie civil de bâtiment et de travaux publics ». Paris, France, 121 p.
- INRS. (2016) Extraction base de données SCOLA 2016/001 (Confidentiel).
- INRS (2017) ED6263 : Poussières guide de bonnes pratiques en démolition. 72 p.
- Inserm. (1999). Effets sur la santé des fibres de substitution à l'amiante (expertise collective). Rapport établi à la demande de la Direction Générale de la Santé et de la Direction des Relations du Travail (Ministère de l'Emploi et de la solidarité). Paris, France, 429 p.
- Lahondère D, Zammit C (2013) Exposition aux fibres asbestiformes dans l'industrie extractive : Identification des sites potentiellement concernés. Rapport BRGM/RP-61977-FR, 172 p.
- Locati F, Lescano L, Murra J, Marfil S, Maiza P, Baldo E. (2015). Asbestiform Amphiboles in a Marble Quarry: A Case Study from the Province of Córdoba (Argentina). *Engineering Geology for society and Territory*, vol. 5 : p. 1281-1284.
- Locock AJ. (2014). An excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Journal Computers and Geosciences*, vol. 62 : p. 1-11.
- Moitra S, Puri R, Paul D, Huang Y-C T. (2015). Global perspectives of emerging occupational and environmental lung diseases. *Curr. Opin. Pulm. Med*, Vol. 21(2) : p.114-120.
- MSHA. (2005). Asbestos exposure limit; proposed rule. *Fed Reg.* July 29:43950–43989 Date accessed: June 30, 2008.
- NIOSH. (2011). Asbestos fibers and other elongate mineral particles: state of the science and roadmap for research. *Current intelligence bulletin* 62. 174 p.
- OMS. (1998). Détermination de la concentration des fibres en suspension dans l'air. Méthode recommandée : la microscopie optique en contraste de phase (comptage sur membrane filtrante). Genève, Suisse, 64 p.
- Ryan PH, LeMasters GK, Burkle J, Lockey JE, Black B, Rice C. (2015). Childhood exposure to Libby amphibole during outdoor activities. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* Vol. 25(1) : p. 4-11.
- Siegrist HG, Wylie AG (1980) Characterizing and discriminating the shape of asbestos particles. *Environ. Res.* 23, 348-361
- Strohmeier BR, Huntington JC, Bunker KL, Sanchez MS, Allison K, Lee RJ (2010) What is asbestos and why is it important? Challenges of defining and characterizing asbestos. *International Geology Review* 52, 801-872
- Unicem. (2014). L'industrie française des roches ornementales et de construction en 2014. 2p. Consultable en ligne : <http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/chiffres-2014-roches-ornementales-snroc.pdf>
- US EPA (2014) Toxicological review of Libby amphibole asbestos. In support of summary Information on the Integrated Risk Information (IRIS). 685 pp. En ligne : http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/1026tr.pdf
- Usirf. (2015). L'état de la route 2016. 22 p. Consultable en ligne : http://www.usirf.com/wp-content/uploads/USIRF_EDLR2016_BD.pdf
- USIRF, DGT, CNAMTS, FNTP, INRS, OPPBTP, GNMSTBTP (2013) Guide : Investigations préalables aux travaux de raboutage, démolition, recyclage et réutilisation d'enrobés bitumineux pour déterminer l'absence ou la présence d'amiante ou de HAP en forte teneur. Guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux. 11 p.

Van Orden DR, Lee RJ, Hefferan CM, Schlaegle S, Sanchez M. (2016). Determination of the size distribution of amphibole asbestos and amphibole non-asbestos mineral particles. The microscope, vol. 64(1) : p. 13-25.

11.2 Normes et méthodes d'analyse

AS (Australian Standard) 4964-2004 (mars 2004) Method for the qualitative identification of asbestos in bulk samples.

NF GA X 46-033 (août 2012) Guide d'application de la norme NF EN ISO 16000-7 - Stratégie d'échantillonnage pour la détermination des concentrations en fibres d'amiante en suspension dans l'air.

NF EN 13108-8 (mars 2006) Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 8 : agrégats d'enrobés.

NF EN 206/CN (décembre 2014) Béton – Spécification, performance, production et conformité – Complément national à la norme NF EN 206.

NF EN 197-1 (avril 2012) Ciment – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.

NF EN 932-1 (décembre 1996) Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 1 : méthodes d'échantillonnage.

NF EN 932-2 (août 1999) Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 2 : méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire.

NF EN 934-2 : Adjuvants pour bétons, mortier et coulis – Partie 2 : adjuvants pour béton – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage.

NF EN 1008 (juillet 2003) Eau de gâchage pour bétons – Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton.

NF EN 12620 (juin 2011) Granulats pour béton.

NF EN 12670 (avril 2003) Pierre naturelle – Terminologie.

NF EN 12878 (septembre 2005) Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux – Spécifications et méthodes d'essai.

NF EN 13043 (août 2003) Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation.

NF EN 13055-1 (décembre 2002) Granulats légers – Partie 1 : granulats légers pour bétons et mortiers.

NF EN 13108-8 (mars 2006) Mélanges bitumineux - Spécifications des matériaux - Partie 8 : agrégats d'enrobés

NF EN 14889-1 (novembre 2006) Fibres pour béton – Partie 1 : fibres d'acier – Définitions, spécifications et conformité.

NF EN 14889-2 (novembre 2006) Fibres pour béton – Partie 2 : fibres de polymère – Définition, spécifications et conformité.

NF ISO 22262-1 (août 2012) Qualité de l'air – matériaux solides – partie 1 : échantillonnage et dosage qualitative de l'amiante dans les matériaux solides d'origine commerciale.

NF ISO 22262-2 (octobre 2014) Qualité de l'air - Matériaux solides - Partie 2 : dosage quantitatif de l'amiante en utilisant les méthodes gravimétrique et microscopique.

NF P 98-149 (juin 2000) Enrobés hydrocarbonés – Terminologie – Composants et composition des mélanges – Mise en œuvre – produits – techniques et procédés.

NF P18-545 (septembre 2011) Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.

NF P 15-317 (septembre 2006) Liants hydrauliques – Ciments pour travaux à la mer.

NF P 18-508 (janvier 2012) Additions pour béton hydraulique – Additions calcaires – Spécifications et critères de conformité.

NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

NF X 43-014 (novembre 2003) Qualité de l'air - Air ambiant - Détermination des retombées atmosphériques totales - Échantillonnage - Préparation des échantillons avant analyses.

