

CHAPITRE 11

L'apport des nouvelles technologies de l'information à l'amélioration de la surveillance et du contrôle de la dengue

Philippe BARBAZAN

Introduction

La dengue est un problème de santé publique dans l'ensemble de la région caraïbe depuis le début des années 1980. Dans les départements français d'Amérique (DFA), une forme sévère de la dengue, la dengue hémorragique (DH), est apparue en 1991, 1994 et 1995 respectivement en Guyane, Guadeloupe et Martinique. Les stratégies de prévention et de lutte utilisées dans les DFA (« The only method for the prevention and control of the disease is vector control », WHO, 1991¹) sont similaires à celles appliquées dans les autres régions du monde où la transmission de la dengue est endémique ou épidémique. Ces stratégies n'ont pu empêcher ni l'expansion de la maladie dans la plupart des pays de la région ni le développement d'épidémies.

L'amélioration du contrôle de la diffusion de la dengue passe par une plus grande précision de l'information sur les caractéristiques de l'infection, les populations humaines, les périodes et les zones à risque, ainsi que par une rapidité accrue du transfert de cette information.

L'optimisation des méthodes actuelles de surveillance et de lutte et le développement de nouvelles approches se révèlent nécessaires. Le développement de la micro-informatique et des réseaux de communication met à la disposition des acteurs de la lutte contre la dengue de nouvelles données (en grand nombre et plus rapidement) en même temps que de nouveaux outils pour les traiter, les stocker et les transférer. Il s'agit principalement de tests statistiques spécifiques, de logiciels de gestion des bases de données, de données satellitaires, de systèmes d'information géographiques (SIG), de l'utilisation du réseau Internet. Par ailleurs, les nouveaux outils de la biologie moléculaire permettent une connaissance plus rapide et spécifique des sérotypes et des génotypes des souches de virus circulants, et ils ouvrent des champs nouveaux à la recherche.

Amélioration des outils de la surveillance

Cette amélioration est fonction de la situation existante, telle que décrite par Chaud et Bateau en 1998 (Chaud, Bateau, 1998), des résultats attendus et des moyens disponibles. Le but principal assigné à la surveillance est de détecter précocement, si possible dans leur totalité, les cas de dengue clinique, d'en identifier les variations significatives (pour l'essentiel, les accroissements de l'incidence ou les modifications de la sévérité de la FD), puis d'activer les dispositifs de lutte.

¹ Voir plus particulièrement WHO, 2001.

Les types de données nécessaires à la surveillance

Données issues de la surveillance épidémiologique et de la surveillance entomologique. Dans les DFA, la dengue est surveillée et décrite pour l'essentiel à partir de deux systèmes : le suivi des sérologies et les rapports des médecins sentinelles. Ces deux systèmes d'identification des cas de dengue apportent des informations complémentaires : les médecins sentinelles permettent une identification rapide, à l'échelle des communes, de variations de l'ensemble des indicateurs classiques de la maladie : incidences, prévalence, gravité, mortalité. Les sérologies ne sont pas demandées systématiquement ; elles sont accompagnées de fiches décrivant le consultant (âge, adresse, dates du début de la maladie), permettant de valider l'information en provenance des médecins sentinelles et d'apporter plus de précision dans la localisation (lieu d'habitation) des patients. Les données entomologiques sont récoltées quotidiennement, mais concernent chaque jour un nombre limité de maisons. Chaque quartier est surveillé d'une à quatre fois par an, selon les départements.

Données non épidémiologiques, démographiques ou environnementales. Leur analyse doit permettre d'attribuer des niveaux de risque endémo-épidémique à différentes situations géographiques.

Validité de l'information des réseaux des médecins sentinelles et des laboratoires

Il est important de noter que les données épidémiologiques et entomologiques ne sont pas le résultat d'enquêtes spécifiquement élaborées pour une analyse statistique, avec par exemple des choix randomisés de patients, de médecins ou d'habitations. Ainsi les médecins sentinelles, les demandes de sérologies ou les habitations visitées dans le cadre de la surveillance des gîtes larvaires ne sont-ils représentatifs ni statistiquement ni géographiquement de la situation de la dengue. L'exploitation de ces données se heurte à plusieurs problèmes, déclinés ci-après.

Le diagnostic clinique ne peut être de certitude que s'il est confirmé par un diagnostic biologique. En Martinique, plus de 50 % des demandes de sérologies pour la dengue ne sont pas confirmées (tableau 1).

Sérologies demandées (1999-2001)	6289
Résultats positifs	3066
Résultats négatifs	2939
Autres : douteux, intermédiaires, information erronée	284

Tableau 1. Proportion de résultats positifs pour les sérologies demandées par les médecins de Martinique pour des cas cliniques de dengue.

