

La dengue rend folle la Nouvelle Calédonie : les autorités sanitaires se dotent d'un outil de prévision biométéorologique.

Prévision d'un indice biométéorologique du risque d'épidémie de dengue en Nouvelle Calédonie

Travail mené en 2010.

La Nouvelle-Calédonie prend le problème de la dengue très au sérieux. Le territoire est soumis à des épidémies de plus en plus importantes et fréquentes. La faute d'une part aux fortes croissances urbaines et migratoires qui favorisent la propagation de l'épidémie, et d'autre part à un climat calédonien qui semble particulièrement du goût des moustiques *Aedes*, vecteurs du virus.

Une affaire de climat, alors ? Les moustiques... Ceux que l'on croise dans le sud de la France métropolitaine ne perturbent que la quiétude de nos soirées estivales. Sous d'autres latitudes en revanche, leurs cousins arthropodes sont d'un autre acabit, et porteurs de graves maladies. La plus connue d'entre elles est sans doute le paludisme, mais une autre cause d'importants ravages : la dengue.

Il s'agit de l'arbovirose humaine (maladie virale transmise par un arthropode) la plus répandue dans le mon-

de, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Elle touche 50 à 100 millions de personnes chaque année, dans les régions urbaines des zones tropicales et subtropicales. La maladie, généralement sans gravité, peut être contractée sous des formes plus sévères, de type hémorragique, causant 25 000 décès par an. Cette maladie émergente est un véritable problème de santé publique à l'échelle mondiale.

Rappel des faits :

1883 : première épidémie de dengue en Nouvelle Calédonie

1997 : mise en place du réseau de surveillance entomologique de Calédonie

2002 : épidémie majeure en Polynésie Française (environ 33000 cas)

2003 : épidémie en Nouvelle Calédonie (environ 5800 cas)

2009 : épidémie majeure en Nouvelle Calédonie (environ 8500 cas)

2010 : épidémie aux Antilles (environ 85000 cas, 22 décès).

La dengue se transmet lorsqu'un moustique de type *Aedes* pique un sujet infecté. Après une période d'incubation du virus dans l'animal (quelques jours), celui-ci va contaminer les autres individus qu'il piquera. On peut citer dans la famille des *Aedes* l'*albopictus* (plus connu sous le nom de moustique tigre, parfois signalé sur la Côte d'Azur) et surtout le redoutable *Aedes aegypti* (figure 1). En Nouvelle-Calédonie, ce moustique est le seul vecteur des épidémies.

Les moyens de lutte sont limités puisqu'il n'existe aucun vaccin à ce jour, même si les recherches à ce sujet commencent à se concrétiser. Tout repose donc sur

l'élimination des moustiques et de leurs larves (démoustication, suppression des récipients potentiels), ainsi que sur la vigilance de la population (isolation des malades, protection contre les piqûres). Gérer une épidémie est donc un travail de longue haleine, coûteux et délicat à anticiper.

Le vaccin n'est pas le seul outil à faire défaut : une analyse approfondie des mécanismes conditionnant l'arrivée d'une épidémie manque cruellement. L'état actuel des connaissances semble suggérer des relations étroites entre dynamique des épidémies et conditions climatiques. Une humidité importante prolonge la vie des moustiques tandis que les précipitations leur fournissent des sites de ponte. Quant à la température, il s'agit d'une variable clé puisqu'elle conditionne le métabolisme de l'insecte (cycles de reproduction raccourcis et agressivité du moustique

accrue dans certaines gammes de température) ainsi que celui du virus (période d'incubation plus courte). C'est un fait, il existe décidément une infinité de problèmes pour lesquels la météo a des répercussions insoupçonnées !

En Nouvelle-Calédonie, c'est justement lors de la saison chaude et humide (de novembre à avril) que sévissent les épidémies. Ce magnifique archipel du Pacifique, situé à 1.500 km à l'est de l'Australie (figure 2), est hélas régulièrement confronté à une flambée du nombre de cas dans la capitale, Nouméa, initialement importés des continents et archipels voisins. L'idée d'y étudier un possible lien entre les variables climatiques et les épidémies de dengue est donc séduisante. Nous avons ainsi tenté de mettre en place un modèle statistique de prévision du risque épidémique de dengue en Nouvelle-Calédonie basé sur les observations et prévisions

L'*Aedes aegypti* :

