



anses

Moustiques vecteurs : comment répondre aux enjeux actuels ?

Journée thématique

jeudi 25 avril 2024

Espace Van Gogh - Paris 12

En collaboration scientifique avec
le Muséum national d'Histoire naturelle.





arbocartoR

Un outil de modélisation et d'aide à la décision pour la surveillance et le contrôle des arboviroses transmises par les moustiques Aedes

Pachka Hammami, chercheuse, modélisatrice et épidémiologiste



Collaborateurs : Renaud Marti, Andrea Apolloni, Ewy Ortega, Maxime Lenormand, Annelise Tran, et Elena Arsevska

Journée
thématique

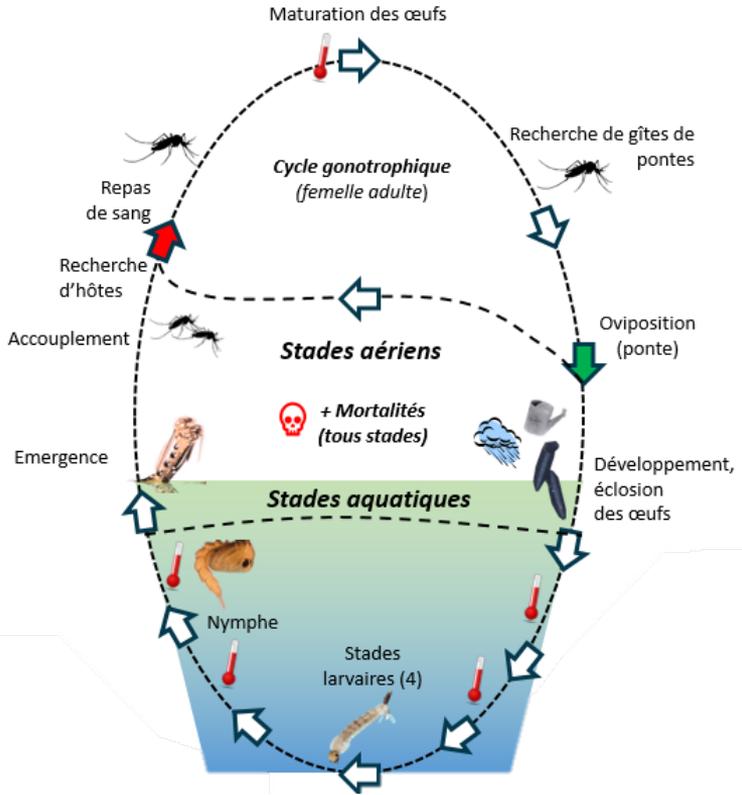
Jeudi 25 avril • Espace Van Gogh

This work has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement MOOD N° 874850.

Le projet ARBOCARTO

- i. **Observer et décrire** les processus et mécanismes biologiques des espèces (*Ae. albopictus* et *egypti*)
- ii. Identifier la **dépendance à l'environnement** (température, pluie, végétation, habitats humains, sites de reproduction, etc.)
- iii. **Sélectionner** les connaissances d'intérêt et **formaliser** un modèle mécanistique (schémas, "boîtes", équations, code)

- Différencier les "états" du cycle de vie des moustiques :
 - **Aquatique** (œufs, larves, nymphes)
 - **Aérien** (émérgent, nullipare, parous)
- Ordonner la séquence des "actions" importantes réalisées :
 - **Émergence** (mâles et femelles)
 - **Reproduction** (mâles et femelles)
 - **Recherche d'hôtes pour le repas sanguin** (femelles)
 - **Maturation des œufs** (femelles)
 - **Recherche d'un gîte de ponte** (femelles)



