



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 Arsevka

Journée
thématique

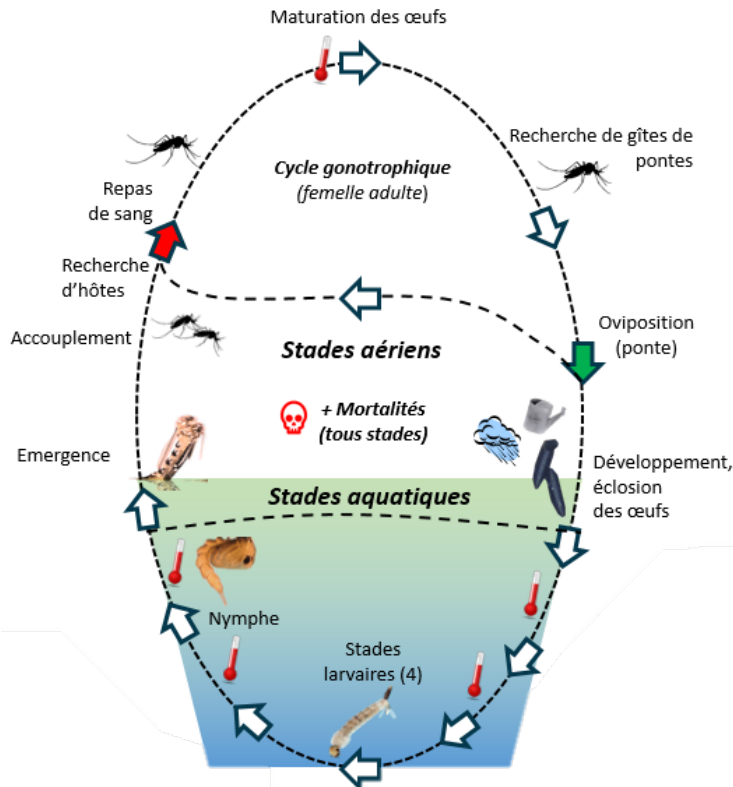
Jeudi 25 avril • Espace Van Gogh

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)



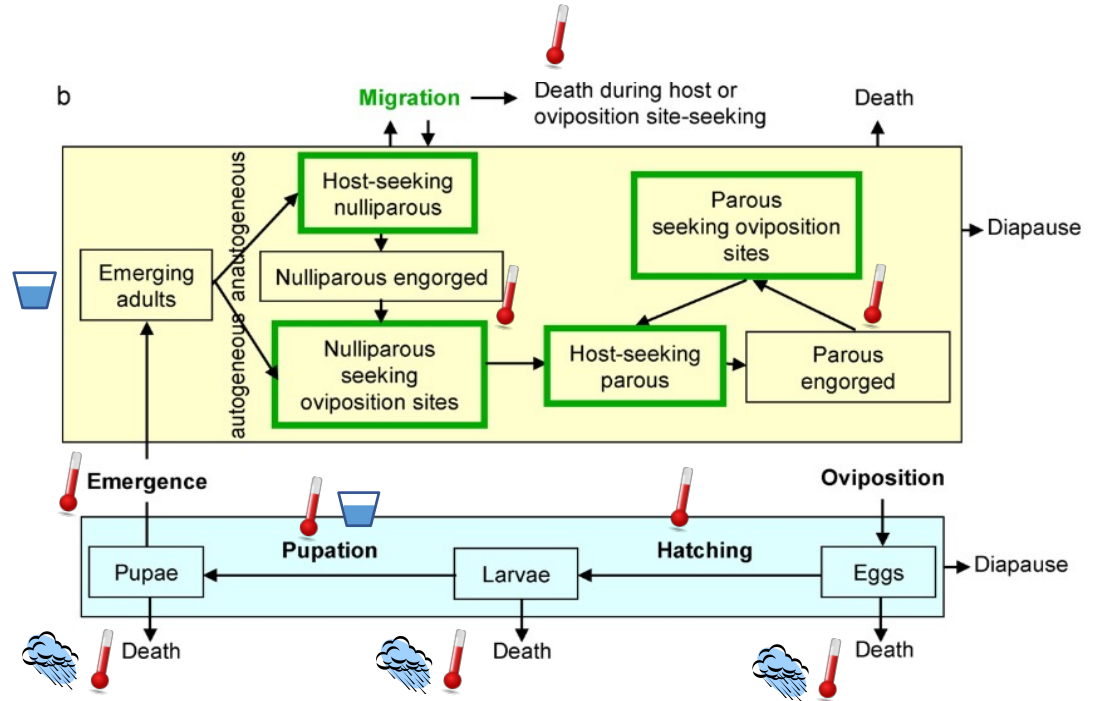
Dynamique de population de moustique : modèle compartimental