Ce super moustique est présent sur la majorité des territoires où la température hivernale moyenne se maintient au dessus des 10° C. Discret, il vit dans et autour des maisons et a une préférence avérée pour le sang humain, dont il s'abreuve de jour comme de nuit. Ce repas précède la ponte de centaine d'œufs dans des petits volumes d'eau propre. Feuilles, pneus, soucoupes et autres cavités diverses sont autant de gîtes larvaires potentiels. Les œufs peuvent même résister à de longues périodes de sécheresse avant d'éclore. Après quatre semaines à l'état de larve, le moustique est adulte. Si le taux de mortalité est élevé pendant les premiers jours de vie, sa longévité peut aller jusqu'à un mois. Il s'est insensibilisé à de nombreux insecticides grâce à son incroyable capacité à muter.



de différentes variables climatiques. Le «Caillou», comme on surnomme familièrement la Nouvelle-Calédonie, dispose pour cela de deux avantages. Tout d'abord, le climat calédonien est très lié au phénomène «El Niño», ce qui permet d'utiliser les paramètres caractéristiques de ce dernier à des fins de prévision saisonnière. Ensuite, Nouméa dispose d'une station météorologique de qualité avec une profondeur de données suffisante pour une telle étude. Des raisonnements semblables avaient déjà permis, grâce à l'utilisation de données de prévision saisonnière, de mettre en place des modèles statistiques appliqués à d'autres domaines (par exemple la prévision du risque saisonnier de feux de forêts).

Le phénomène «El Niño»

L'ENSO (El Niño Southern Oscillation) désigne les variations climatiques de l'Oscillation Australe. L'origine de cette dernière est le mouvement des eaux chaudes dans la bande équatoriale du Pacifique Ouest. L'impact de l'ENSO apparaît sur les précipitations et les températures (notamment les minimales). On distingue les phases neutres, chaudes (El Niño), et froides (La Niña). Les effets sur le climat calédonien entre une phase El Niño et une phase La Niña sont inverses. Pendant El Niño, il fait plus sec et plus frais; pendant la phase La Niña, il fait plus chaud, et les précipitations sont plus importantes que la normale pendant l'été austral. Pour la prévision saisonnière de ces épisodes, on utilise notamment comme paramètres pertinents la température de surface de mer et la pression atmosphérique.

Cette étude vise donc le double objectif de fournir d'une part un outil de prévision de risque, à destination des organismes de lutte, et d'autre part d'étoffer la compréhension de la dynamique des épidémies dans le cas particulier des territoires insulaires du Pacifique (caractérisés par un climat océanique et une dengue non endémique mais importée). Elle se positionne dans la continuité d'un projet de recherche calédonien lancé en 2009, qui réunit plusieurs organismes (IRD, Institut Pasteur, Météo-France, DASS). Une première étude avait permis d'obtenir un modèle explicatif encourageant. Comme il utilisait des paramètres observés et mesurés, il était inutilisable à des fins de prévision.

Notre objectif était de confirmer et d'améliorer ce modèle explicatif puis de développer un modèle prédictif opérationnel, construit à partir de paramètres prévus.

Avant de s'intéresser à la modélisation, des travaux préliminaires étaient nécessaires. D'abord, il a fallu qualifier correctement le phénomène étudié. En collaboration avec l'Institut Pasteur, une définition de l'année épidémique basée sur le taux d'incidence (nombre de cas pour 10 000 habitants) a permis de classer les 37 années de données de cas de dengue en Nouvelle-Calédonie. Ces années d'épidémies ont été centrées sur la saison chaude (allant d'août à juillet) afin de bien cerner la période propice à l'apparition de l'épidémie.

Il s'agissait ensuite de récolter et trier un maximum de données sur les mêmes périodes. Par rapport au modèle antérieur déjà évoqué, de nombreux paramètres supplémentaires ont été intégrés. En plus du trio température-précipitations-humidité, nous avons ajouté les mesures d'intensité de vent (en raison d'une possible influence sur les déplacements du moustique), d'évapotranspiration du sol (en abrégé ETP : il s'agit d'un paramètre utilisé notamment par les agriculteurs pour représenter l'état de sécheresse du sol) et de bilan hydrique. D'autres paramètres, fournis en points de grille, sont également utilisés (réanalyses de modèles météorologiques, données ENSO, prévisions saisonnières probabilistes).

Nous avons tenté de décupler la visibilité sur chacun de ces paramètres en considérant différents pas de temps (mensuel et trimestriel) et différents types de données. Par exemple, la température est représentée non pas uniquement par la température moyenne, mais aussi par la température minimale, maximale et le nombre de jours où ces paramètres dépassent différents seuils. L'utilisation de paramètres entomologiques (indices de population de moustiques et/ou de larves) a également été envisagée avant d'être abandonnée, en raison d'une profondeur de données trop faible. On obtient ainsi tout de même 4 000 paramètres. Parmi ceux-là se cachent peut-être les variables clefs du phénomène épidémique, mais encore faut-il les mettre en évidence !