Le recueil hebdomadaire des données des médecins sentinelles est effectué seulement en fin de semaine par contact téléphonique par les services des DDASS. Ces données sont parfois annoncées « de mémoire », ajoutant un risque d'erreurs de transcription à celui dû à la transmission téléphonique.

Le temps de réponse. Les déclarations des cas cliniques de dengue des médecins sentinelles sont transmises à la fin de chaque semaine. En revanche, les résultats des sérologies sont connus avec un délai de 10 à 20 jours, qui peut même atteindre plusieurs semaines.

L'adressage des patients est souvent insuffisant pour localiser précisément leur lieu d'habitation (Chaud, Blateau, 1998). Les adresses des patients peuvent référer à divers types d'unités spatiales (rues, quartiers, communes) avec des dénominations administratives ou coutumières, ce qui constitue un obstacle sérieux à la mise en place d'une informatisation simple et automatisée des données (tableau 2).

Chemin PELAGE
XX Rue ETIENNE-SICOT
ACAJOU
Demander MME Dxxxxx XXXX au LDH
Lot. DESCHAMPS

Tableau 2. Types d'adresses rencontrés dans les fichiers « Médecins sentinelles » et « Sérologies » de la Martinique.

En Martinique, pendant la période 1999-2001, sur les 3066 dossiers de sérologies positives, quatre-vingts ne comprenaient pas le nom de la commune et 558 ne portaient pas de nom de rue ou de quartier (source : DDASS-Martinique). Le même problème se pose en Guyane et en Guadeloupe (Yébakima, comm. pers.).

Les données des services de démoustication

La surveillance entomologique est fondée sur le suivi et la destruction des gîtes larvaires potentiels lors de visites domiciliaires. Une part importante de l'information de la population portant sur la destruction des gîtes larvaires est donnée lors de ces visites par les agents des services de démoustication, qui jouent donc un rôle essentiel dans la prévention. À partir de cette surveillance (pour la Guyane et pour la Guadeloupe) ou à partir des relevés spécifiques (pour la Martinique) sont établis des indices entomologiques, établissant une corrélation entre le nombre de gîtes potentiels ou positifs et le nombre d'habitants ou d'habitations. En Martinique, la prise en compte de la productivité moyenne des différentes catégories de gîtes (indice pondéré Yébakima, 1991) permet une meilleure approximation dans l'évaluation des densités probables d'adultes. Les activités de lutte entreprises, destruction de gîtes et utilisation d'insecticides, sont consignées.

Les pratiques de la lutte antivectorielle dans les DFA ont fait l'objet d'expertises techniques confiées à l'IRD en 1997 (Guadeloupe et Martinique, P. Guillet, 1997) et en 2002 (Guyane, P. Carnevale, comm. pers.). En période de transmission endémique à faible incidence, la lutte a une composante préventive qui se confond avec la surveillance entomologique. En période épidémique, des pulvérisations d'insecticides adulticides sont réalisées dans les zones qui sont le plus touchées ; elles visent à interrompre la transmission et à éviter la propagation de l'épidémie.

L'efficacité des actions de prévention et de lutte antivectorielle est très liée, non seulement à la qualité des intervenants, mais aussi à la définition des périodes et des zones où elles doivent être appliquées et /ou renforcées. En particulier, l'amélioration du contrôle passe par une plus grande précision de l'information définissant les périodes et les zones à risque, et par une plus grande rapidité dans le transfert de l'information recueillie par les agents de la démoustication lors de leurs visites domiciliaires. L'utilisation de l'information entomologique définie par les indices classiques (indices larvaires, taux d'agressivité...) est insuffisante comme signal d'alerte de la survenue d'une épidémie. En effet, la relation densité de vecteurs-niveau d'incidence n'est pas quantitativement établie. De plus, les activités de prévention et de lutte actuellement appliquées ne font pas l'objet d'une évaluation spécifique en termes de réduction de la transmission.

Autres données épidémiologiques

Données virologiques

L'identification du virus et sa caractérisation, rarement effectuées, ne peuvent constituer seules un outil dans la surveillance globale de l'incidence de la dengue. Ces informations sont cependant extrêmement importantes lorsqu'on les étudie en tenant compte de la circulation antérieure de sérotypes responsables d'épidémies locales dans les DFA ou dans la région Caraïbe. Elles permettent alors de localiser l'origine spatiale des épidémies, de prévoir l'émergence de souches virulentes dans les DFA, de déterminer l'immunité relative des populations, au niveau communal, vis-à-vis des différents sérotypes du virus de la dengue, etc. L'ensemble de l'information sur les sérotypes ayant circulé dans les DFA doit donc être centralisé et analysé.