NF X 43-050 (janvier 1996) Qualité de l'air – détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission – Méthode indirecte.

PR NF 46-020 Repérage amiante - Repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante dans les immeubles bâtis - Mission et méthodologie.

XP X 43-269 (avril 2012) Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement sur filtre à membrane pour la détermination de la concentration en nombre de fibres par les techniques de microscopie : MOCP, MEBA et META - Comptage par MOCP.

11.3 Législation et réglementation

Arrêté du 19 août 2011 relatif aux modalités de réalisation des mesures d'empoussièrement dans l'air des immeubles bâtis. JORF n°0202 du 1 septembre 2011

Arrêté du 14 août 2012 relatif aux conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement, aux conditions de contrôle du respect de la valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante et aux conditions d'accréditation des organismes procédant à ces mesurages. JORF n°0195 du 23 août 2012

Directive n°2008/98/CE du 19 novembre 2008 du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives. JOUE n°312 du 19 novembre 2008

Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE
L'EMPLOI, DE LA FORMATION
PROFESSIONNELLE ET DU
DIALOGUE SOCIAL

Direction générale du travail

MINISTÈRE DES AFFAIRES
SOCIALES, DE LA SANTÉ ET
DES DROITS DES FEMMES

Direction générale de la santé

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU
DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

Direction générale de la
prévention des risques

Paris le **11 FEV. 2016**

Le Directeur général du travail

Le Directeur général de la santé

Le Directeur général de la prévention des
risques

à

Monsieur le Directeur général de l'Agence
nationale de sécurité sanitaire de
l'alimentation, de l'environnement et du
travail
27-31 Avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort

Objet : Projet de saisine complémentaire relative aux particules minérales allongées (PMA) naturellement présentes dans les matériaux.

La présence de fibres d'amiante actinolite ainsi que de fragments de clivage issus d'actinolite non asbestiforme dans des granulats a été mise en évidence à l'occasion de mesures d'empoussièrément réalisées sur des chantiers de travaux publics pour rechercher des fibres d'amiante dans le cadre de la réglementation relative à la protection des travailleurs. Par ailleurs, dans le contexte de la révision du droit applicable en matière de protection des travailleurs contre le risque d'exposition à l'amiante dans le secteur des industries extractives, des investigations ont été conduites sur un certain nombre de carrières identifiées comme pouvant contenir de l'amiante. Ces investigations sont en cours.

Cette problématique nouvelle, dans un contexte d'interdiction totale de l'amiante, a justifié la saisine que nous vous avons adressée sur les « Effets sanitaires et l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière ». L'avis rendu par l'Anses, selon lequel les préconisations de la réglementation amiante doivent être appliquées non seulement à l'actinolite, l'anthophyllite, la trémolite, la grunérite et la riébeckite à faciès non asbestiforme, mais également à certaines autres particules minérales allongées (fluoro-édénite, winchite, richtérite, ériónite), conduit les pouvoirs publics à s'interroger sur les autres usages potentiels des granulats contenant ces PMA et sur une éventuelle utilisation dans des ouvrages tels que les bâtiments ou les infrastructures de transport.

La question des expositions pour les travailleurs et la population générale est en conséquence posée, à proximité des carrières d'extraction de ces granulats, dans ou à proximité des lieux où ces granulats seraient retrouvés, et à l'occasion des travaux sur immeubles ou ouvrages publics dans lesquels ils pourraient être contenus.

Ces interrogations sont partagées par le Directeur de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages et le Directeur général des infrastructures, des transports et de la mer, associés à ces réflexions.

Aussi, dans l'objectif d'acquérir des données sur l'exposition réelle des travailleurs et de la population générale aux PMA, nous demandons que l'Anses complète la saisine "fragments de clivage" par :

- 1) La réalisation d'une étude de filières visant à acquérir des données sur les usages des granulats extraits des carrières en France (volume de production, type d'ouvrage auxquels ils sont incorporés, tonnages, distance de commercialisation des granulats par rapport aux carrières, importation/exportation etc.), et les autres secteurs des travaux publics potentiellement concernés par la problématique des PMA en France. Cette étude s'attachera aussi à identifier d'éventuels usages anciens pouvant conduire à l'exposition résiduelle des travailleurs et de la population ;
- 2) Une revue des nouvelles données éventuellement disponibles sur la présence des PMA dans les matériaux, leurs émissions depuis ces matériaux et les expositions en résultant ;

La réalisation de ces travaux portera spécifiquement sur les PMA des espèces suivantes : actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, érionite, chrysotile et antigorite ;

- 3) l'élaboration d'un protocole de mesurage (stratégie d'échantillonnage, prélèvement, préparation et analyse des échantillons) des PMA dans l'air et dans les matériaux, prenant en compte les préconisations métrologiques identifiées dans l'avis de l'agence de décembre 2015 et l'empoussièrement des carrières.

A cet effet, vous pourrez vous appuyer sur le protocole de mesurage du projet CARTO, le guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux, et les normes existantes en la matière.

Un rapport sur cette première phase devra nous être communiqué à l'été 2016.

Parallèlement, nous souhaitons que vous puissiez :

- coordonner la réalisation d'une étude en laboratoire sur l'émission de PMA associées aux interventions (perçement ...) sur les matériaux de construction qui seront identifiés au cours de la première phase de vos travaux. Ces matériaux seront élaborés pour l'étude avec des granulats contenant des PMA et soumis à différentes sollicitations en chambre en vue d'évaluer les empoussièrement générés ;
- réaliser une étude de faisabilité visant à proposer les modalités d'une campagne de mesures centrées sur ces PMA en décrivant les secteurs et les activités professionnelles à investiguer ou les sites géographiques pour la population générale. L'Anses examinera également les possibilités de réanalyse de filtres de prélèvements d'ores et déjà existants permettant de répondre aux questions posées.

Cette étude devra permettre aux pouvoirs publics d'évaluer l'opportunité et d'identifier les modalités d'une campagne nationale de caractérisation des expositions de la population générale et professionnelle à ces PMA.