Les premiers tests statistiques (Student et Spearman) effectués permettent de retenir les variables les plus pertinentes. Le test de Student permet d'établir si des moyennes sont significativement différentes, d'un point de vue statistique. On peut déterminer si, par exemple, la moyenne des précipitations en février sur les 37 années d'étude a été plus importante pendant les années d'épidémies ou d'accalmies, auquel cas la donnée «précipitations en février» est à conserver. Cela permet de dégager à la fois les paramètres les plus pertinents mais aussi les périodes de l'année les plus déterminantes. Le test de Spearman est un test de corrélation, c'est à dire qu'il évalue le lien potentiel entre le paramètre étudié et la survenue d'épidémie.

Les variables mises en évidence par cette série de tests apportent de précieuses informations quant à la compréhension des épidémies, faisant apparaître comme phases clés les mois de novembre à février. Si les liens espérés avec certaines variables (tels les précipitations, l'humidité ou les indices ENSO) se sont révélés décevants ou non interprétables pour notre étude, la prépondérance des paramètres de températures est flagrante : il s'avère clairement que des températures (minimales et maximales) élevées favorisent l'apparition d'épidémies. Le nombre de jours par mois où la température minimale dépasse les 22 °C, celui où la température maximale atteint les 32 °C font partie des paramètres qui donnent les meilleures corrélations. Ces seuils ont donc été communiqués à l'Institut Pasteur et feront l'objet d'études entomologiques qui pourraient permettre de mieux comprendre la dynamique des épidémies.

La modélisation statistique utilisée consiste à confronter nos 37 années de données aux observations d'épidémies pour mettre en place un apprentissage supervisé. C'est une méthode de calcul, basée sur les propriétés de la théorie des probabilités, qui compare les valeurs des variables pertinentes (les prédicteurs) aux observations d'épidémies et leur attribue à chacune un poids (coefficient). Ces coefficients peuvent alors être affectés à un nouveau jeu de données (l'année à venir par exemple) pour obtenir une probabilité d'observer une épidémie, probabilité qui est notre indice de risque.

Pour visualiser immédiatement les capacités du modèle, sans attendre des observations futures, nous avons effectué une validation croisée, qui consiste, de façon somme toute logique, à exclure des données servant à l'apprentissage celles de l'année sur laquelle est effectué le test. La qualité du modèle se révèle lorsqu'on compare alors les prévisions de notre modèle aux épidémies réellement observées. Afin de juger objectivement des résultats d'un modèle, nous avons utilisé des courbes ROC (Relative Operating Characteristics) qui permettent de visualiser les taux de bonnes détections et les fausses alarmes attendus compte tenu des divers seuils de probabilité utilisés pour prévoir l'événement. Ainsi la prévision est d'autant meilleure que l'aire sous la courbe est proche de 1. Elles sont utilisées notamment en médecine pour tester l'efficacité d'un test de dépistage.

Ces éléments vont nous permettre de construire notre modèle. Il faut se conformer à certaines contraintes et hypothèses pour obtenir un modèle dont les prévisions ne seront pas farfelues. Le principal «réglage» de notre modélisation, justement, consiste à choisir les prédicteurs du modèle. En appliquant cette méthodologie et en l'éprouvant par la validation croisée et les courbes de ROC, nous obtenons enfin notre jeu de prédicteurs idéal. Là encore on a mis en évidence la prépondérance des paramètres de température en saison chaude.

Les performances du nouveau modèle explicatif se sont avérées être bien meilleures que celles du modèle initial et valident donc la démarche utilisée. Un modèle opérationnel prédictif a également été mis à disposition des autorités sanitaires. Les résultats de la validation croisée du modèle explicatif sont présentés sur la figure 3 alors que ceux de la validation du modèle prédictif, obtenus avec les données incluant le mois d'octobre, apparaissent sur la figure 4. Les courbes ROC correspondant à ces modèles sont fournies sur les figures 5 et 6, respectivement.

Le modèle opérationnel prédictif pourra être amélioré grâce à l'apport de nouvelles variables, d'autres critères de sélection et de futures années de données. Cette étude ouvre également la porte à l'extension de ces méthodes à d'autres îles du Pacifique et à d'autres pathologies similaires (paludisme, chikungunya). Ceci est de bonne augure, étant donné que l'OMS s'attend à ce que le réchauffement climatique favorise la conquête par la dengue de nouveaux territoires.

