

## MODELISATION DES CARTES DE PROBABILITE DE PRESENCE D'*Aedes albopictus* EN RHONE-ALPES, FRANCE \*

Oriane Moyne<sup>1</sup>, Elodie Cardoso<sup>1</sup>, Delphine Rey<sup>2</sup>, Gilles Besnard<sup>2</sup>,  
Rémi Foussadier<sup>2</sup> et Dominique J. Bicot<sup>1,3</sup>



### RESUME

Inconnu en dehors des jungles asiatiques il y a encore quarante ans, le moustique tigre *Aedes albopictus*, vecteur de nombreux agents pathogènes humains, s'est désormais établi sur les cinq continents, y compris en ville. En France, il fait l'objet d'un plan national de surveillance de la dengue et du chikungunya et plusieurs cas de transmission autochtones ont été reportés récemment, soulignant ainsi la réalité du risque de transmission dans les zones où ce moustique est implanté. Probablement introduit en région Rhône-Alpes *via* le transport routier, *Ae. albopictus* est considéré comme présent et actif dans cinq des huit départements depuis 2013. Il est aujourd'hui question d'identifier les zones favorables à son implantation et comment la colonisation vers ces zones pourrait se faire. Ainsi, l'objectif de notre travail est de construire des cartes de susceptibilité de présence d'*Ae. albopictus* en Rhône-Alpes par modélisation combinant à la fois les connaissances sur les déterminants climatiques mais aussi environnementaux de son installation.

**Mots-clés :** *Aedes albopictus*, analyse multicritères, modélisation spatiale, cartes de risque.

### ABSTRACT

Unknown outside the Asian jungles almost forty years ago, the tiger mosquito *Aedes albopictus*, vector of several human pathogens, is now established across the 5 continents, including in urban areas. In France, a national plan for surveillance of dengue and chikungunya is active, and some autochthonous cases of transmission have been reported recently, underlying the present risk of transmission in areas where the mosquito is present. Probably first introduced in the Rhône-Alpes area *via* road transport, *Ae. albopictus* is since 2013 considered present and active in 5 on 8 departments. For the surveillance purposes, it is now a question of identifying areas suitable for this mosquito and how these areas could be colonized. Thus, the aim of this study is to build maps of susceptibility of *Ae. albopictus* presence in the Rhône-Alpes area by a modelling approach combining knowledge on both the climatic and environmental determinants for establishment.

**Keywords:** *Aedes albopictus*, Multicriteria analysis, Spatial modelling, Risk maps.



\* Texte de la communication orale présentée au cours de la Journée scientifique AEEMA, 20 mars 2015

<sup>1</sup> Environnement et prédiction de la santé des populations – TIMC-IMAG, UMR CNRS 5525 Université Joseph Fourier, Grenoble, Domaine de la Merci, 38706 La Tronche Cedex, France

<sup>2</sup> Entente interdépartementale Rhône-Alpes pour la démoustication, 31 chemin des Prés de la Tour, 73310 Chindrieux, France

<sup>3</sup> Biomathématiques et épidémiologie, EPSP – TIMC-IMAG, UMR CNRS 5525 Université Joseph Fourier, Grenoble, VetAgro Sup Lyon, 69280 Marcy l'Etoile, France

---

## I - INTRODUCTION

---

Encore inconnu en dehors des jungles d'Asie du Sud-Est il y a une quarantaine d'années [Bonizzoni *et al.*, 2013], le moustique tigre *Aedes albopictus* fait aujourd'hui les gros titres de l'actualité de nos régions, et suscite une inquiétude grandissante de la part des pouvoirs publics.

Arthropode à l'origine rural et forestier, *Ae. albopictus* a colonisé les milieux urbains et suburbains où il trouve une grande variété de gîtes de ponte artificiels, et a ainsi pu envahir les agglomérations à forte densité de population humaine [Medlock *et al.*, 2006 ; Waldock *et al.*, 2013]. Tirant parti de l'intensification du commerce international, le moustique tigre a voyagé avec les hommes autour du monde et a ainsi pu s'installer sur les 5 continents où, profitant des transports routiers, il a pu s'étendre sur plusieurs territoires [Medlock *et al.*, 2012]. *Ae. albopictus* s'est également adapté aux climats tempérés en développant une capacité d'hivernation, pondant des œufs en état de diapause lorsque les conditions deviennent défavorables. Cette dormance programmée leur confère une grande résistance au froid et à la dessiccation [Leisnham *et al.*, 2011], tout en favorisant leur dispersion passive avant éclosion [Waldock *et al.*, 2013]. Ses capacités d'adaptation en font l'une des espèces d'insectes les plus invasives au monde selon l'*Invasive Species Specialist Group* [ISSG, 2009].