Données cliniques

Syndromes cliniques graves. La réduction de la mortalité implique la mise en évidence précoce de changements épidémiologiques, comme l'irruption d'un nouveau sérotype ou d'une souche de pathogénicité accrue, en privilégiant principalement les informations provenant de l'ensemble de la région Caraïbe. En particulier, l'identification des cas de dengue hémorragique est très importante. Selon certains auteurs, en zone endémique, la dengue hémorragique survient très généralement chez les personnes infectées par un virus de la dengue, mais possédant des anticorps hétérologues dus à une infection antérieure par un autre sérotype, ou chez les enfants de moins de six mois, nés d'une mère porteuse d'anticorps hétérologues (Halstead *et al.*, 1970). Malgré leur relative faible fréquence (de l'ordre de 1 % des cas de dengue), la déclaration de cas de dengue hémorragique est un signal d'alerte pouvant exprimer la circulation de plusieurs sérotypes dans une même zone. Une pathogénicité accrue peut également être associée à l'arrivée de souches virales (génotypes) virulentes, ou bien à la variabilité génétique des populations d'hôtes.

L'âge des patients est également important pour la surveillance de l'apparition de formes graves de dengue : dans de nombreuses zones endémiques d'Asie du Sud-Est, on a observé une plus grande proportion de cas de dengue hémorragique dans les classes jeunes, considérées comme des populations à risque. De plus, une variation de l'âge moyen des patients peut signaler le retour (figure 1) ou l'émergence d'un nouveau sérotype (figure 2).

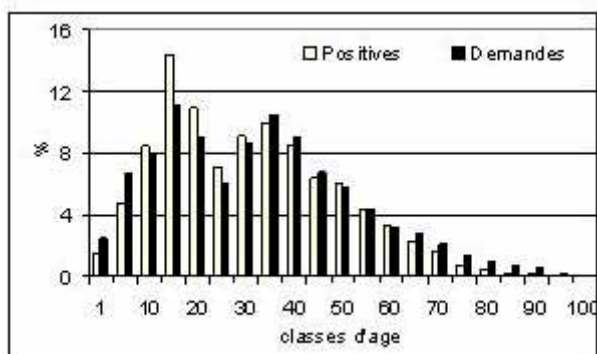


Figure 1. Distribution des classes d'âge des patients confirmés (sérologies positives pour les virus de la dengue) en Martinique entre 1997 et 2001.

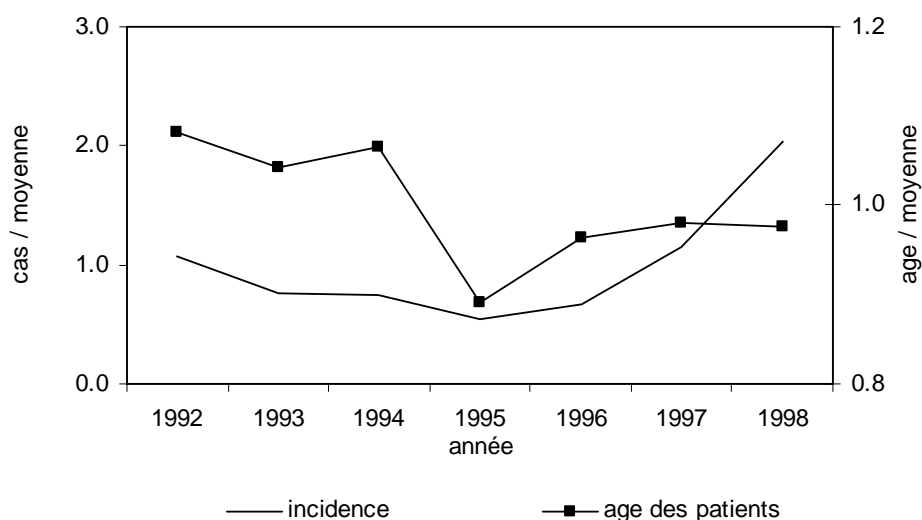


Figure 2. Incidence de la DHF et variations de l'âge moyen des patients en période de transmission endémique (1992-1996) et épidémique (1997-1998), province de Nakhon Pathom, Thaïlande.

Dans la figure 2, le premier axe des ordonnées (âge) donne la variation de l'âge moyen des cas d'une année par rapport à l'âge moyen de l'ensemble de la période (1992-1998). Le deuxième axe des ordonnées (incidence)

donne la variation de l'incidence de chaque année par rapport à l'incidence moyenne de l'ensemble de la période (1992-1998).