BÉRANGÈRE ARNOULD ET CÉDRIC BAILLIF

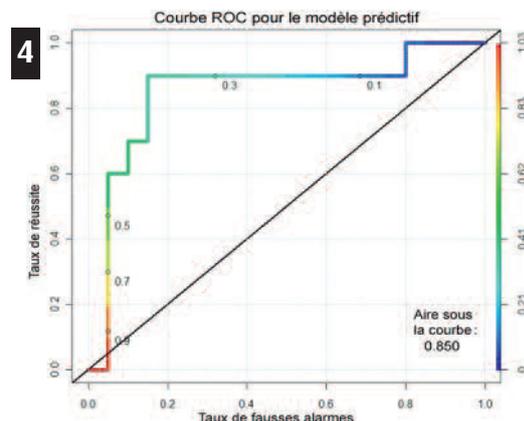
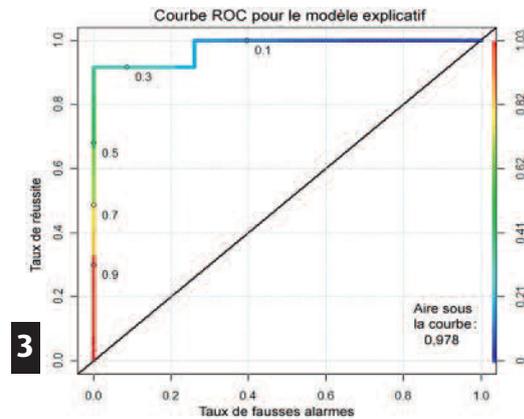
Fig. 2 : Le Territoire de Nouvelle-Calédonie.

Fig. 3 : Validation croisée du modèle explicatif.

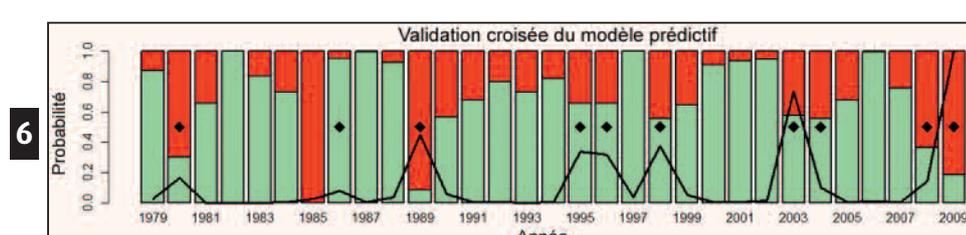
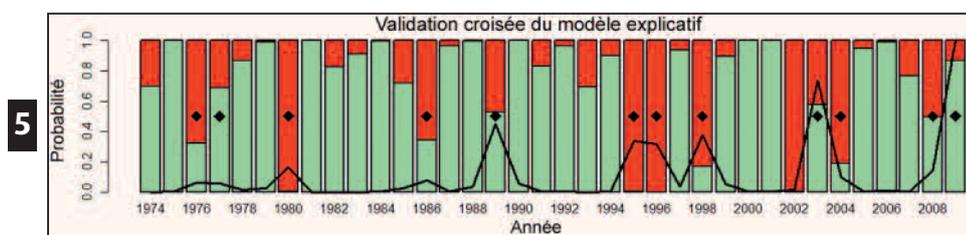
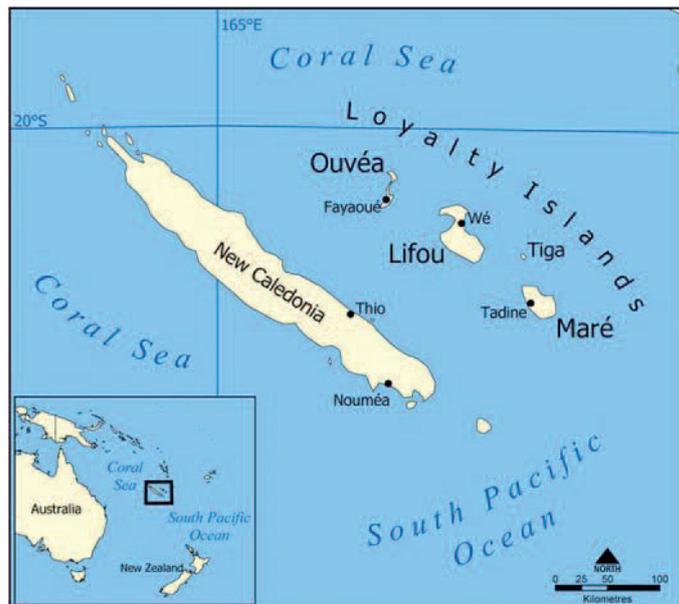
Fig. 4 : Validation croisée du modèle prédictif.

Fig. 5 : Courbe ROC obtenue avec le modèle explicatif (la probabilité de survenue de l'épidémie est en rouge et la courbe en noir représente son taux d'incidence).

Fig. 6 : Courbe ROC obtenue avec le modèle prédictif.



2



5

6