Vecteur de nombreux agents pathogènes pour l'Homme dont les virus de la dengue et du chikungunya, et désormais présent aux quatre coins du globe et à proximité des hommes, *Ae. albopictus* constitue une réelle menace de santé publique dans les zones où il est implanté [Bonizzoni *et al.*, 2013 ; Schaffner *et al.*, 2014]. Depuis son introduction sur le sol européen, *Ae. albopictus* est le principal vecteur responsable de récentes épidémies, comme lors de la flambée de chikungunya qui a touché près de 200 personnes en Italie en 2007 [Takumi *et al.*, 2009]. Aucun traitement ni vaccin n'étant disponible sur le marché pour ces maladies, le contrôle des populations de vecteurs constitue l'unique stratégie de prévention de ces épidémies [Bonizzoni *et al.*, 2013].

En 2005-2006, une épidémie de chikungunya d'ampleur exceptionnelle frappe La Réunion avec un taux d'attaque de 34 % [Herida *et al.*, 2011]. Suite à cet événement, le gouvernement met en place dès 2006 un plan national anti-dissémination contre la dengue et le chikungunya en France métropolitaine, qui comprend notamment la surveillance des populations d'*Ae. albopictus* [Ministère de la Santé, 2006]. Très récemment, l'InVS a rapporté respectivement 4 et 11 cas autochtones de dengue et de chikungunya en Provence-Alpes-Côte d'Azur en 2014, soulignant ainsi la réalité du risque de transmission virale sur le territoire français [InVS, 2014]. En région Rhône-Alpes, le moustique tigre est considéré comme présent et actif dans cinq des huit départements (l'Isère, la Drôme, l'Ardèche, le Rhône et la Savoie) d'après les données de surveillance de l'Entente interdépartementale Rhône-Alpes pour la démoustication (EIRAD) ; et il est aujourd'hui question d'identifier précisément les habitats favorables à son installation dans la région.

Suivant les recommandations de l'European Center for Disease Prevention and Control (ECDC) [Straetemans *et al.*, 2008], de nombreuses études ont cherché à modéliser la propagation du moustique tigre à l'échelle européenne, en intégrant le plus souvent des connaissances sur les déterminants météorologiques de son installation [Caminade *et al.*, 2012 ; Fischer *et al.*, 2014 ; Schaffner *et al.*, 2014]. Des cartes de risque de présence du moustique de résolution plus fine ont également été réalisées notamment dans le Nord de l'Italie [Neteler *et al.*, 2011 ; Roiz *et al.*, 2011], géographiquement proche de la région Rhône-Alpes.

Dans une logique de prévention et d'évaluation du risque, l'objectif de notre étude consiste à modéliser à une échelle fine des cartes de probabilité de présence du moustique tigre dans quatre départements de la région : l'Ain, l'Isère, le Rhône et la Savoie. Pour cela, nous intégrerons dans un modèle multicritères les connaissances sur les déterminants climatiques et environnementaux à l'installation d'*Ae. albopictus*.

---

## II - MATERIELS ET METHODES

---

## 1. MATÉRIELS

### 1.1. BASES DE DONNEES

Pour caractériser le climat de la région, nous avons utilisé les données de champ météorologique journalier de Météo France entre 2006 et 2012, à une résolution de 8 km, que nous avons ensuite interpolées à 1 km par régression linéaire altitudinale [Cardoso, 2013]. Les données sur le type d'occupation du sol ont été extraites de la base CORINE Land Cover 2006 (CLC 06) [Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013] à une résolution de 25 mètres. Nous avons réalisé nos cartes grâce au fond de carte départemental et au modèle numérique de terrain de l'Institut géographique national [Institut national de l'information géographique et forestière, 2015].

Les données des campagnes de surveillance d'*Ae. albopictus* fournies par l'EIRAD ont été utilisées pour la calibration et la validation des modèles. Étaient indiquées, pour chaque relevé de piège pondoir effectué entre 2006 et 2012 sur les quatre départements de notre zone d'étude (Ain, Isère, Rhône et Savoie), la date dudit relevé, ses coordonnées géographiques, son statut positif ou négatif quant à la présence d'*Ae. albopictus* ainsi que des informations complémentaires lorsque celles-ci étaient disponibles ou nécessaires (nombre d'œufs, piège détérioré...).

### 1.2. LOGICIELS

La gestion des données et les analyses statistiques ont été réalisées sur R [R Core Team, 2013] et Excel, et les cartes à l'aide du logiciel de Système d'information géographique QGIS [Quantum GIS Development Team, 2013].