Afin de répondre à ces questions, vous pourrez appuyer votre expertise, notamment sur les travaux suivants en cours ou à venir :

- les travaux du BRGM d'identification du potentiel amiantifère des carrières ;
- les résultats des mesures d'empoussièrement sur site et dans l'environnement des carrières, requises au titre de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement ou de la réglementation relative au risque d'exposition aux fibres d'amiante du code du travail, de même que sur les résultats de campagnes de mesures

d'empoussièrement à l'occasion de travaux identifiés dans des bâtiments ayant été reconnus comme concernés par le sujet ;

- les résultats du projet de Convention Recherche et Développement en cours à l'Anses et visant à acquérir des données sur l'émissivité des matériaux contenant des PMA pourront être intégrés à l'expertise si les délais sont compatibles.

L'ensemble de ces données devront permettre aux pouvoirs publics d'évaluer le risque réel d'exposition de la population générale et des travailleurs. Nous vous saurions gré de nous faire parvenir le rapport final à la fin de l'année 2016.

Le directeur général du travail

Yves STRUILLLOU

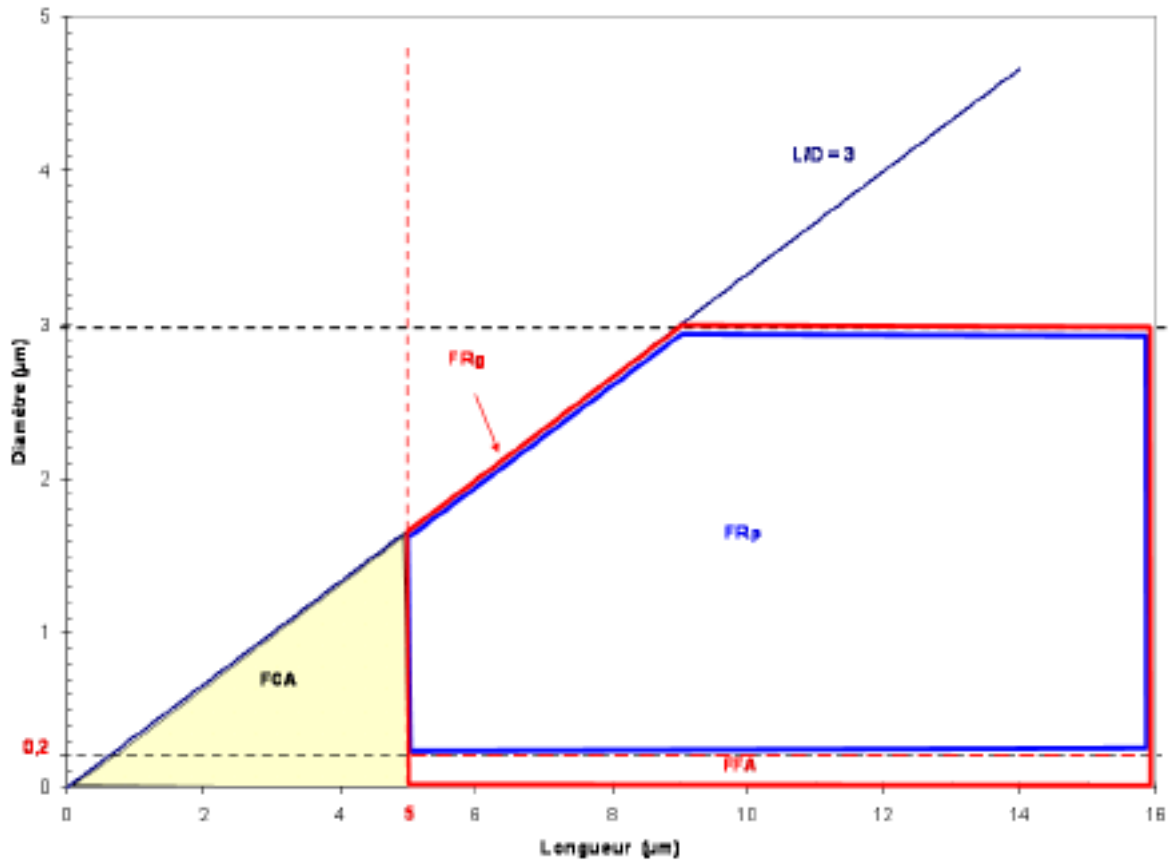
Le directeur général de la santé

Benoît VALLET

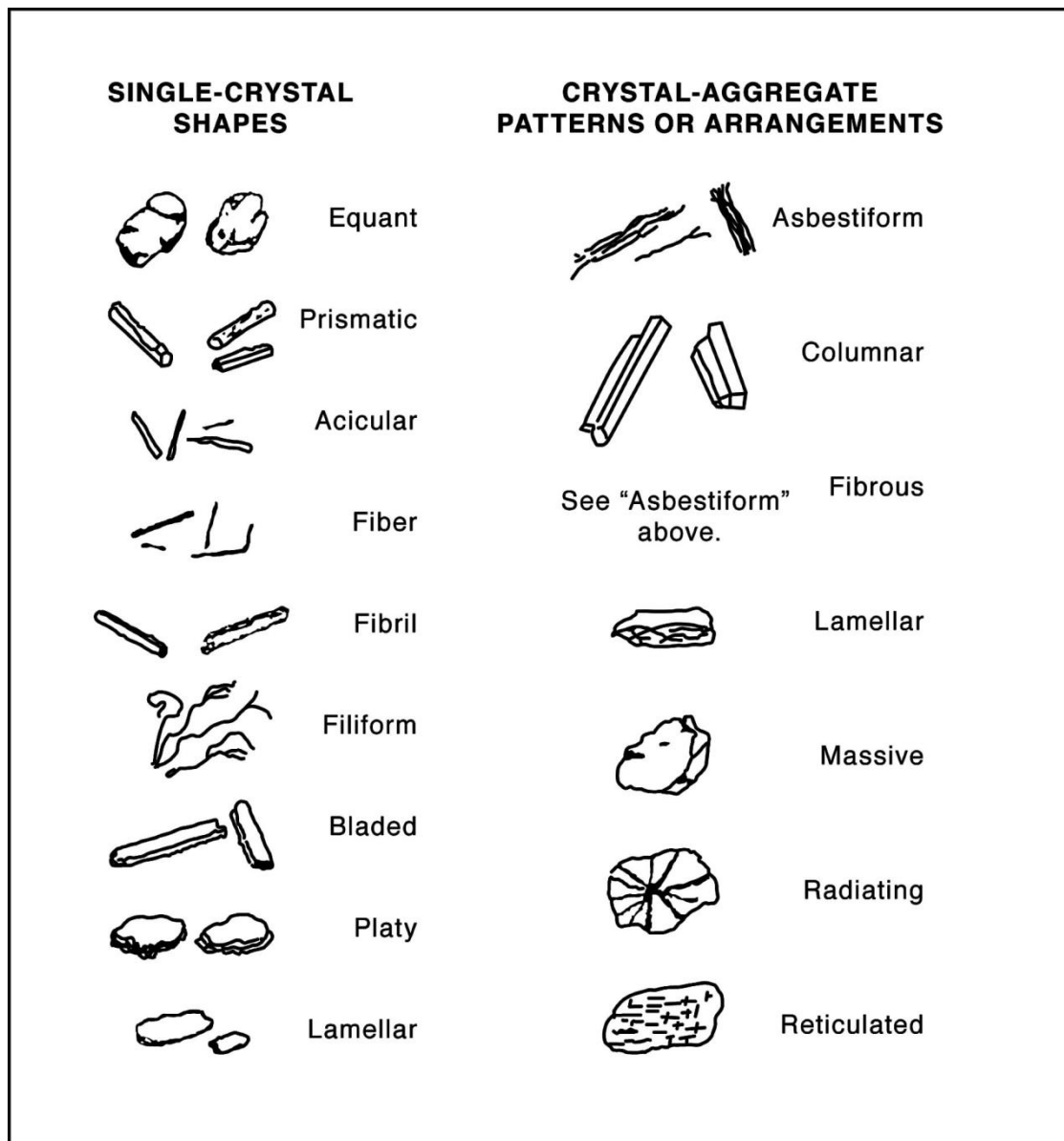
Le directeur général de la
prévention des risques