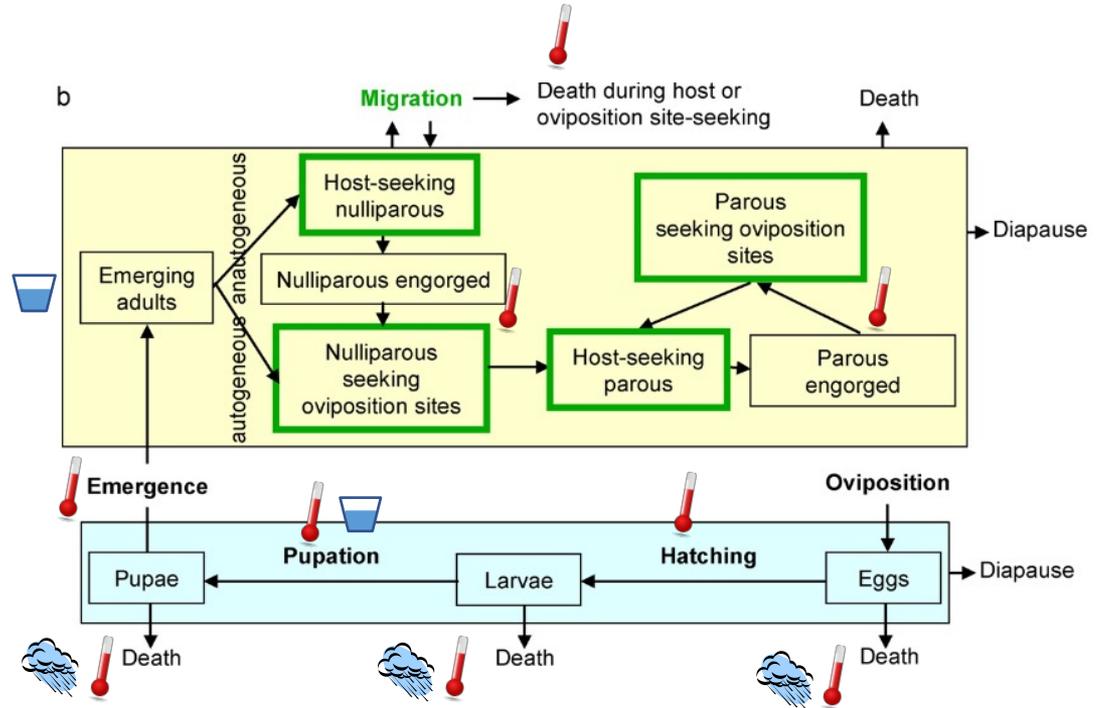
Dynamique de population de moustique : modèle compartimental

 **Processus dépendants de la température**

 **Processus dépendants de la pluviométrie**

 **Capacité de charge environnementale**

- Densité dépendance – limite le nombre maximum de larves et d'émergences réussies.



Tran A et al. ; Int J Environ Res Public Health. 2013;10: 1698–1719. doi:[10.3390/ijerph10051698](https://doi.org/10.3390/ijerph10051698)

Cailly P et al. ; Ecological Modelling. 2012;227: 7–17. doi:[10.1016/j.ecolmodel.2011.10.027](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.10.027)

Cailly P. ; These de doctorat, Nantes, Ecole nationale vétérinaire. 2011. <https://www.theses.fr/2011ONIR002F>

**Journée
thématique**

Judi 25 avril • Espace Van Gogh

De la dynamique des populations de moustiques au modèle épidémiologique

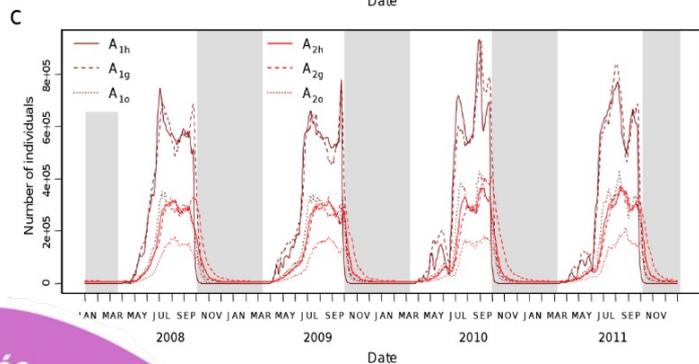
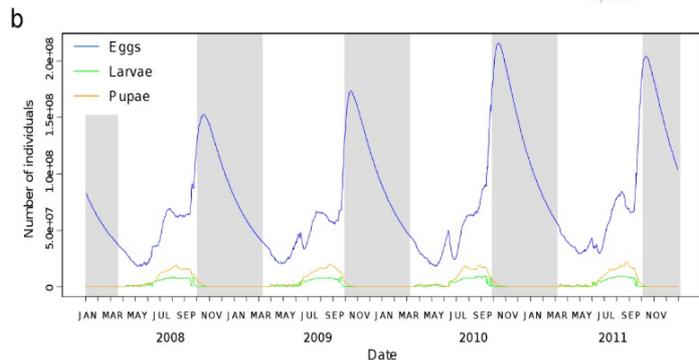
Modèle de dynamique des populations de moustiques