## 2. METHODES

### 2.1. IDENTIFICATION DES DETERMINANTS DE LA PRESENCE D'*Aedes albopictus*

Afin d'identifier les déterminants de la présence d'*Ae. albopictus*, une analyse bibliographique a été

menée [Cardoso, 2013] au terme de laquelle nous avons retenu les critères les plus fréquemment cités. Dans le cas des variables climatiques, chaque critère correspond à une valeur seuil en dessous ou au-dessus de laquelle l'établissement du moustique est respectivement défavorable ou favorable.

### 2.2. EXTRACTION DES DONNEES D'OCCUPATION DU SOL

La base CLC 06 est constituée de 44 couches correspondant chacune à un type d'occupation du sol. A la suite de l'analyse bibliographique, le choix a été fait de ne conserver pour l'étude que les couches les plus favorables à l'établissement du moustique, à savoir les zones urbaines, industrielles et commerciales, les réseaux de communication, les espaces verts artificialisés, les chantiers et les zones agricoles et forestières (tableau 1). Les données ont ensuite été agrégées par construction de tampons de 500m de rayon dans lesquels ont été calculées les proportions de surface occupée par chaque couche retenue comme potentiellement favorable.

### 2.3. MODELISATION

Pour chacun des déterminants sélectionnés lors de l'analyse bibliographique, une carte de probabilité de zones favorables à la présence du moustique a été produite. Pour chaque variable  $x$  correspondant à l'un des déterminants climatiques, la probabilité de conditions favorables  $P(x)$  associée a été calculée en utilisant une fonction logistique,  $P(x) = 1/[1 + \exp\{\theta(\mu - x)\}]$ , où  $\mu$  est la valeur seuil du critère climatique et  $\theta$  la raideur de la courbe. L'utilisation de la fonction  $P(x)$  permet d'adoucir la transition autour du seuil pour chaque critère. En ce qui concerne le type d'occupation du sol, une probabilité d'accueil de gîtes de ponte a été associée à chaque libellé de la base CLC 06 (tableau 1). La probabilité pour chaque point (élargie à une zone tampon de 500m de rayon) a été calculée comme le produit de la proportion de la surface occupée dans la zone tampon par chaque couche par la probabilité qui lui est associée.

Tableau 1

**Probabilité d'accueil de gîtes de ponte d'*Ae. albopictus* en fonction du type d'occupation du sol  
selon la base CORINE Land Cover 2006 (CLC 06)**

Code CLC 06	Libellé CLC 06	Probabilité
111-112	Zones urbanisées	1
141-142	Espaces verts artificiels, équipements sportifs et de loisirs	0,75
121-122-124	Zones industrielles et commerciales, réseaux de communication	0,5
133	Chantiers	0,25
211-221-222-242-311-312-313	Zones agricoles et milieux forestiers	0,1

Après avoir obtenu les différentes cartes de probabilité uni-critère, plusieurs combinaisons de ces cartes ont été réalisées afin d'obtenir des cartes finales de probabilité de présence d'*Ae. albopictus* selon différents scénarios. Les cartes ont été réalisées à une résolution spatiale de 1 km, en adéquation avec le rayon de vol du moustique (inférieur à 500 m).

#### 2.4. ÉTUDE DES DONNEES DE PIEGES PONDOIRS

A des fins d'illustration, nous avons superposé aux cartes de probabilité de présence du moustique selon chaque scénario les positions des pièges placés sur le terrain par l'EIRAD.

### III - RESULTATS

#### 1. DETERMINANTS DE LA PRESENCE D'*AEDES ALBOPICTUS*

Les déterminants climatiques et environnementaux de la présence d'*Ae. albopictus* pris en compte dans cette étude sont :