Marc MORTUREUX

Annexe 3 : Représentation des types de fibres d'amiante selon leurs caractéristiques dimensionnelles (d'après Afsset, 2009a).



Annexe 4 : Représentation des différentes morphologies asbestiformes et non asbestiformes (d'après Campbell *et al.* 1977)



Annexe 5 : Questionnaire thématique pour la conduite des auditions



Liste thématique pour audition

Saisine « Particules minérales allongées »

Objet : Ce document présente les différents points à aborder lors de l'audition

Rappel du contexte de la saisine, des questions posées et de l'organisation de l'expertise :

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a été saisie par la Direction Générale du Travail (DGT), la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) suite à la publication en décembre 2015 du rapport d'expertise Anses sur les fragments de clivage, et aux interrogations des ministères sur les usages possibles des granulats contenant des PMA¹ et l'exposition potentielle des professionnels et de la population générale en résultant.

Dans ce contexte, les questions posées à l'Anses sont les suivantes :

1/ réaliser une étude de filières visant à acquérir des données sur les usages des granulats extraits des carrières en France (volume de production, type d'ouvrages auxquels ils sont incorporés, tonnages, distance de commercialisation des granulats par rapport aux carrières, importation/exportation etc.), et les autres secteurs des travaux publics potentiellement concernés par la problématique des PMA en France. Cette étude s'attachera aussi à identifier d'éventuels usages anciens pouvant conduire à l'exposition résiduelle des travailleurs et de la population ;

2/ Réaliser une revue des nouvelles données éventuellement disponibles sur la présence des PMA dans les matériaux, leurs émissions depuis ces matériaux et les expositions en résultant ;

3/ Proposer les grandes lignes du protocole d'une étude en laboratoire sur l'émission de PMA associées aux interventions (perçement...) sur les matériaux de construction qui seront identifiés au cours de la première phase de l'expertise. Ces matériaux seront élaborés pour l'étude avec des granulats contenant des PMA et soumis à différentes sollicitations en chambre en vue d'évaluer les empoussièrtements générés.

4/ Proposer les grandes lignes d'une campagne de mesure centrées sur ces PMA en décrivant les secteurs et les activités professionnelles à investiguer ou les sites

¹ Particules minérales allongées ayant un rapport d'allongement supérieur à 3, sans prise en compte de leur caractère asbestiforme ou non asbestiforme. Le terme PMA inclut donc les fibres asbestiformes et les particules minérales non asbestiformes, dont les fragments de clivage, répondant à ces critères dimensionnels. Dans le cadre de cette expertise, les PMA d'intérêt sont celles répondant aux dimensions des fibres « OMS » et donc susceptibles d'être inhalées ($D < 3 \mu\text{m}$, $L > 5 \mu\text{m}$).



géographiques pour la population générale. L'Anses examinera également les possibilités de réanalyse de filtres de prélèvements d'ores et déjà existants permettant de répondre aux questions posées.

Les questions 3 et 4 incluent la proposition des grandes lignes d'un protocole de mesurage des PMA dans l'air et les matériaux (stratégie d'échantillonnage, prélèvement, analyse).

La réalisation de ces travaux portera spécifiquement sur les PMA des espèces suivantes : actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, ériónite, chrysotile et antigorite.

Un groupe de travail constitué d'experts en géologie, expologie et métrologie des fibres minérales a été mis en place pour répondre à ces questions.



Questions relatives au secteur des carrières en France :

- Combien existe-il de carrières en France ?
- Quel est le nombre de salariés et quels sont les emplois occupés ?
- Quelle est la répartition géographique des carrières en France ?
- Quelles sont les activités de ces carrières ? Quelle est la répartition de ces différentes activités par rapport au nombre total de carrières en France ?
 - o Production de granulats ?
 - o Production de roches de construction ?
 - o Production de roches ornementales ?
 - o Mixtes ?
 - o Autres ?
- Quelle est l'évolution de ce secteur ?
- Quelle est la nature des roches exploitées dans les carrières :
 - o Pour la production de granulats ?
 - o Pour la production de roches de construction ?
 - o Pour la production de roches ornementales ?

Questions relatives aux usages des granulats :

- Quelles sont les quantités de granulats extraits des carrières en France chaque année ?
- Quels sont les contrôles réalisés sur les granulats avant leur commercialisation ? Comment et par qui sont-ils réalisés ?
- Quel est le circuit de distribution des granulats au niveau du territoire ?
- Quelles sont les filières d'élimination et de recyclage des granulats ?
- Quels sont les volumes de granulats recyclés chaque année ?
- Quels sont les volumes de granulats éliminés chaque année ?
- Quels sont les volumes de granulats importés/exportés chaque année ? Quels sont les lieux d'importation et d'exportation ?
- Quels sont les contrôles réalisés sur les granulats importés ?
- Quels sont les usages (et leur répartition) des granulats en fonction de leur granulométrie ?
- Une traçabilité des granulats est-elle possible ?
 - o Granulats extraits des carrières
 - o Granulats importés
 - o Granulats recyclés
- Quelle est la distance de commercialisation des granulats ?
- Certaines carrières disposent-elles de leur propre centrale à béton ?