À la figure 1, le creux observé sur la courbe de répartition de l'incidence de la dengue en Martinique, au niveau de la classe d'âge des 20 ans, est à rapprocher du fait que le sérotype 3 majoritaire lors de l'épidémie de 2001 n'avait pas été isolé en Martinique depuis 20 ans. À la figure 2, la transmission endémique constante du ou des mêmes sérotypes de 1992 à 1996 dans une province de Thaïlande est associée à une baisse de l'âge moyen des patients : les classes âgées étant progressivement immunisées, les nouveaux cas interviennent de façon relativement plus fréquente chez les très jeunes. L'épidémie de 1997-1998 liée à l'augmentation de l'incidence d'un sérotype jusque-là moins fréquent s'est accompagnée d'une élévation de l'âge moyen des patients montrant que les classes plus âgées, au moins celles qui sont nées depuis la précédente circulation de ce sérotype, étaient de nouveau recrutées dans la transmission.

Transmission silencieuse. Une grande proportion des cas d'infection par des virus de la dengue (80 à 90 %) est asymptomatique ou de type pseudo-grippal bénin (Chen *et al.*, 1996). Du point de vue conceptuel, la surveillance de la maladie doit donc être distinguée de la surveillance de la transmission virale. En Thaïlande, les niveaux de prévalence en anticorps observés dans la population adulte sont très élevés, supérieurs à 90 %. Le maintien de cette forte prévalence en anticorps implique une incidence annuelle de l'ordre de 5 à 10 %, soit 2 à 5 millions d'infections par des virus de la dengue chaque année. Cette valeur doit être comparée à l'incidence annuelle déclarée de la dengue hémorragique qui est de l'ordre de 50 à 100 pour 100 000 habitants en période endémique et pouvant atteindre 300 pour 100 000 en période épidémique, soit seulement de 0,05 à 0,3 % de la population totale.

Il est probable que dans les DFA aussi une partie importante des cas de dengue n'est pas diagnostiquée. Le système de surveillance épidémiologique pourrait permettre, par le biais d'enquêtes sérologiques raisonnées, d'évaluer quantitativement cette transmission silencieuse.

Divers indicateurs biologiques peuvent également être utilisés pour la mise en évidence précoce de cas de dengue : thrombopénies, leucopénies, NFS, gouttes épaisses négatives en *Plasmodium* (méthode développée en Guyane).

Amélioration du recueil de l'information

L'automatisation du recueil de l'information évite une partie des erreurs de transcription. Dans un premier temps, on peut procéder à partir de fiches types (données saisies dans un tableur du type Excel[®], ou une base de données du type ACCESS[®]) à une saisie simplifiée de l'ensemble des informations nécessaires. En particulier, la case « adresse » peut être ainsi reliée à une liste exhaustive des noms de rues et de quartiers (bases de données relationnelles). L'automatisation du transfert hebdomadaire des résultats des médecins sentinelles, *via* le réseau Internet ou par télécopie, évitera les risques d'erreurs mentionnés au chapitre précédent.

Un adressage complet des données acquises (et de celles à venir) nécessite de recourir à une base de données qui intègre les coordonnées géographiques de toutes les habitations et les noms de tous leurs habitants. Une partie de l'information sur l'adresse des familles peut être obtenue à partir de l'annuaire téléphonique. En pratique, dans un premier temps, le plan cadastral ou les cartes des différentes communes peuvent être numérisés et utilisés par un logiciel spécifique (cf. ci-après). Un agent connaissant bien chaque commune peut ensuite localiser les cas déclarés par les médecins sentinelles, les demandes de sérologies et les fiches entomologiques. Le nombre d'équipes de surveillance entomologique étant réduit, il est possible d'équiper chacune d'elles avec un GPS (cf. ci après). Chaque maison visitée est ainsi systématiquement localisée, et les variables mesurées, entomologiques (indices larvaires, traitements insecticides), épidémiologiques, ou environnementales, sont ainsi automatiquement associées aux mêmes entités spatiales. De nombreux logiciels permettent de prendre en compte cette approche spatiale (ArcView[®], MapINFO[®], Savane[®]).

Développement des bases de données : une importante limitation à la réalisation de bases de données portant sur des individus est d'ordre légal ; ce type de base de données croisant plusieurs types d'informations, en particulier médicales, relève des lois sur les libertés individuelles, bien que

des dérogations soient envisageables². L'agrégation au moins partielle des cas (par rue ou par quartier) permettrait de préserver la confidentialité des informations tout en conservant une échelle d'étude suffisante pour l'analyse.

Analyses temporelles de l'information épidémiologique

Le traitement de l'information épidémiologique vise à mettre en évidence des modifications quantitatives intervenant dans les caractéristiques spatiales, temporelles, cliniques, de la maladie. Les méthodes de traitement ont donc à la fois une dimension dans le temps et dans l'espace, impliquant des types d'analyse statistique adaptés.