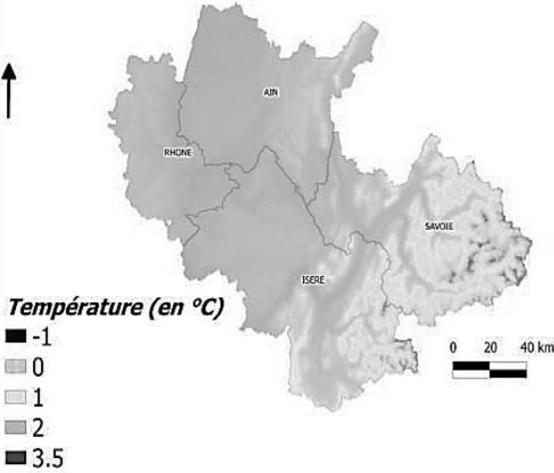
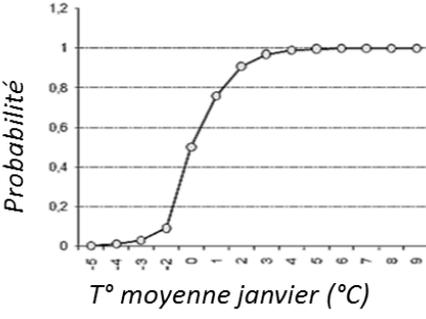
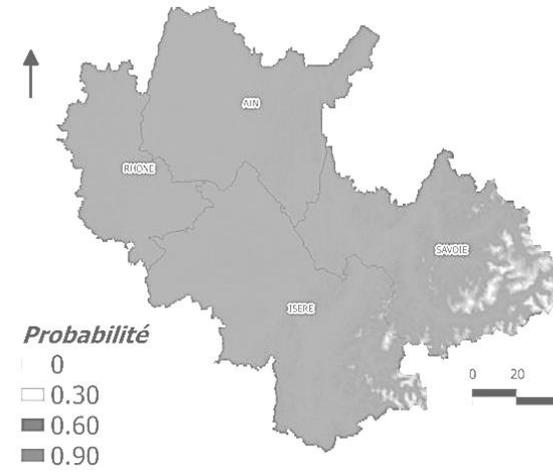
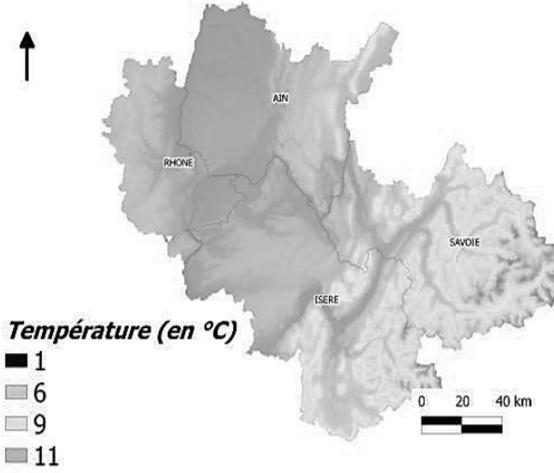
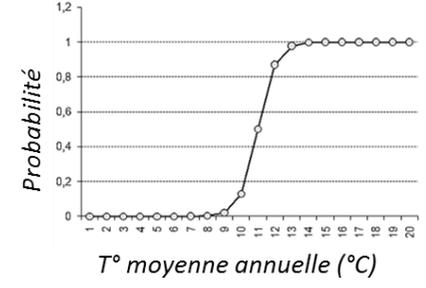
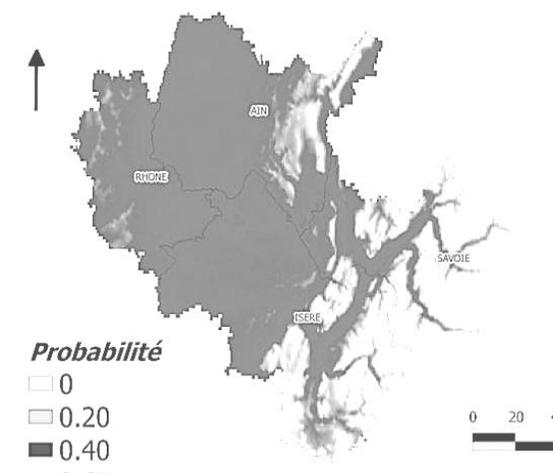
- L'occupation du sol par une des couches déterminées précédemment (tableau 1),
- Un cumul annuel de précipitations supérieur à 500 mm [Caminade *et al.*, 2012] pour favoriser la formation et le maintien de sites de ponte potentiels,
- Une température moyenne du mois le plus froid (que nous avons associée au mois de janvier), supérieure à 0°C [Caminade *et al.*, 2012 ; Roiz *et al.*, 2011] afin

d'assurer une survie correcte des œufs en diapause,

- Et une température moyenne annuelle supérieure à 11°C [Caminade *et al.*, 2012 ; Roiz *et al.*, 2011] afin d'assurer de bons taux de survie et de développement de tous les stades de vie du moustique.

Pour chaque valeur de ces déterminants, une probabilité de présence du moustique a été calculée à l'aide d'une fonction logistique pour les critères météorologiques, et en appliquant les probabilités associées au type d'occupation du sol présentées dans le tableau 1. Les différents paramètres et résultats de cette étape de modélisation sur chaque déterminant sont présentés dans le tableau 2.