Questions relatives aux bétons :

- Combien de salariés sont impliqués dans le secteur des bétons en France et quels sont les emplois occupés ?
- Quelles sont les différentes catégories de bétons et leurs usages associés ? Quelles sont les opérations réalisées sur béton sur chantier ?



- Parmi ces opérations, lesquelles sont susceptibles de générer le plus de PMA ou de poussières, en fonction du type de béton ?
- Quels sont les différents constituants des bétons et leurs proportions relatives ?
- Dispose-t-on d'informations sur l'origine des granulats intégrés aux bétons ?
- Les granulats intégrés aux bétons proviennent-ils d'une même source ou sont-ils mélangés ?
- Quelles sont les exigences des granulats par type de bétons ?
- Quelles sont les filières d'élimination et de recyclage des bétons ?
- Quels sont les volumes de production de béton chaque année ?
- Quels sont les volumes de béton recyclés chaque année ?
- Quels sont les volumes de béton éliminés chaque année ?
- Est-il possible de tracer l'origine des bétons utilisés dans les différents types d'ouvrage ?

Questions relatives aux autres roches de construction (hors granulats) et aux roches ornementales :

- Quels sont les quantités de roches de construction et de roches ornementales extraites des carrières en France chaque année ?
- Quels sont les volumes de roches de construction et de roches ornementales importées/exportées chaque année ?
- Quels contrôles sont réalisés sur les roches de construction/ornementales importées ?
- Quels sont les usages des roches de construction / ornementales ?
- Quelles sont les secteurs professionnels associés ? Combien de salariés sont impliqués dans ces secteurs ?
- Quelles sont les opérations réalisées sur ces roches ? Parmi ces opérations, lesquelles sont susceptibles de générer le plus de PMA/poussières ?
- Filières de recyclage / élimination

Questions relatives aux campagnes de mesures réalisées dans les carrières ou les chantiers BTP :

- La problématique PMA est-elle prise en compte dans ces campagnes de mesures conduites dans les carrières ? sur les chantiers routiers ? les autres chantiers BTP ?
- Quelle stratégie d'échantillonnage a été mise en œuvre pour la conduite de ces études ? Quelles sont les conditions de prélèvement et d'analyse ? Les filtres de prélèvement et/ou les membranes secondaires en polycarbonate ou les grilles de MET ont-ils été conservés ? si oui, dans quelles conditions ?
- Les mesurages ont-ils été réalisés sur salarié et/ou dans l'environnement des chantiers (population riveraine ?)
- Des échantillonnages de matériaux bruts ont-ils été réalisés dans le cadre du projet CARTO ?
- Des mesurages au cours d'opérations sur bétons ont-ils été effectués (matériaux et air) dans le cadre du projet CARTO ? Dans le cadre d'autres campagnes de mesures ?

Questions relatives aux autres secteurs des travaux publics :

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail,
14 rue Pierre et Marie Curie, 94701 Maisons-Alfort Cedex - Téléphone : + 33 (0)1 56 29 13 50 - Télécopie : + 33 (0)1 43 96 26 26 -
www.anses.fr



-
- Quels sont les autres secteurs des travaux publics potentiellement concernés par la problématique des PMA en France ?
 - La réalisation des chantiers inclut-elle la réalisation de plans de repérage d'amiante ? de PMA ?
 - Comment sont éliminés les matériaux extraits (e.g. tunnels) ?
 - Combien de salariés sont concernés par cette problématique ?

Annexe 6 : Activités potentiellement concernées par la problématique des PMAi selon la nomenclature d'activités française (NAF)

Agriculture, sylviculture et pêche	01 Culture et production animale, chasse et services annexes	01.1 Cultures non permanentes
		01.2 Cultures permanentes
		01.6 Activités de soutien à l'agriculture et traitement primaire des récoltes
B Industries extractives	05 Extraction de houille et de lignite	05.1 Extraction de houille
		05.2 Extraction de lignite
	06 Extraction d'hydrocarbures	06.1 Extraction de pétrole brut
		06.2 Extraction de gaz naturel
	07 Extraction de minerais métalliques	07.1 Extraction de minerais de fer
		07.2 Extraction de minerais de métaux non ferreux
	08 Autres industries extractives	08.1 Extraction de pierres, de sables et d'argiles
		08.9 Activités extractives n.c.a.
	09 Service de soutien aux industries extractives	09.1 Activités de soutien à l'extraction d'hydrocarbures
		09.9 Activités de soutien aux autres industries extractives
C. Industries manufacturières	23 Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	23.6 Fabrication d'ouvrages en béton, en ciment ou en plâtre
		23.7 Taille, façonnage et finissage de pierres
		23.9 Fabrication de produits abrasifs et produits minéraux non métalliques
E Production et distribution d'eau, assainissement, gestion des déchets et dépollution	38 Collecte, traitement et élimination des déchets	Cette division comprend les activités de collecte, de traitement et d'élimination des déchets. Elle comprend également le transport local des déchets et l'exploitation d'installations de récupération qui transforment (avec tri) les déchets et débris en matières premières secondaires
	39 Dépollution et autres services de gestion des déchets	
F Construction	41 Construction de bâtiments	41.2 Construction de bâtiments résidentiels et non résidentiels
		42.1 Construction de routes et de voies ferrées
	42 Génie civil	42.2 Construction de réseaux et de lignes
		42.9 Construction d'autres ouvrages de génie civil
	43 Travaux de construction spécialisés	43.1 Démolition et préparation des sites
		43.2 Travaux d'installation électrique, plomberie et autres travaux d'installation
		43.9 Autres travaux de construction spécialisés

H Transports et entreposage	49 Transports terrestres et transport par conduites	49,1 Transport ferroviaire interurbain de voyageurs
		49.2 Transports ferroviaires de fret
		49.3 Autres transports terrestres de voyageurs
		49.4 Transports routiers de fret et services de déménagement

Annexe 7: Compositions des pôles purs pour les différentes amphiboles d'intérêt, avec répartition des différents cations dans les sites A, B, C et T (d'après Hawthorne *et al.* 2012)