Sorties épidémiologiques

⇒ R_0 (déterministe, spatial et temporel)

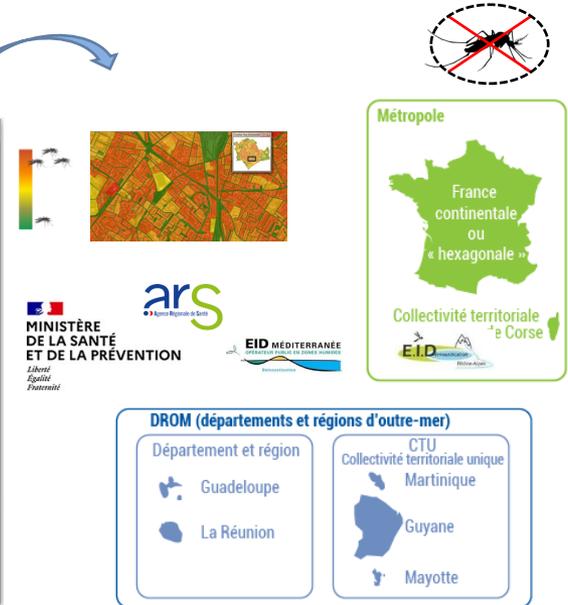
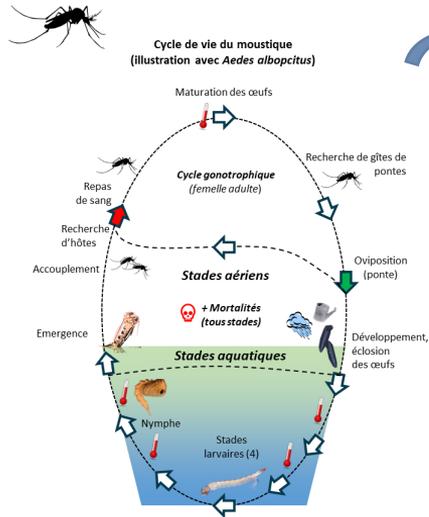
(Benkimoun S et al ; Results in Physics. 2021;29: 104687. doi:[10.1016/j.rinp.2021.104687](https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104687))



De la recherche à l'outil opérationnel



Une interface logicielle (Java) entre un modèle de dynamique de population de moustiques *Aedes* et les opérateurs de la lutte anti-vectorielle en France



Journée thématique

Judi 25 avril • Espace Van Gogh



De la dynamique des populations de moustiques au modèle épidémiologique

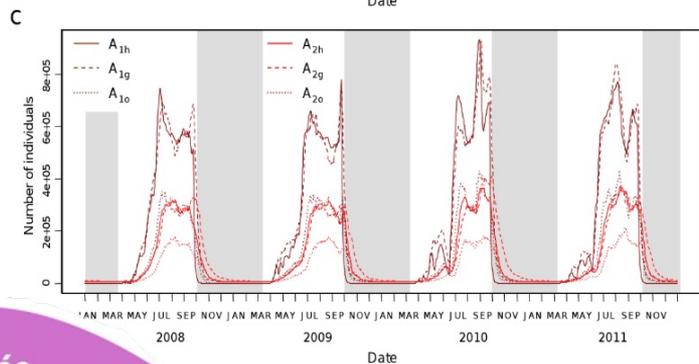
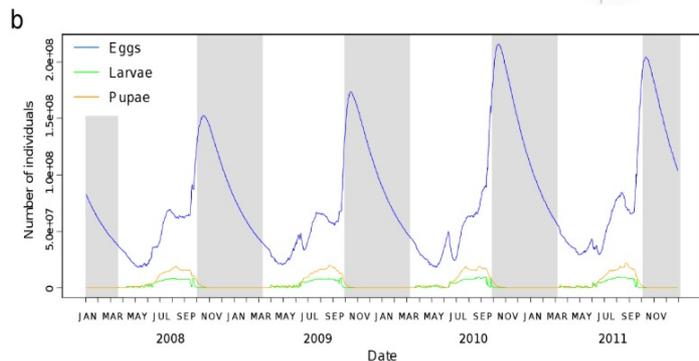
Modèle de dynamique des populations de moustiques