**Tableau 2**  
**Cartes de distribution des déterminants de la présence d'Ae. albopictus et modélisation de la probabilité de présence sur ces déterminants**

Critère	Carte de distribution du critère	Relation valeur du critère – probabilité de présence	Carte de probabilité de conditions favorables
<p>Température moyenne du mois de janvier</p> <p><i>T<sub>j</sub></i></p>		<p>Relation valeur du critère – probabilité de présence</p> $P(T_j) = \frac{1}{1 + e^{\theta(\mu - T_j)}}$ <p>Avec <math>\mu=0^\circ\text{C}</math>, <math>\theta=1,15</math></p> 	
<p>Température moyenne annuelle</p> <p><i>T<sub>m</sub></i></p>		<p>Relation valeur du critère – probabilité de présence</p> $P(T_m) = \frac{1}{1 + e^{\theta(\mu - T_m)}}$ <p>Avec <math>\mu=11^\circ\text{C}</math>, <math>\theta=1,9</math></p> 	

Critère	Carte de distribution du critère	Relation valeur du critère – probabilité de présence	Carte de probabilité de conditions favorables
<p><b>Précipitations annuelles cumulées</b></p> <p><i>Plu</i></p>		<p>Relation valeur du critère – probabilité de présence</p> $P(Plu) = \frac{1}{1 + e^{\theta(\mu - Pluv)}}$ <p>Avec <math>\mu=500\text{mm}</math>, <math>\theta=0,015</math></p>	
<p><b>Occupation du sol</b></p>		<p>Voir tableau 1</p>	

La température moyenne du mois de janvier sur la durée de la surveillance est proche de 2°C sur les trois quarts Nord-Ouest de la zone d'étude, et chute autour de 0°C pour des hauts massifs isérois et savoyards. Les probabilités de présence du moustique associée à ces données de température hivernale sont donc élevées pour les zones où le mois de janvier est relativement doux, et plus faible dans les reliefs. De la même manière, on obtient une carte de probabilité pour chaque déterminant climatique, très contrastée sur l'ensemble du territoire pour le critère de température moyenne annuelle, et relativement homogène pour la pluviométrie, jugée suffisante sur l'ensemble de la zone d'étude, hormis une fois encore dans les hauts reliefs.

En ce qui concerne le déterminant environnemental de type d'occupation du sol, les probabilités de présence élevées se concentrent essentiellement autour des grandes agglomérations de Lyon, Saint-Etienne, Grenoble, Chambéry et Bourg-en-Bresse.

## 2. ANALYSE MULTICRITERES

Ces premières cartes de probabilité uni-critère ont été combinées entre elles selon deux scénarios afin d'estimer le risque d'installation du moustique tigre. Pour cette analyse multicritères, nous avons omis le critère de pluviométrie qui était favorable presque partout dans la région (Tableau 2). Ont donc été conservés les deux critères de température hivernale et annuelle et le type d'occupation du sol.

Le scénario 1 met en avant le critère environnemental, jugé ici d'une importance capitale pour l'établissement du moustique : si le type d'occupation du sol n'est pas propice à abriter des gîtes de ponte, le moustique ne peut s'y établir ; tandis qu'un seul des deux critères de température suffirait à obtenir une probabilité de présence non nulle, si l'environnement est considéré favorable. Cela se traduit par la relation :

$$\begin{aligned} & \text{Scénario 1 :} \\ \text{Risque} &= \text{Env} * [\text{Tm} + \text{Tj} * (1 - \text{Tm})] \\ & (1) \end{aligned}$$

Le scénario 2, plus contraignant, donne la même importance à tous les critères, qui doivent tous être associés à une probabilité non nulle sur le même pixel pour que le risque d'y trouver *Ae. albopictus* soit non nul. Soit,

$$\begin{aligned} & \text{Scénario 2 :} \\ \text{Risque} &= \text{Env} * \text{Tm} * \text{Tj} \\ & (2) \end{aligned}$$

Dans les relations (1) et (2), Env = Probabilité associée au critère d'occupation du sol ; Tm = Probabilité associée à la température moyenne annuelle et Tj = Probabilité associée à la température moyenne du mois de janvier.