 **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

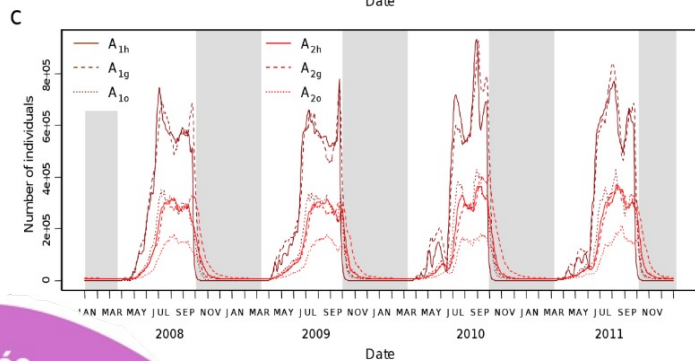
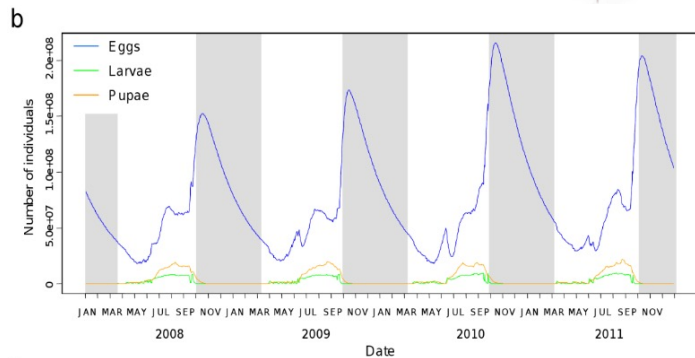
Modèle de dynamique des populations de moustiques



Sorties épidémiologiques

⇒ R_0 (déterministe, spatial et temporel)

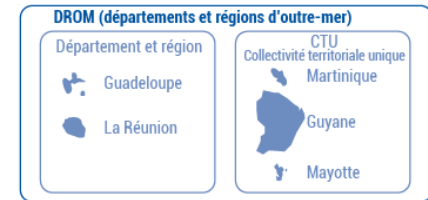
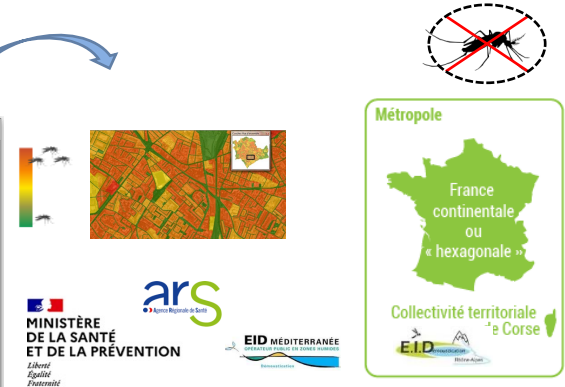
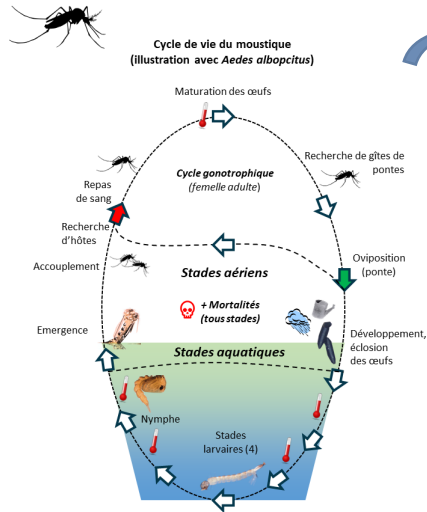
(Benkimoun S et al ; Results in Physics. 2021;29: 104687. doi:[10.1016/j.rinp.2021.104687](https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104687))