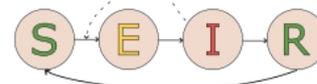
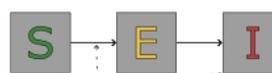
Sorties épidémiologiques

⇒ R_0 (déterministe, spatial et temporel)

(Benkimoun S et al ; Results in Physics. 2021;29: 104687. doi:[10.1016/j.rinp.2021.104687](https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104687))

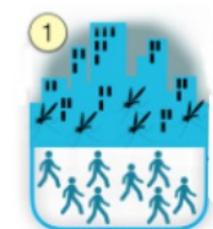


⇒ Modèle épidémiologique (stochastique)

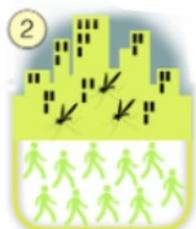


D'une population locale homogène à une métapopulation hétérogène

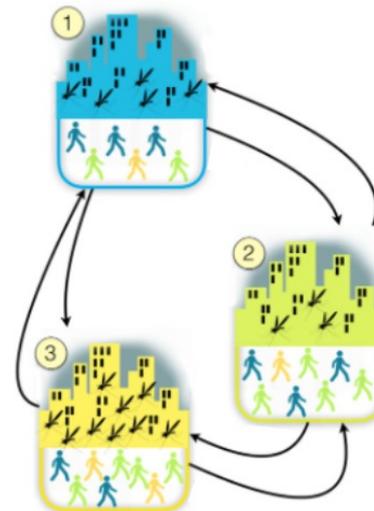
Echelle locale



Mobilité humaine



Approche métapopulationnelle



Les moustiques piquent résidents et "visiteurs" sur la base de probabilités : métapopulation connectée par la mobilité humaine

Journée thématique

Judi 25 avril • Espace Van Gogh

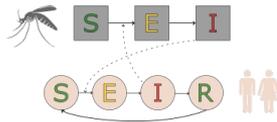
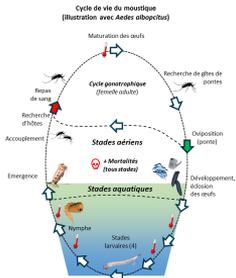
Adapté de Soriano-Paños D et al. ; Phys Rev Research. 2020;2: 013312. doi:[10.1103/PhysRevResearch.2.013312](https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.013312)



De la recherche à l'outil opérationnel



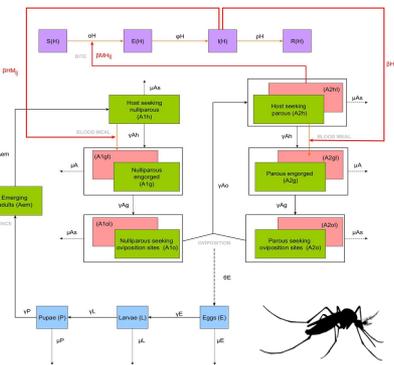
Un package R et une interface web (RShiny) entre modélisation (*Aedes*, Dengue, Zika, Chikungunya), chercheurs et opérateurs de la lutte anti-vectorielle en Europe



Application: <https://shiny.sk8.inrae.fr/app/sa-astre-arbocarto-r-app>
Recharger la page si nécessaire

Sources

Package: <https://forgemia.inra.fr/umr-astre/arbocartoR>
Application: <https://forgemia.inra.fr/sk8/sk8-apps/sa/astre/arbocarto-r-app>



Jeudi 25 avril



Journée thématique





Application arbocartoR

Données requises

The screenshot shows the web application interface for 'Vector-borne diseases'. It includes a navigation menu on the left with 'Presentation', 'Risk of Aedes-borne arboviral infection emergence', 'Tutorials', and 'About'. The main content area has a 'How to use' section with instructions on data requirements and an 'Import data' button. Below this are three upload sections: 'Import your spatial polygons', 'Import your environmental data', and 'Import your meteorological data'. The 'Parcels' section displays a table of parcel data.