La première application du traitement statistique des données d'incidence est l'identification de changements significatifs dans le temps. Une épidémie est ainsi définie comme une augmentation significative (« anormale », c'est-à-dire sortant des limites des variations saisonnières habituellement observées) du nombre de cas par unité de temps dans un lieu donné. Plusieurs méthodes utilisant les différents types de données temporelles fournies par les systèmes de surveillance peuvent être envisagées.

Variations significatives du nombre de cas observés mensuellement, par rapport au nombre attendu. En Thaïlande, l'analyse rétrospective des données d'incidence de chacune des 73 provinces pendant une période de 18 ans a permis d'établir une moyenne, le « coefficient saisonnier », pour chacun des mois de l'année. Des variations statistiquement significatives (un écart type au-dessus du coefficient saisonnier) pendant deux mois consécutifs dans une même province apparaissent comme le signal d'une épidémie dans plus de 70 % des situations (figure 3), quatre à six mois avant le pic (Barbazan *et al.*, 2002). Cette méthode fonctionne surtout comme un système d'« alerte » destiné à attirer l'attention des responsables de la santé publique sur des zones précises où l'incidence de la maladie est effectivement en forte augmentation et où des campagnes de lutte préventives auront un meilleur rendement.

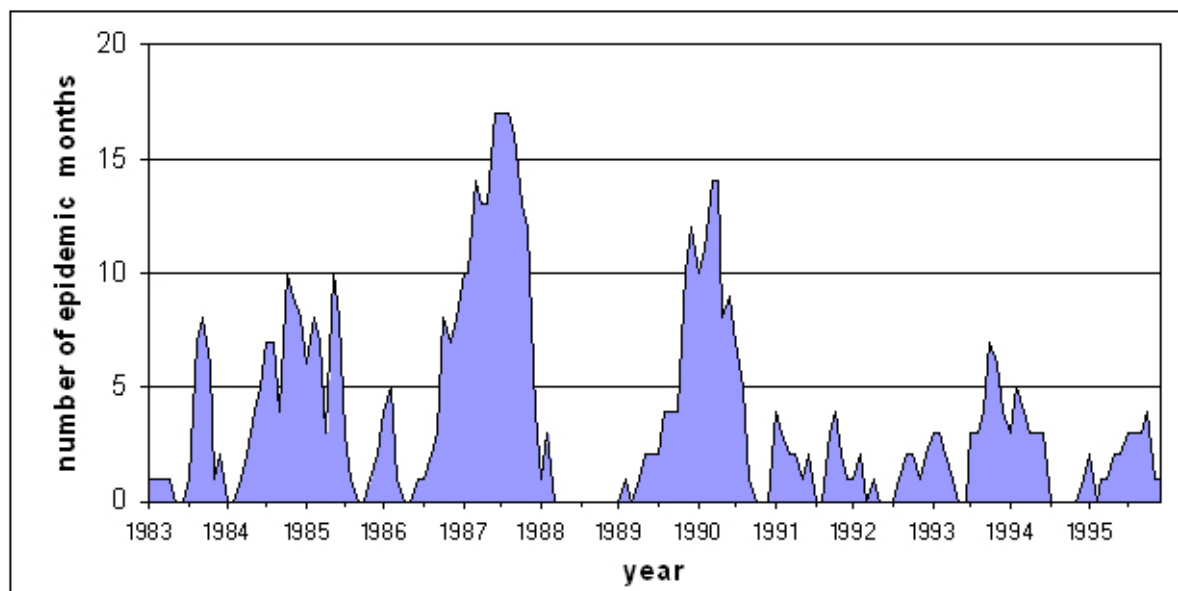


Figure 3. Distribution des périodes épidémiques parmi les 73 provinces de Thaïlande, 1983-1995.

² <http://www.cnil.fr/textes/index.htm> / décret n° 78-774 du 17 juillet 1978 pris pour l'application des chapitres I^{er} à IV et VII de la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (*Journal officiel* du 23 juillet 1978), notamment : CHAPITRE III. Formalités préalables propres à la mise en œuvre de traitements automatisés d'informations nominatives ayant pour fin la recherche dans le domaine de la santé (introduit par décret n° 95-682 du 9 mai 1995, article 2). CHAPITRE IV. Formalités préalables à la mise en œuvre de traitements de données personnelles de santé à des fins d'évaluation ou d'analyse statistique des pratiques et des activités de soins et de prévention. (modifié par le décret n° 99-919 du 27 octobre 1999, article 2).

À Porto Rico, le « Center for Disease Control and Prevention » a mis en place un système similaire de surveillance des variations d'incidence de la dengue, utilisant des fluctuations significatives de plusieurs types d'indicateurs, tels que le nombre de consultations hospitalières.