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

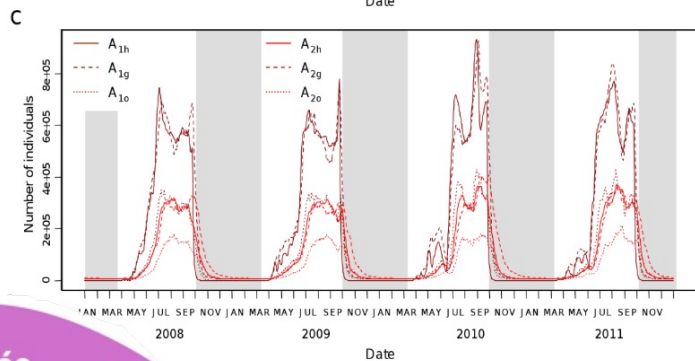
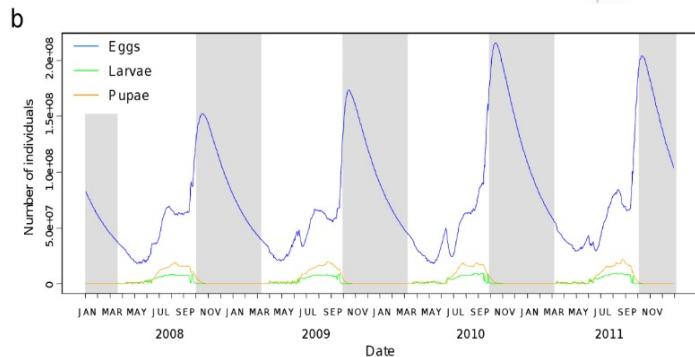
Modèle de dynamique des populations de moustiques



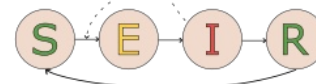
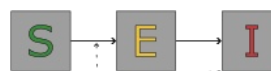
Sorties épidémiologiques

⇒ 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))

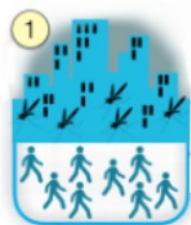


⇒ Modèle épidémiologique (stochastique)