How to use

To use your own data, you must provide at least 6 files:

1. a shapefile and associated files describing your polygons,
2. a table describing the area (csv or txt file using ";" as separator and "." for decimal),
3. a table with the meteorological data (csv or txt file using ";" as separator and "." for decimal).

By submitting a shapefile, you can generate templates for both tables. If data are not included in the shapefile, the tool can generate estimates for some of the data. These estimates should be reviewed with caution.

Import your spatial polygons (a minimum of 4 files: .shp, .dbf, .prj, .shx)

Browse... 5 files
Upload complete

You have uploaded a shapefile with 1203 patches. Your shapefile contains the following attributes: ARROUND, COMMUNE, NUM_Z, NOM, KlvAr, id, SurfHA, Altitude, KLfix, INSEE_COM, NOM_COM, IDuniquie, address. Your sub-region extent is: -20.8723016489579 (North) -21.3876052856429 (South) 55.8302193808383 (East) 55.2168252956489 (West)

Import your environmental data

Browse... environmental_dataset_Reunion.
Upload complete

Download a template for the environmental dataset
Clear

Import your meteorological data

Browse... meteo_Reunion.csv
Upload complete

Download a template for meteorological data
Clear

Parcels

You have uploaded data for 1203 patches. 1203 patches do not exist in the shapefile IDs. 4 patches exist in the shapefile but not in the parcel dataset.

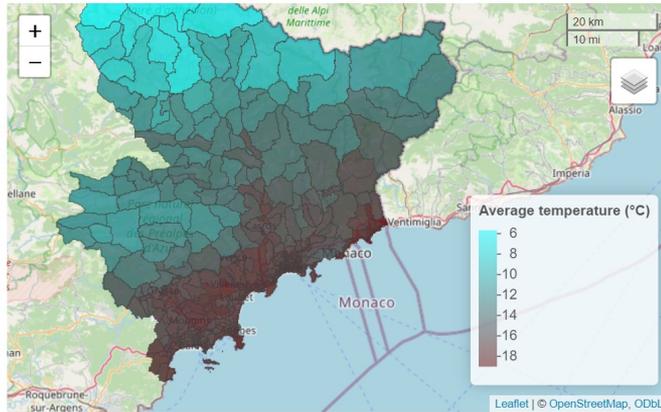
Show 10 entries Search:

ID	Kfix	Kvar	POP	STATION	STATION_ALT	ALT_M	DIFF_ALT	
1	1	8072	16065	224	97410202	15	15	0
2	2	6784	13518	52	97410238	37	268	231
3	3	8394	16693	330	97409240	107	110	3
4	4	6996	13757	526	97409230	42	43	1
5	5	7428	14711	197	97409230	42	59	17
6	6	6828	13575	259	97409230	42	75	33
7	7	8394	16693	33	97410202	15	41	26



Application arbocartoR

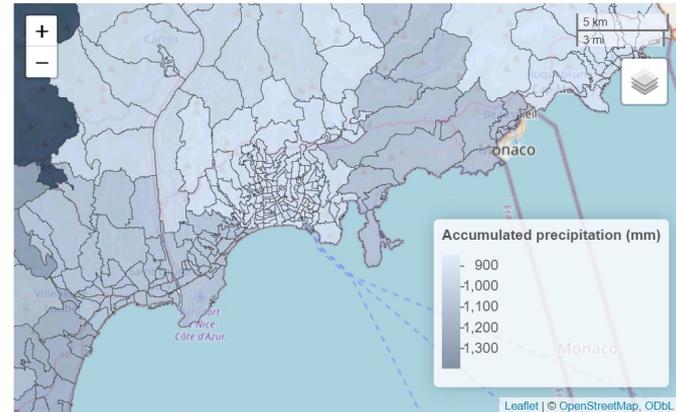
Cartes dynamiques



Latitude: Longitude: zoomTo

Select a patch to zoom in:

060290110



Latitude: Longitude: zoomTo

Select a patch to zoom in:

060290110



Application arbocartoR

Nombreuses options d'initialisation

Initialization

Select vector species:

Aedes albopictus Aedes aegypti

Diapause

Select a pathogen:

Dengue virus Chikungunya virus Zika virus

Characterization of the control measure

Select a measure:

Source reduction (removal or destruction of breeding sites)

Chemical Larviciding

Fogging or Area Spraying (targets adult mosquitoes)

Select where to implement the measure (by clicking on the map or using the scrolling list below):

060010000

Implement control in a buffer zone (m)

0

Proportion of breeding sites daily removed during the action



This measure will be implemented from:

2021-01-01 to 2022-01-01

Add introduction events

When?

Schedule Random

Exposed individual introduced between:

2021/01/01 and 2022/01/01

Number of introduction events (1 individu per introduction)

1

Where?

Schedule Random

Validate



Application arbocartoR

Divers résultats

Epidemiological indicators (median [95% prediction interval])

With control

9/10
simulations had secondary cases

17 [1-466]
autochthonous infection(s)

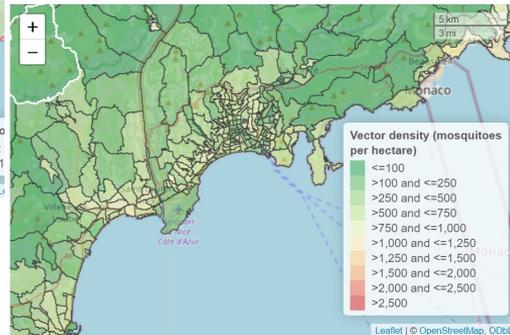
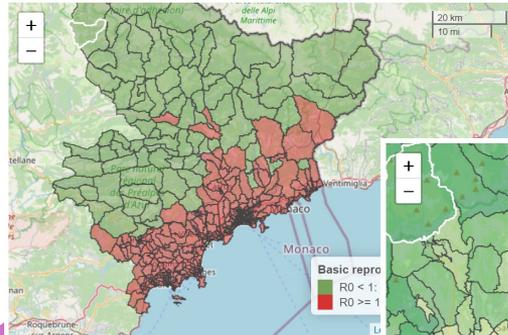
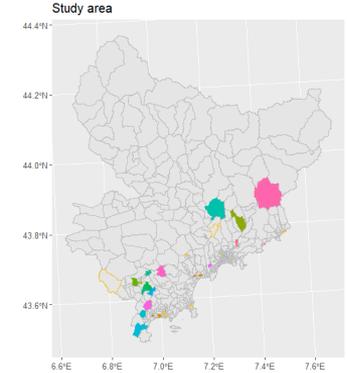
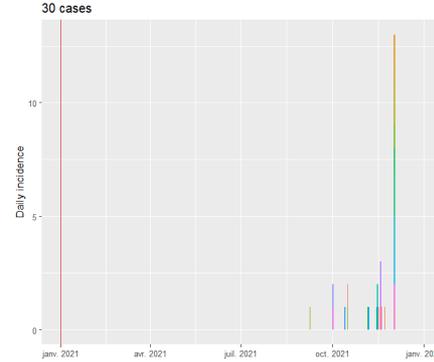
14 [1-236]
infected patch(s)