D'autres méthodes statistiques classiques peuvent s'appliquer aux différentes variables épidémiologiques et entomologiques et permettre de procéder à une identification très précoce de changements significatifs : la loi de Poisson par exemple peut mettre en évidence des événements rares, comme les variations de la durée moyenne entre deux sérologies positives... L'échelle à laquelle les systèmes de surveillance sont réalisés implique cependant des limitations dans la finesse de l'analyse. Un aéroport ou un port peuvent être le lieu privilégié d'introduction de nouveaux sérotypes ; une école est un lieu à risque de survenue de cas graves ; mais la mise en évidence de cette émergence nécessite une finesse d'analyse qui ne peut être atteinte avec les types de données épidémiologiques actuellement disponibles dans les DFA. Compte tenu de l'échelle à laquelle ces données sont accessibles (la commune), une augmentation d'incidence au niveau d'une population locale (par exemple, celle des élèves) ne peut être décelée statistiquement et risque de ne pas apparaître si l'incidence au niveau de la commune n'augmente pas de façon significative. Il est donc nécessaire que les zones comprenant des activités à risque soient identifiées géographiquement et soient l'objet d'un suivi particulier, par un médecin sentinelle. La transmission sur le lieu de travail, ou à l'école, étant très probable du fait de l'agressivité diurne d'*Ae. aegypti*, l'analyse des données épidémiologiques devra aussi prendre en compte les activités professionnelles.

Analyse spatiale

Les analyses temporelles nécessitent des séries homogènes portant sur de longues périodes, qui sont souvent rares et difficiles à constituer. Par ailleurs, elles ne prennent en compte que des données ponctuelles, l'incidence dans un village par exemple, alors que la transmission est surtout dépendante des caractéristiques géographiques de l'espace d'étude : densité de l'habitat, climat, altitude, type d'agriculture. De même, des zones mitoyennes présentent généralement des environnements similaires (*a priori* plus similaires que des zones éloignées) et les phénomènes qui se développent dans une zone ont une forte probabilité de se développer ultérieurement dans les zones voisines (contagion), fournissant ainsi une possibilité supplémentaire d'anticiper des variations temporelles. Des entités présentant un faciès épidémiologique caractéristique, par exemple le niveau relatif de l'incidence en saison sèche et en saison pluvieuse, peuvent être étudiées de façon approfondie, et caractérisées géographiquement par leur type d'environnement, leur type d'urbanisation ou des facteurs socioculturels ; la présence d'entités similaires peut ensuite être recherchée dans l'ensemble de la zone étudiée, un risque similaire pouvant ainsi leur être attribué.

Plus généralement, les variables utilisées pour la description de l'incidence présentent des fluctuations dans l'espace, en fonction des regroupements de cas, de voies préférentielles de dispersion des vecteurs, des types d'environnements à risque, etc. L'analyse spatiale, appliquée à la surveillance de la dengue, vise à mettre en évidence les facteurs à l'origine de cette hétérogénéité spatiale et à définir des indicateurs pour la décrire et l'utiliser pour la prévision des variations d'incidence.

Hétérogénéité de l'espace de la transmission

Dans une population vierge de tout contact avec un virus de la dengue, une première source d'hétérogénéité est la répartition spatiale des individus, qui présente de grandes variations quantitatives. Dans les trois DFA, la densité du bâti varie de plus de 50 % dans les grandes agglomérations, telles que Cayenne, Fort-de-France, Pointe-à-Pitre, à moins de 5 % dans des petites communes de l'intérieur. Ces variations sont aussi qualitatives : les zones administratives, résidentielles, aéroportuaires et portuaires constituent des environnements très différents. Pour la Guyane, l'existence des zones frontalières avec le Brésil et le Surinam constitue un facteur supplémentaire d'hétérogénéité.

L'introduction d'un sérotype entraîne, de par le lieu même où elle intervient, une deuxième source d'hétérogénéité.

La propagation du virus dans la population va ensuite dépendre de la distribution des habitants et de la distribution des vecteurs, également très variables. En Martinique, en 2001, dans la commune du Lamentin, l'indice de Breteau, qui mesure le nombre de gîtes larvaires positifs pour *Ae. aegypti* pour 100 habitations, variait de 6,9 à Long Pré à 235,3 à Ressource. Des variations similaires sont également observées en Guadeloupe et en Guyane (Yébakima, comm. pers).

La transmission des virus de la dengue va générer une source supplémentaire d'hétérogénéité, due à la distribution différentielle de l'immunité acquise dans la population.

Les DFA sont à ce stade où le terrain de la transmission est formé de la superposition de plusieurs mosaïques : celle des différents niveaux de densité de la population humaine susceptible, celle des densités du vecteur, celle de la localisation des quatre sérotypes (Den-1, Den-2 et Den-3 circulent actuellement dans les trois DFA)... L'analyse des variables décrivant ces différents niveaux d'information a pour finalité la définition de zones à risque.