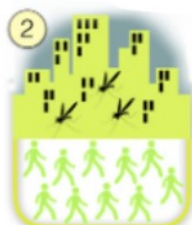


D'une population locale homogène à une métapopulation hétérogène

Echelle locale



Mobilité humaine



Approche métapopulationnelle



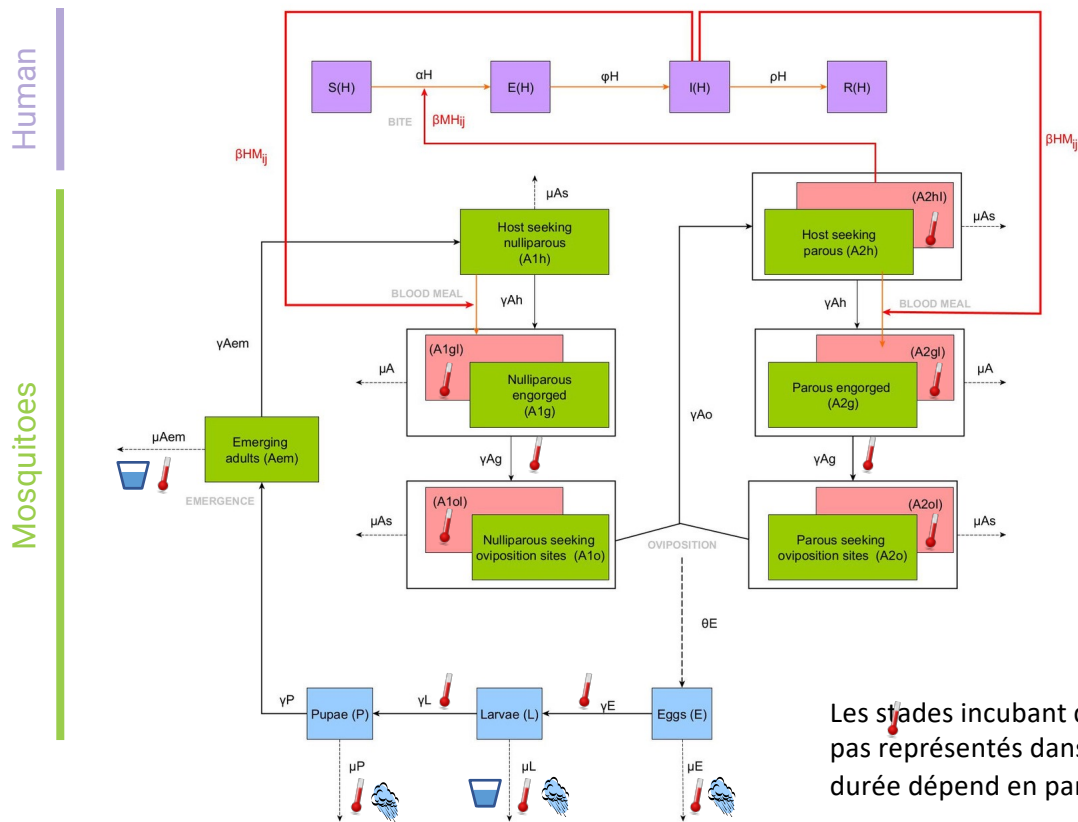
Les moustiques piquent résidents et "visiteurs" sur la base de probabilités : métapopulation connectée par la mobilité humaine

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)

Modèle à compartiments actualisé avec les stades épidémiologiques : événements déterministes et stochastiques

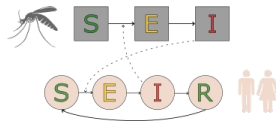
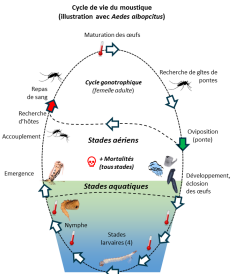


Les stades incubant des moustiques ne sont pas représentés dans ce diagramme (leur durée dépend en partie de la température).

De la recherche à l'outil opérationnel



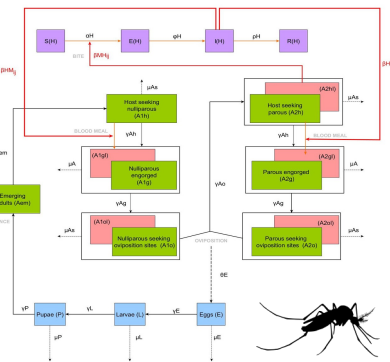
Un package R et une interface web (RShiny) entre modélisation (*Aedes*, Dengue, Zika, Chikungunya), chercheurs et opérateurs de la lutte anti-vectorielle en Europe



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>



Vector-borne diseases

ARBOCARTOR by MOOD

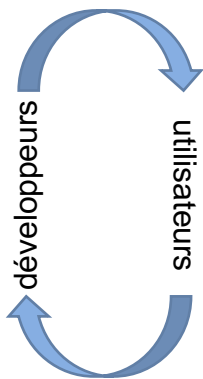
Modeling the risk of emergence of *Aedes*-borne diseases

ARBOCARTOR is a web interface, that allows generating simulations from a multi-level model including two different components: the deterministic population dynamics of *Aedes* mosquitoes (*albopictus* and *egypti*) in various environments and the stochastic dynamics of transmission of dengue, zika and chikungunya viruses.