Without control

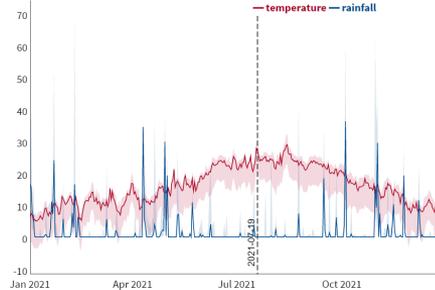
10/10
simulations had secondary cases

82 [2-595]
autochthonous infection(s) - without control

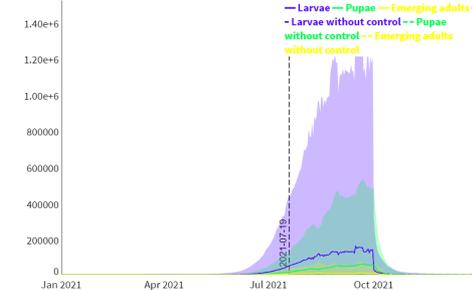
64 [2-279]
infected patch(s) - without control



Meteorological variations over time and among parcels



Demography over time over all parcels and simulations



Journée thématique

● Espace Van Gogh

anses



Outils arbocarto(R)

Limites & Perspectives



ERGONOMIE

- Rapport PDF
- Faciliter l'acquisition de données météorologiques
- Faciliter l'estimation de la capacité de charge
- Faciliter la comparaison avec les données de terrain
- ...

RECHERCHE & DEVELOPPEMENTS

- Ajouter la TIS
- Développer la co-circulation de différentes souches
- Développer la co-circulation de différentes espèces de vecteurs
- **Evaluer l'impact du changement climatique**
- **Intégrer d'autres couples vecteurs/pathogènes**
- ...

2 postdocs

Andrea Radici

Pachka Hammami

Défis
Clés
Occitanie



RIVOC
Risques Infectieux et Vecteurs - Occitanie

Porté par : Claire Garros (culicoides/FCO/MHE)

Didier Fontenille (Aedes/DEN/ZIK/CHI)

Cyril Caminade

<https://rivoc.edu.umontpellier.fr/>



Journée
thématique

Judi 25 avril • Espace Van Gogh



Take home message



- Approche de modélisation performante – générique & flexible
- Principale limite: estimation de la capacité de charge/nombre de gîtes
 - Communauté de modélisateurs:
codes open source (Ocelet – arbocarto ; R package – arbocartoR)

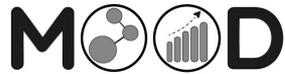
- Communauté de **non**-modélisateurs:
Interfaces ludiques et dynamiques développées à la **demande** des utilisateurs, **pour** les utilisateurs et **avec** les utilisateurs (co-crétation)

- logiciel java (arbocarto)
- interface Rshiny (arbocartoR)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Contact:

pachka.hamami@cirad.fr
arbocarto@teledetection.fr



<https://mood-h2020.eu/>



<https://www.arbocarto.fr/>



<https://shiny.sk8.inrae.fr/app/sa-astre-arbocarto-r-app>

REFERENCES

- Benkimoun S, Atyame C, Haramboure M, Degenne P, Thébault H, Dehecq J-S, et al. Dynamic mapping of dengue basic reproduction number. *Results in Physics*. 2021;29: 104687. doi:[10.1016/j.rinp.2021.104687](https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104687)
- Cailly P, Tran A, Balenghien T, L'Ambert G, Toty C, Ezanno P. A climate-driven abundance model to assess mosquito control strategies. *Ecological Modelling*. 2012;227: 7–17. doi:[10.1016/j.ecolmodel.2011.10.027](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.10.027)
- Cailly P. Modélisation de la dynamique spatio-temporelle d'une population de moustiques, sources de nuisances vecteurs et d'agents pathogènes. These de doctorat, Nantes, Ecole nationale vétérinaire. 2011. Available: <https://www.theses.fr/2011ONIR002F>
- Soriano-Paños D, Arias-Castro JH, Reyna-Lara A, Martínez HJ, Meloni S, Gómez-Gardeñes J. Vector-borne epidemics driven by human mobility. *Phys Rev Research*. 2020;2: 013312. doi:[10.1103/PhysRevResearch.2.013312](https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.013312)
- Tran A, L'Ambert G, Lacour G, Benoît R, Demarchi M, Cros M, et al. A rainfall- and temperature-driven abundance model for *Aedes albopictus* populations. *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10: 1698–1719. doi:[10.3390/ijerph10051698](https://doi.org/10.3390/ijerph10051698)