Principaux outils de l'épidémiologie spatiale

Système d'information géographique (SIG). C'est un logiciel permettant l'acquisition, le stockage et l'analyse de données spatialisées. Par extension, on appelle SIG l'ensemble de la base de données, du système d'analyse et des modes de restitution dédiés à une thématique particulière. Ainsi, on évoquera le « SIG Dengue ».

Un SIG stocke, gère et manipule des entités qui constituent les rangées d'un tableau. Les entités gérées par le SIG peuvent être :

- des points, par exemple, des maisons, des voitures, des stations météorologiques, etc. ;
- des lignes, par exemple, des routes, des rivières, etc. ;
- des polygones, par exemple, des communes, des champs, etc.

Ces entités sont caractérisées par des variables (les colonnes du tableau), dont les premières sont les coordonnées géographiques (longitude et latitude, x et y) permettant la localisation de l'entité. Les variables qualitatives ou quantitatives caractérisant les entités et l'espace où elles se trouvent sont innombrables ; elles doivent être précisément sélectionnées en fonction de la thématique ; de plus, elles doivent également être géoréférencées (localisées) pour pouvoir être appliquées aux entités.

Le système de positionnement global par satellite. Pour obtenir sur le terrain des coordonnées géographiques, on utilise le système GPS (en anglais *Global Positioning System*), un système portable de navigation et de localisation par satellite dont la précision va de 10 à 30 mètres en mode de positionnement absolu, suffisant pour séparer des habitations, à moins de 2 m, en mode de positionnement relatif (ou différentiel).

La télédétection : l'utilisation des images satellites et des photographies aériennes. L'utilisation de la cartographie traditionnelle sur support imprimé, dans le domaine de l'étude des déterminants environnementaux de la transmission de la dengue, rencontre inéluctablement des limites liées à leur mise à jour et à la quantification des variables spatiales :

- la caractérisation de l'occupation du sol nécessite, en particulier en milieu urbain, des mises à jour fréquentes, incompatibles avec le rythme de réalisation des cartes à partir des couvertures aériennes (plusieurs années) ;
- les cartes ne permettent pas directement une quantification des caractéristiques de l'habitat ;
- les calculs de surface et de distance sont complexes...

Si, pour une part, ces questions peuvent être résolues par la numérisation des cartes disponibles et leur traitement par des logiciels SIG, le recueil des informations sur l'évolution de l'occupation du sol doit être abordé par la télédétection. « La télédétection... regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement, à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes » (Bonn, Rochon, 1993).

Les capteurs embarqués sur les satellites permettent de caractériser différents objets en fonction de leur réflectance spécifique. À partir de ces données radiométriques, on obtient des informations sur l'environnement : température au sol, quantité de végétation et son état, collections d'eau, zones urbanisées. Des études thématiques, qui requièrent une description précise de l'occupation du sol, utilisent des images satellites à haute résolution spatiale. Par exemple, les satellites SPOT (Système

pour l'observation de la Terre) ont une résolution (pixel) de 10×10 m en noir et blanc et 20×20 m en multispectral, et les images couvrent une zone de 60×60 km. De nombreuses applications des images satellitaires ont été développées, initialement pour l'agriculture et la météorologie, puis pour caractériser de nombreuses composantes de l'environnement et leur évolution.

Télédétection et médecine. Les premières utilisations des données satellitaires dans le domaine de la santé, et plus particulièrement des maladies à transmission vectorielle, datent de la fin des années 1980. Des applications utilisant principalement des données NOAA, Landsat, SPOT, ont entre autres été développées pour l'identification de facteurs de risque dans la transmission du paludisme, de la trypanosomiase animale en Afrique, la distribution des tiques.

La dengue étant une maladie directement liée à l'habitat de l'homme (transmission domestique, vecteur anthropophile), une approche utilisant une caractérisation des communautés humaines à partir d'images satellites semble pertinente. L'analyse en télédétection du milieu urbain présente cependant des difficultés particulières liées à la petite taille et à l'extrême hétérogénéité des objets urbains, à la pollution urbaine qui peut modifier sensiblement les caractéristiques radiométriques. Les analyses thématiques vont donc plus porter sur la structuration spatiale de l'habitat, la définition de zones homogènes (blocs, quartiers), prenant en compte leur taille, leur forme, la régularité de leur contour..., que sur la nature même des objets. Les changements dans l'urbain étant relativement peu rapides (par rapport par exemple à la végétation), des images d'une ancienneté de un, deux ou même trois ans sont suffisantes. Le problème de la couche nuageuse, quasi permanente dans les régions tropicales à certaines périodes de l'année, se pose avec moins d'acuité qu'en agriculture par exemple, car en toutes périodes une application des images satellites au milieu urbain permet l'obtention de l'information nécessaire sur la répartition du bâti. L'association de plusieurs images incomplètes permet d'obtenir une couverture intégrale de la zone étudiée.