The underlying model is a spatialized compartmental model considering that mosquitoes and humans reside in independent parcels where their respective densities are assumed to be homogeneous. Humans can move between parcels, spatially spreading the diseases. Mosquito dynamics are mainly driven by rainfall, temperature, and land use (main covariates identified in the scientific literature). The user can modify the importation of viruses by humans, and characterize the implementation of various vector control strategies.

The tool proposes several synthetic outputs of the simulations. The results include the daily dynamics of mosquito populations, and vector/host infections; a map displaying the spatialized and temporal dynamics of the R0 over the simulation period and area; and the prediction intervals of the number of autochthonous infections and disease spread.

Propulsé par SK8 depuis 2021 - SK8



Journée thématique

Jeudi 25 avril





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 tabs for 'How to use', 'Tool', and 'Import data'. Under 'Import data', there are instructions on how to use the tool and a 'Push your data to the tool' button. Below this, there are three sections for uploading data: 'Import your spatial polygons', 'Import your environmental data', and 'Import your meteorological data'. Each section has a 'Browse...' button and an 'Upload complete' button. There are also 'Download a template' buttons and 'Clear' buttons for each section. A 'Parcels' section shows a map and a table of parcel data.

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

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

Import your meteorological data

Parcels

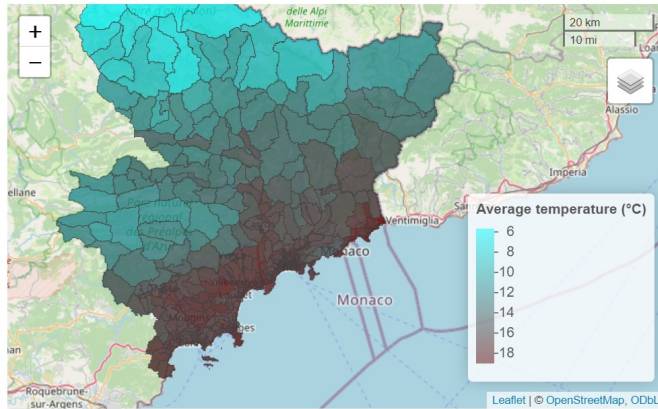
You have uploaded data for 1203 patches. 1203 patches do not exist in the shapefile IDs. 4 patches exist in the shapefile but not in the parcel dataset.

| 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

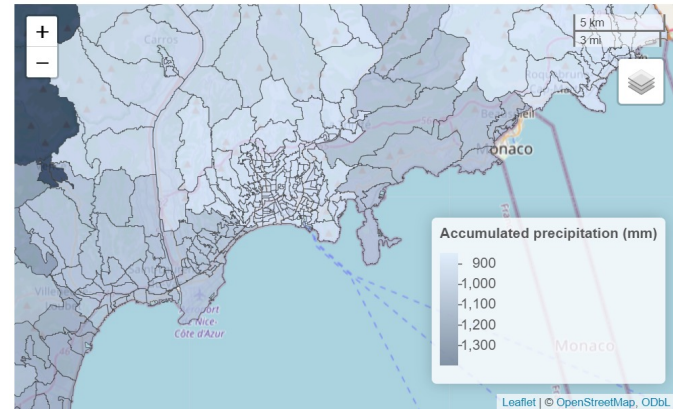


Download map

Latitude: Longitude: zoomTo

Select a patch to zoom in:

060290110



Download map

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)

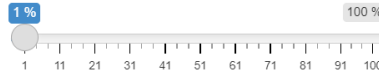
Select where to implement the measure (by clicking on the map or using the scrolling list below):

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)