A	B ₂	C ₅	T ₈	O ₂₂	W ₂	Nom	A	B ₂	C ₅	T ₈	O ₂₂	W ₂	NOM
AMPHIBOLES FERRO-MAGNESIENNES ORTHORHOMBIQUES													
-	Mg ₂	Mg ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Anthophyllite	-	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Ferro-anthophyllite
AMPHIBOLES FERRO-MAGNESIENNE MONOCLINIQUE													
-	Mg ₂	Mg ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Cummingtonite	-	Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Grunérite (monoclinique)
AMPHIBOLES CALCIQUES													
-	Ca ₂	Mg ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Trémolite	-	Ca ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Ferro-actinolite
Na	Ca ₂	Mg ₅	Si ₇ Al	O ₂₂	(OH) ₂	Edenite	Na	Ca ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₇ Al	O ₂₂	(OH) ₂	Ferro-édénite
AMPHIBOLES CALCO-SODIQUES													
-	Na,Ca	Mg ₄ Al	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Winchite	-	Na,Ca	Fe ²⁺ ₄ Al	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Ferro-winchite
Na	Na,Ca	Mg ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Richtérite	Na	Na,Ca	Fe ²⁺ ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Ferro-richtérite
-	Na,Ca	Mg ₄ Fe ³⁺	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Ferri-winchite	-	Na,Ca	Fe ²⁺ ₄ Fe ³⁺	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Ferro-ferri-winchite
AMPHIBOLES SODIQUES													
-	Na ₂	Mg ₃ Fe ³⁺ ₂	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Magnésio-riébeckite (Ferri-glaucophane)	-	Na ₂	Fe ²⁺ ₃ Fe ³⁺ ₂	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂	Riébeckite (Ferro-ferri-glaucophane)

Dans la nomenclature de Hawthorne *et al.* (2012) :

- les amphiboles calciques sont définies par : $B(\text{Ca} + \sum \text{M}^{2+})/\Sigma \text{B} \geq 0,75$; $\text{BCa}/\Sigma \text{B} \geq \text{B}\sum \text{M}^{2+}/\Sigma \text{B}$,
- les amphiboles calco-sodiques par : $0,75 > B(\text{Ca} + \sum \text{M}^{2+})/\Sigma \text{B} > 0,25$; $\text{BCa}/\Sigma \text{B} \geq \text{B}\sum \text{M}^{2+}/\Sigma \text{B}$; $0,75 > B(\text{Na} + \text{Li})/\Sigma \text{B} > 0,25$; $\text{BNa}/\Sigma \text{B} \geq \text{BLi}/\Sigma \text{B}$,
- les amphibole sodiques par : $B(\text{Na} + \text{Li})/\Sigma \text{B} \geq 0,75$; $\text{BNa}/\Sigma \text{B} \geq \text{BLi}/\Sigma \text{B}$,
- les amphiboles ferromagnésiennes orthorhombiques par : $B(\text{Ca} + \sum \text{M}^{2+})/\Sigma \text{B} \geq 0,75$; $\text{B}\sum \text{M}^{2+}/\Sigma \text{B} > \text{BCa}/\Sigma \text{B}$.

Annexe 8 : Intervalles de composition en poids d'oxydes pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles d'après des analyses réalisées par le BRGM.

	N*	SiO ₂		TiO ₂		Al ₂ O ₃		Cr ₂ O ₃		MnO		FeO/Fe ₂ O ₃		MgO		CaO		Na ₂ O		K ₂ O	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Anthophyllite/Cummingtonite	10	51,09	57,05	0	0,51	0,96	4,61	0	0	0,18	0,52	14,1	22,89	19,04	27,87	0,7	3,45	0,27	0,77	0	0
Ferro-anthophyllite/Grunérite	6	47,47	50,25	0	0,62	0,19	2,68	0	0	1,43	1,78	34,09	37,42	5,82	7,54	0,97	4,73	0,03	0,48	0	0,12
Trémolite	13	53,8	57,72	0	0,07	0,72	1,77	0	0,48	0,04	0,32	4,8	5,83	22,08	24,94	12,16	12,83	0,37	0,76	0	0,13
Actinolite	94	49,52	57,58	0	0,93	0,43	5,38	0	0,26	0	0,75	5,38	20,55	11,38	22,02	7,24	13,87	0,06	1,67	0	0,67
Ferro-actinolite	3	50,15	51,34	0,07	0,13	0,74	1,34	0	0	0,86	0,93	24,93	27,65	7,45	8,29	9,68	11,01	0,26	0,31	0,08	0,22
Ferro-hornblende	4	44,81	46,77	0,98	1,59	9,22	10,3	0	0,04	0,45	0,67	16,3	22,78	5,33	8,47	11,18	12,03	0,84	1,08	0,97	1,12
Ferro-ferri-hornblende	11	42,28	48,8	0,17	1,74	3,38	9,78	0	0,03	0,34	0,94	20,97	27,88	5,4	9,31	9,7	11,55	0,6	1,66	0,12	1,14
Magnésio-ferri-hornblende	164	41,04	54,05	0	2,56	2	12,87	0	0,63	0,03	1,06	9,12	21,44	9,01	19,37	6,73	12,67	0,11	2,04	0	1,06
Ferri-tschermakite	4	41,75	43,54	1,09	2,75	10,13	13,57	0	0,03	0,17	0,33	11,99	15,57	12,23	15,31	10,65	11,5	1,28	1,81	0,07	0,48
Winchite	2	56,03	56,23	0	0,04	5,56	7,05	0	0,03	0,05	0,14	13,11	16,67	11,06	13,12	3,77	4,83	4,68	4,9	0	0,03
Ferro-ferri-winchite	5	47,93	51,77	0,06	1,05	0,45	3,07	0	0,02	0,22	1,1	23,95	37,59	0,32	9,23	1,92	6,9	2,88	5,52	0,02	0,7
Riébeckite	17	49,17	55,99	0	1,86	0,39	5,92	0	0,02	0,14	0,7	24,34	36,7	0,02	6,5	0,29	2,31	5,14	6,92	0,01	1,12
Magnésio-riébeckite	19	53,47	56,88	0	0,32	1,23	4,72	0	0,04	0,13	0,59	20,77	23,83	8,02	11,42	0,18	1,05	6,42	7,57	0	0,28

*Nombre de mesures considérées.