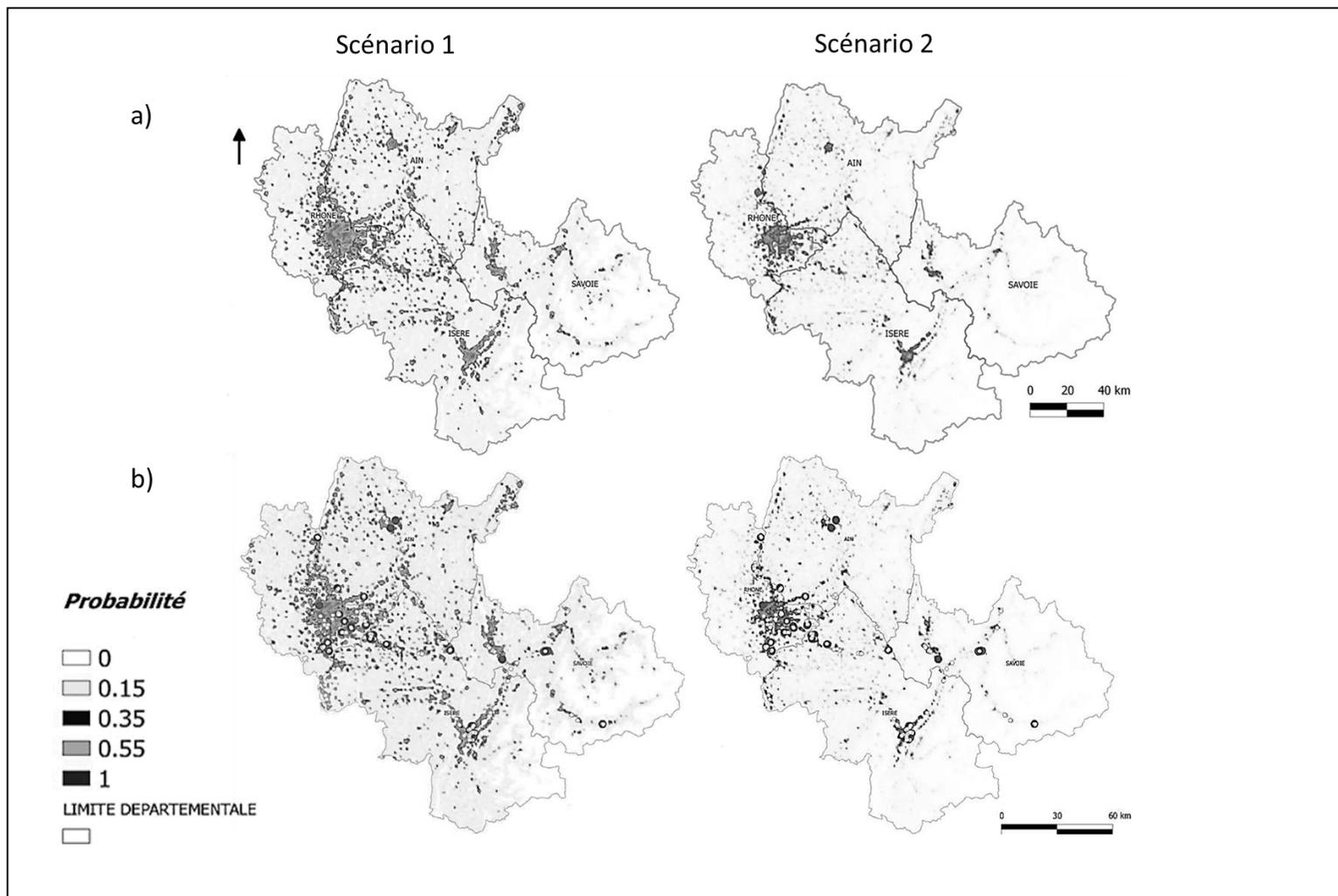
La figure 1 présente les cartes de probabilité de présence d'*Ae. albopictus* dans les quatre départements étudiés selon les scénarios 1 et 2 (figure 1a). Ces deux cartes mettent en avant les mêmes zones de susceptibilité : les grandes agglomérations, associées à un critère environnemental favorable. Les hauts massifs, pour lesquels les conditions météorologiques sont trop rudes pour le moustique selon nos critères, se sont vus attribuer un risque nul de présence du moustique. Les différences entre les cartes obtenues d'après les scénarii 1 et 2 viennent du caractère plus contraignant du scénario 2, pour lequel les zones favorables sont moins étendues et associées à des probabilités de présence plus faibles. Certaines zones de montagne jugées à risque d'après le scénario 1 ne le sont plus d'après le scénario 2, qui donne plus d'importance aux conditions thermiques.