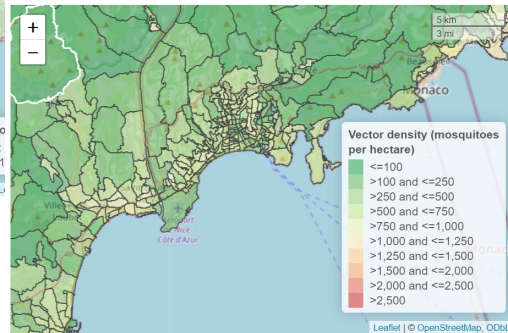
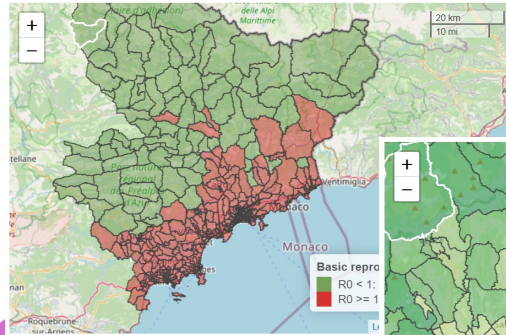
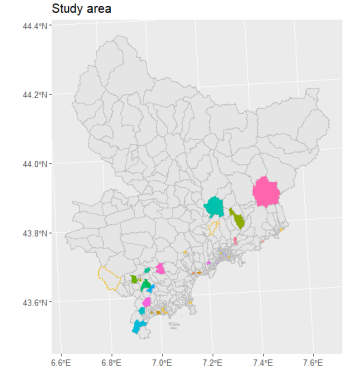
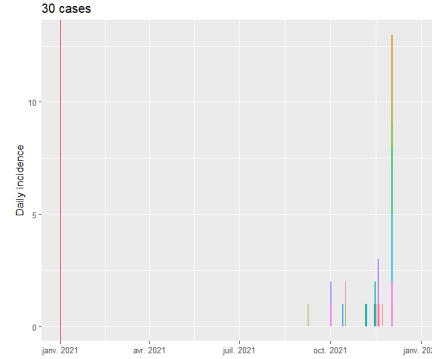
14 [1-236]
infected patch(s)

Without control

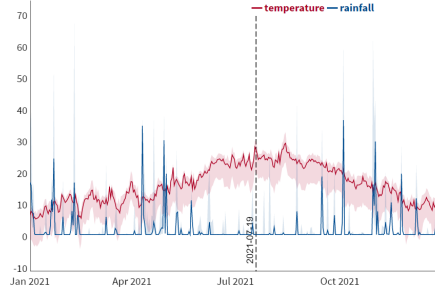
10/10
simulations had secondary cases

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

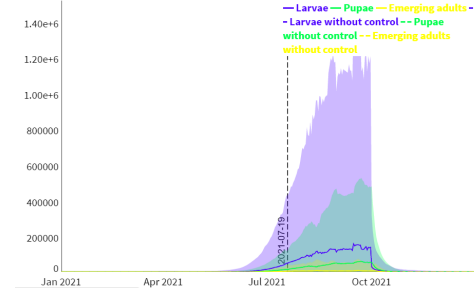
64 [2-279]
infected patch(s) - without control



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



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

Didier Fontenille (Aedes/DEN/ZIK/CHI)

Cyril Caminade

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



anses

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:

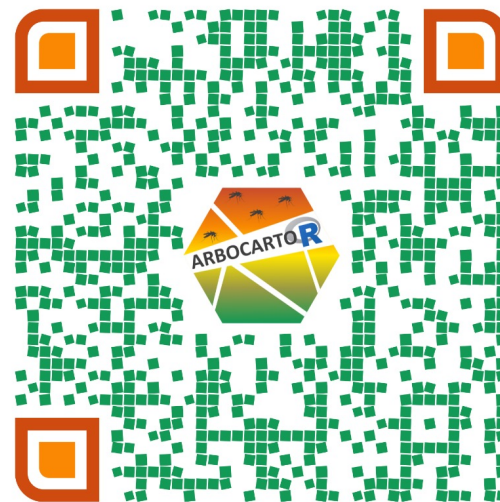
pachka.hammami@cirad.fr
arbocarto@teledetection.fr



<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)