Les compositions cardinales des champs compositionnels sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	A	B	C	T	O	W
Anthophyllite		Mg ₂	Mg ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Mg ₂	Mg ₅	Si ₇ Al	O ₂₂	(OH) ₂
		Mg _{>2,5} Fe ²⁺ _{<2,5}		Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Mg _{>2,5} Fe ²⁺ _{<2,5}		Si ₇ Al	O ₂₂	(OH) ₂
Grunérite		Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Fe ²⁺ ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₇ Al	O ₂₂	(OH) ₂
		Mg _{<2,5} Fe ²⁺ _{>2,5}		Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Mg _{<2,5} Fe ²⁺ _{>2,5}		Si ₇ Al	O ₂₂	(OH) ₂

	A	B	C	T	O	W
Trémolite		Ca ₂	Mg ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg ₅	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{>4,5} Fe ²⁺ _{<0,5}	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{>4,5} Fe ²⁺ _{<0,5}	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
Ferro-Actinolite		Ca ₂	Fe ²⁺ ₅	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Fe ²⁺ ₅	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{<2,5} Fe ²⁺ _{>2,5}	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{<2,5} Fe ²⁺ _{>2,5}	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
Actinolite		Ca ₂	Mg _{<4,5} Fe ²⁺ _{>0,5}	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{<4,5} Fe ²⁺ _{>0,5}	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{>2,5} Fe ²⁺ _{<2,5}	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Ca ₂	Mg _{>2,5} Fe ²⁺ _{<2,5}	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
Edénite	Na	Ca ₂	Mg ₅	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
	Na	Ca ₂	Mg ₅	Si _{6,5} Al _{1,5}	O ₂₂	(OH) ₂
	Na	Ca ₂	Mg _{>2,5} Fe ²⁺ _{<2,5}	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
	Na	Ca ₂	Mg _{>2,5} Fe ²⁺ _{<2,5}	Si _{6,5} Al _{1,5}	O ₂₂	(OH) ₂
Ferro-édénite	Na	Ca ₂	Fe ²⁺ ₅	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
	Na	Ca ₂	Fe ²⁺ ₅	Si _{6,5} Al _{1,5}	O ₂₂	(OH) ₂
	Na	Ca ₂	Mg _{<2,5} Fe ²⁺ _{>2,5}	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
	Na	Ca ₂	Mg _{<2,5} Fe ²⁺ _{>2,5}	Si _{6,5} Al _{1,5}	O ₂₂	(OH) ₂
Winchite		Na, Ca	Mg ₄ Al	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Na, Ca	Mg ₄ Al	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
		Na, Ca	Mg _{>2} Fe ²⁺ _{<2} Al	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Na, Ca	Mg _{>2} Fe ²⁺ _{<2} Al	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂

	A	B	C	T	O	W
Ferro-winchite		Na, Ca	Fe ²⁺ ₄ Al	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Na, Ca	Fe ²⁺ ₄ Al	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂
		Na, Ca	Mg _{<2} Fe ²⁺ _{>2} Al	Si ₈	O ₂₂	(OH) ₂
		Na, Ca	Mg _{<2} Fe ²⁺ _{>2} Al	Si _{7,5} Al _{0,5}	O ₂₂	(OH) ₂

Annexe 9 : Localisation des espèces minérales d'intérêt à l'étranger

Espèce minérale	Nombre de sites référencés dans mindat (avec et sans géolocalisation)	Localisations (Nombre de sites par continent avec géolocalisation)	
		Continent	Pays
Actinolite	N = 3364 (dont France)	Antarctique (N=3)	-
		Europe (N=551)	Allemagne, Arménie, Autriche, Belgique, Bulgarie, Croatie, Espagne, Finlande, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Islande, Kosovo, Macédoine, Pologne, Portugal, République Tchèque Roumanie, Royaume-Uni Russie, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Ukraine
		Amérique du Nord (N=1034)	Canada, Costa Rica, Cuba, Groenland, Porto Rico, République Dominicaine, USA
		Amérique du Sud (N=85)	Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Equateur, Guatemala, Guyane, Jamaïque, Pérou, Vénézuéla
		Afrique (N=34)	Afrique du Sud, Arabie Saoudite, Cameroun, Egypte, Ethiopie, Gabon, Kenya, Ouganda, République Démocratique du Congo, Rwanda, Soudan, Tchad, Turquie, Zambie, Zimbabwe
		Océanie (N=218)	Australie, Iles Solomon, Papouasie Nouvelle Guinée
		Asie (N=654)	Arménie, Azerbaïdjan, Bangladesh, Chine, Corée du Sud, Inde, Indonésie, Iran, Irak, Japon, Kazakhstan, Oman, Ouzbékistan, Pakistan, Népal, Philippines, Russie, Lanka, Taiwan, Thaïlande
Trémolite	N = 2493 (dont France)	Antarctique (N=2)	-

Espèce minérale	Nombre de sites référencés dans mindat (avec et sans géolocalisation)	Localisations (Nombre de sites par continent avec géolocalisation)	
		Continent	Pays
		Europe (N=293)	Allemagne, Autriche, Bulgarie, Espagne, Finlande, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Norvège, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume Uni, Russie, Slovaquie, Suède, Suisse, Ukraine
		Amérique du Nord (N=894)	Canada, Groenland, Mexique, Nicaragua, Porto-Rico, USA
		Amérique du Sud (N=23)	Argentine, Brésil, Bolivie, Pérou
		Océanie (N=122)	Australie, Fiji, Nouvelle Zélande, Papouasie Nouvelle Guinée
		Afrique (N=25):	Afrique du Sud, Arabie Saoudite, Côte d'Ivoire, Kenya, Egypte, Ethiopie, Gabon, Madagascar, Maroc, Namibie, République Démocratique du Congo, Tchad, Soudan, Turquie, Zambie, Zimbabwe
		Asie (N=581)	Afghanistan, Bangladesh, Chine Corée du Nord, Corée du Sud, Iran, Kazakhstan, Malaisie, Myanmar, Inde, Indonésie, Japon, Népal, Ouzbekistan, Pakistan, Philippines, Russie, Vietnam, Thaïlande, Roumanie, Sri Lanka, Taiwan
		Antarctique	-
Anthophyllite	N = 699 (dont France)	Europe (N=128)	Allemagne, Autriche, Bulgarie, Espagne, Finlande, Hongrie, Italie, Norvège, Pologne, République Tchèque Roumanie, Royaume Uni, Russie, Slovaquie, Suède, Suisse, Ukraine ;
		Amérique du Nord (N=354)	Canada, Groenland, USA
		Amérique du Sud (N=7)	Argentine, Bolivie, Colombie, Brésil
		Océanie (N=28)	Australie, Nouvelle Zélande
		Afrique (N=8)	Afrique du Sud, Burkina Faso, Egypte, Ethiopie, Zambie, Zimbabwe