## 3. ÉTUDE DES PIÈGES PONDOIRS

Pour illustration, nous avons ensuite superposé ces cartes de susceptibilité avec les localisations des pièges pondoirs posés sur le terrain par l'EIRAD (figure 1b). Les emplacements des pièges ont été choisis selon plusieurs critères liés au type d'occupation du sol. Selon le protocole de l'EIRAD, le plus important est de placer les pièges dans une zone de repos pour le moustique adulte, c'est-à-dire avec une végétation arbustive dense ; en second lieu, les pièges doivent être placés dans un secteur favorable à la prise d'un repas de sang sur une proie humaine, par exemple en zone urbaine ou sur une grande aire d'autoroute. Les pièges doivent ensuite être positionnés dans les secteurs les plus susceptibles d'accueillir des gîtes de ponte, comme des objets contenant de l'eau que l'on trouve le plus souvent dans les zones résidentielles, artisanales ou industrielles ; ou encore dans les zones où le moustique a de grandes chances d'être amené après un déplacement dans un véhicule, comme les grandes aires d'autoroute, les secteurs industriels ou commerciaux caractérisés par un trafic intense de marchandises. Enfin, si plusieurs sites sont possibles après avoir pris en compte tous ces critères, l'emplacement final du piège sera choisi en fonction de sa facilité d'accès et de stationnement en voiture.

Figure 1

Cartes de probabilité de présence d'*Ae. albopictus* selon les scénarios 1 (à g.) et 2 (à d.) (a), et superposition avec les localisations des pièges pondoirs posés par l'EIRAD (b)



Ce schéma de piégeage de l'EIRAD s'est révélé très cohérent avec à la fois l'approche (voir tableau 1) et les résultats des modélisations (scénarios 1 et 2) car

il apparaît que tous les pièges pondoires se trouvent être placés dans des zones favorables à la présence d'*Ae. albopictus*.

---

#### IV - DISCUSSION - CONCLUSION

---

Ce travail avait pour objectif de construire des cartes de probabilité de présence d'*Ae. albopictus*, moustique vecteur de maladies, dans quatre départements de la région Rhône-Alpes. Pour ce faire, nous avons utilisé une approche multicritères, dans laquelle quatre critères météorologiques et environnementaux déterminants de la présence d'*Ae. albopictus*, sélectionnés à partir de la revue de la littérature, ont été utilisés : occupation du sol à majorité urbanisée, pluviométrie annuelle cumulée supérieure à 500mm, température moyenne du mois de janvier supérieure à 0°C et température moyenne annuelle supérieure à 11°C. Quatre cartes représentant la distribution géographique correspondant à chaque critère ont été réalisées, puis converties en cartes de probabilité de présence uni-critère. Il est apparu que le critère de pluviométrie était presque partout favorable pour la zone d'étude. Ces cartes uni-critère ont été par la suite superposées selon deux scénarios pour obtenir les cartes finales représentant la probabilité de présence du moustique tigre sur la zone d'étude.

D'après les sorties des deux modèles, les zones les plus favorables à cette espèce correspondent aux grandes agglomérations de la région, très urbanisées et à forte densité de population humaine, ce qui va dans le sens des inquiétudes quant aux risques sanitaires liés à *Ae. albopictus*. Les zones de haute altitude quant à elles apparaissent associées à un risque nul de présence du moustique

en raison principalement du climat montagnard rude.

Il est intéressant de constater que les cartes des probabilités de présence issues des deux scénarios sont en adéquation avec les choix réalisés par l'EIRAD concernant l'emplacement des pièges déployés pour la surveillance de terrain, tous ces pièges ayant été placés dans des zones où le risque de présence d'*Ae. albopictus* que nous avons calculé est non nul. Dans le cadre d'un renforcement de cette surveillance, les cartes ainsi générées pourraient éventuellement servir de guide pour le choix stratégique des nouvelles zones à surveiller.

Ce travail constitue ainsi une première ébauche encourageante dans la modélisation spatiale à fine résolution des zones favorables à l'établissement d'*Ae. albopictus* en région Rhône-Alpes, tenant compte à la fois des déterminants météorologiques et environnementaux de sa présence. Ce modèle pourra par la suite être amélioré, par exemple en intégrant des effets saisonniers pour mieux prendre en compte le cycle biologique du moustique. Nos perspectives actuelles sont donc de concevoir un modèle plus complexe et plus précis à partir du travail présenté ici, que nous validerons par une analyse fine des statuts positif ou négatif des pièges pondoires. Ce nouveau modèle sera étendu à l'ensemble des huit départements de la région Rhône-Alpes.

---

#### BIBLIOGRAPHIE

---

Bonizzoni M., Gasperi G., Chen X., James A.A. - The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives. *Trends Parasitol.*, 2013, **29**, 460-468.