Espèce minérale	Nombre de sites référencés dans mindat (avec et sans géolocalisation)	Localisations (Nombre de sites par continent avec géolocalisation)	
		Continent	Pays
Amosite	N = 2	Asie (N=18)	Chine, Inde, Indonésie, Japon, Kazakstan, Taiwan, Tadjikistan
		Amérique du Sud (N=1)	Bolivie
Grunérite	N = 221 (dont France), N = 118 (hors France)	Afrique (N=1)	Afrique du Sud
		Europe (N=23)	Allemagne, Autriche, Espagne, Finlande, Hongrie, Norvège, Portugal, Roumanie, République Tchèque, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Suède, Ukraine
		Amérique du Nord (N=97)	Canada, Groenland, USA
		Amérique du Sud (N=4)	Bolivie, Brésil
		Océanie (N=28)	Australie, Nouvelle Zélande
		Afrique (N=6)	Afrique du Sud, Cameroun, Madagascar, Mauritanie, Namibie
		Asie (N=21)	Inde, Chine, Japon
Crocidolite	N = 55	Europe (N=8)	Allemagne, Autriche, Norvège, Suisse, Ukraine
		Amérique du Nord (N=33)	Canada, Groenland, USA
		Amérique du Sud (N=1)	Bolivie
		Océanie (N=11)	Australie
		Afrique (N=2)	Afrique du Sud, République Démocratique du Congo ;
		Asie (N=1)	Chine
Riébeckite	N = 382 (dont France)	Antarctique (N=1)	-
		Europe (N=63)	Autriche, Italie, Espagne, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Hongrie, Norvège, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Suisse, Suède, Ukraine
		Amérique du Nord (N=161)	Canada, Groenland, Jamaïque, Mexique, USA
		Amérique du Sud (N=7)	Argentine, Bolivie, Brésil, Venezuela
		Océanie (N=16)	Australie, Nouvelle-Zélande

Espèce minérale	Nombre de sites référencés dans mindat (avec et sans géolocalisation)	Localisations (Nombre de sites par continent avec géolocalisation)	
		Continent	Pays
Chrysotile	N = 1037 (Dont France)	Antarctique ;	-
		Europe (N = 163)	Autriche, Bulgarie, Finlande, Allemagne, Espagne, Hongrie, Italie, Norvège, Pologne, Roumanie, Russie, Serbie, Slovaquie, Suisse, Suède, Royaume-Uni, Ukraine
		Amérique du Nord (N = 458)	Canada, Cuba, Jamaïque, Mexique, République Dominicain, USA
		Amérique du Sud (N = 13)	Argentine, Bolivie, Brésil, Equateur, Nicaragua, Trinidad et Tobago
		Océanie (N = 63)	Australie, Nouvelle Zélande
		Afrique (N = 21)	Egypte, Ethiopie, Madagascar, Malawi, Maroc, Namibie, Afrique du Sud, Turquie, Zambie, Zimbabwe
		Asie (N = 95)	Afghanistan, Chine, Inde, Indonésie, Irak, Japon, Oman, Pakistan, Russie, Taiwan
Antigorite	N = 688 (dont France)	Antarctique (N=2)	-
		Europe (N=159)	Allemagne, Bulgarie : Autriche, Chypre, Espagne, Finlande, Grèce, Hongrie, Italie République Tchèque, Norvège, Pologne, Roumanie, Russie, Serbie, Slovaquie, Suède, Suisse, Royaume-Uni
		Amérique du Nord (N=216)	Canada, Cuba, Groenland, USA
		Amérique du Sud (N=4)	Argentine, Brésil, Equateur
		Océanie (N=52)	Australie, Nouvelle Zélande
		Afrique (N=5)	Afrique du Sud, Egypte : Cameroun, Ethiopie, Maroc, République du Congo, Soudan, Zimbabwe

Espèce minérale	Nombre de sites référencés dans mindat (avec et sans géolocalisation)	Localisations (Nombre de sites par continent avec géolocalisation)	
		Continent	Pays
		Asie (N=36)	Chine, Inde, Indonésie, Iran, Irak, Japon, Kazhakstan, Myanmar, Corée du Nord, Oman, Pakistan, Russie, Taiwan
Fluoro-édénite	N = 29 (dont France)	Europe (N=14)	Allemagne, Autriche, Finlande, Italie, Norvège, Roumanie, Russie
		Amérique du Nord (N=13)	USA
		Océanie	Nouvelle-Zélande
		Asie (N=2)	Japon, Myanmar
Winchite	N=60	Europe (N=7)	Espagne, Italie, Grèce, Pologne République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Suisse
		Amérique du Nord (N=8)	Canada, USA
		Amérique du Sud	Vénézuela
		Océanie (N=3)	Australie
		Afrique (N=2)	Algérie, Namibie, Zimbabwe
		Asie (N=15)	Afghanistan, Chine, Corée du Sud, Inde, Japon, Myanmar, Oman
Richtérite	Dont France	Europe (N=44)	Autriche, Bulgarie, Finlande
		Amérique du Nord (N=34)	Canada,
		Amérique du Sud (N=1)	Brésil
		Océanie (N=13)	Australie
		Afrique (N=5)	
		Asie (N=20)	Afghanistan, Chine
Erionite	N =227 (dont France)	Antarctique (N=2)	-
		Europe (N=47)	Allemagne, Autriche, Bulgarie, Danemark, Espagne, Finlande, Grèce, Islande, Italie, Pologne, République Tchèque, Royaume-Uni Roumanie, Russie, Ukraine
		Amérique du Nord (N=89)	Canada, USA
		Océanie (N=29)	Australie, Nouvelle Zélande

Espèce minérale	Nombre de sites référencés dans mindat (avec et sans géolocalisation)	Localisations (Nombre de sites par continent avec géolocalisation)	
		Continent	Pays
		Afrique	Kenya, Tanzanie
		Asie	Chine, Japon, Turquie

Notes





Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr / [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)