Caminade C., Medlock J.M., Ducheyne E., McIntyre K.M., Leach S., Baylis M., Morse A.P. - Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future

scenarios. *J. R. Soc. Interface*, 2012, **9**, 2708-2717.

Cardoso E. - Élaboration des cartes de probabilité d'installation d'*Aedes albopictus*, en région Rhône-Alpes. Mémoire de Master 1 Science du territoire. Université Joseph Fourier, Grenoble, 2013, 61 pages.

- Fischer D., Thomas S., Neteler M., Tjaden N., Beierkuhnlein C. - Climatic suitability of *Aedes albopictus* in Europe referring to climate change projections: comparison of mechanistic and correlative niche modelling approaches. *Euro Surveill.*, 2014, **19**, pii=20696.
- Herida M., Saura C. - Maladies Infectieuses. In : Surveillance épidémiologique. Astagneau P., Ancelle T. (Ed.), Lavoisier, Paris, 2011, 188.
- Institut de Veille Sanitaire (InVS). - Chikungunya et dengue : Données de la surveillance renforcée en France métropolitaine en 2014. [Internet]. InVS, St-Maurice, 2014. [Consulté le 3 février 2015]. Disponible au : <http://www.invs.sante.fr>
- Invasive Species Specialist Group (ISSG). - Ecology of *Aedes albopictus* [Internet]. [Consulté le 3 février 2015]. Disponible au : <http://www.issg.org>
- Medlock J.M., Hansford K.M., Schaffner F., Versteirt V., Hendrickx G., Zeller H., Van Bortel W. - A Review of the Invasive Mosquitoes in Europe: Ecology, Public Health Risks, and Control Options. *Vector Borne Zoonotic Dis.*, 2012, **12**, 435-447.
- Ministère de la Santé. – Le Chikungunya [Internet]. [Consulté le 3 février 2015]. Disponible au <http://www.sante.gouv.fr>.
- Neteler M., Roiz D., Rocchini D., Castellani C., Rizzoli A. - Terra and Aqua satellites track tiger mosquito invasion: modelling the potential distribution of *Aedes albopictus* in north-eastern Italy. *Int. J. Health Geogr.*, 2011, **10**, 49.
- Roiz D., Neteler M., Castellani C., Arnoldi D., Rizzoli A. - Climatic Factors Driving Invasion of the Tiger Mosquito (*Aedes albopictus*) into New Areas of Trentino, Northern Italy. *Plos One*, 2011, **6**, e14800.
- Schaffner F., Mathis A. - Dengue and dengue vectors in the WHO European region: past, present, and scenarios for the future. *Lancet Infect. Dis.*, 2014, **14**, 1271-1280.
- Straetemans M., on behalf of the ECDC consultation group on vector-related risk for chikungunya virus transmission in Europe. - Vector-related risk mapping of the introduction and establishment of *Aedes albopictus* in Europe. *Euro Surveill.*, 2008, **13**, pii=8040.
- Takumi K., Scholte E.J., Braks M., Reusken C., Avenell D., Medlock J.M. - Introduction, Scenarios for Establishment and Seasonal Activity of *Aedes albopictus* in The Netherlands. *Vector Borne Zoonotic Dis.*, 2009, **9**, 191-196.
- Waldock J., Chandra N. L., Lelieveld J., Proestos Y., Michael E., Christophides G., Parham P.E. - The role of environmental variables on *Aedes albopictus* biology and chikungunya epidemiology. *Pathog. Glob. Health*, 2013, **107**, 224-241.

### Bases de données

Institut National de l'Information Géographique et Forestière. – Fond de carte départemental GEOFLA®, 2013. Téléchargé le 13/01/2015. Accessible au : <http://professionnels.ign.fr/geofla>

Institut National de l'Information Géographique et Forestière. - Modèle Numérique de Terrain BD ALTI®, 2013. Téléchargé le 13/01/2015. Accessible au : <http://professionnels.ign.fr/bdalti>

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. – Base de données SIG CORINE Land Cover 2006 pour la région Rhône-Alpes. Téléchargé le 13/01/2015. Accessible au : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>

### Logiciels

Quantum GIS Development Team. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2013.

R Core Team - R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2013.



### Remerciements

Le travail rapporté dans ce papier est presque entièrement issu du mémoire de Master Science du Territoire d'Elodie Cardoso. Nous la remercions vivement pour son travail. Nous remercions également l'EIRAD pour le soutien financier du projet (ayant servi en particulier pour les gratifications des stages de master d'Elodie Cardoso et Oriane Moyne).