Analyse spatiale et dengue

Un SIG qui serait développé pour l'étude et la surveillance de la dengue devra être à même de caractériser des entités homogènes pour la transmission, de définir des zones à risque, d'anticiper des variations d'incidence dans une entité spatiale (un village par exemple) en prenant en compte les données en provenance de la province ou de la région dans lesquelles se situe cette entité.

Entités : l'objet minimal de l'étude est constitué par les individus, qui peuvent être regroupés dans des communautés, l'habitation, la rue, le quartier, la commune, le canton, le département ou la région ; chacun de ces niveaux peut être l'entité objet de l'étude, selon l'information disponible et la problématique.

Variables : pour un individu, la principale variable est celle qui catégorise son état épidémiologique (pour chaque virus) : sensible, infecté, immunisé, décédé. Nous avons vu que l'âge, la profession, l'adresse, la race, sont également utiles. Dans les communautés, les variables sont le nombre (ou le pourcentage) d'individus dans les différents états épidémiologiques (pour une période ou à un instant donnés). Les variables peuvent également décrire l'environnement, la densité de l'habitat, le climat, l'altitude. Enfin, elles peuvent aussi être qualitatives : type d'occupation du sol, d'urbanisation, facteurs socio-culturels. Cette extrême diversité des informations apparemment pertinentes et disponibles mène à deux écueils fréquemment rencontrés dans les analyses portant sur des facteurs environnementaux : la sous-utilisation ou même l'abandon de certaines données, pourtant parfois difficilement récoltées, et la prise en compte de trop nombreuses couches d'informations, inutiles ou redondantes. Il est donc important de faire précéder toute recherche de données nouvelles d'une analyse thématique approfondie et d'assurer le traitement de chacune des variables sélectionnées.

L'analyse des variables peut être quantitative et s'appliquer aux composantes épidémiologiques de la transmission, telles que : a) des calculs de distances, entre individus, entre habitations ou entre communautés d'habitations ; b) des densités de cas, d'individus immunisés ou sensibles, de gîtes larvaires, de vecteurs adultes ; c) des vitesses de propagation d'un virus, ou de phénomènes épidémiques dans un DFA. L'analyse peut également traiter les données non épidémiologiques : distance aux zones d'approvisionnement en eau, aux marchés, création d'isolignes (altitude, température), intensité du trafic routier, taux d'immigration...

Les restitutions doivent répondre aux questions des acteurs de la lutte contre la dengue :

- Pourquoi l'incidence est-elle plus forte dans certaines zones ?
- Quelles sont les limites des zones risquant d'être atteintes rapidement après le début d'une épidémie ?
- Pourquoi une épidémie a-t-elle débuté (ou risque-t-elle de débuter) dans une zone donnée ?
- Quel est, dans les différentes communes d'un DFA, le degré de susceptibilité par rapport aux différents sérotypes ?
- Où risque-t-on de voir apparaître des formes sévères ?
- Quelle densité de gîtes larvaires doit-on atteindre pour éviter le déclenchement et la propagation d'une épidémie ?

Les exemples présentés ci-après montrent quelques applications d'une approche spatiale du type SIG dans le domaine de la surveillance de la dengue.

Études de distances

Une approche du risque consiste à évaluer jusqu'où, et en combien de temps, un processus critique identifié (un sérotype rare, une forme sévère) va pouvoir diffuser.

Distance entre les cas de dengue observés pendant une période donnée, Porto Rico 1991-1992 (Morrison *et al.*, 1998). Les observations prennent en compte les coordonnées géographiques des habitations des patients et utilisent une méthode spécifique pour identifier des groupements ou groupes (*clusters* des auteurs anglophones) spatio-temporels de cas (Knox, 1964). Dans cette étude, l'analyse spatiale montre la fréquence des groupements de cas dans les maisons touchées par la dengue, situation caractéristique d'une transmission familiale souvent mise en évidence pour la dengue ou d'autres maladies infectieuses (rougeole, tuberculose...), ainsi que la rapidité de diffusion à l'ensemble de la communauté. Cette dernière observation indique que, pour être efficaces, les activités de lutte antivectorielle doivent traiter simultanément l'ensemble de la zone, et non se limiter soit aux maisons abritant des cas, soit à leurs voisines immédiates, stratégie souvent utilisée lors d'épidémies.

Diffusion d'une épidémie entre des zones (communautés d'habitations), séparées par des distances supérieures à la distance de vol des vecteurs, et donc considérées comme contenant des populations indépendantes de vecteurs. Cette étude a été menée en Thaïlande, dans la province de Nakhon Pathom lors des épidémies de 1997 et 2001 (figure 4).

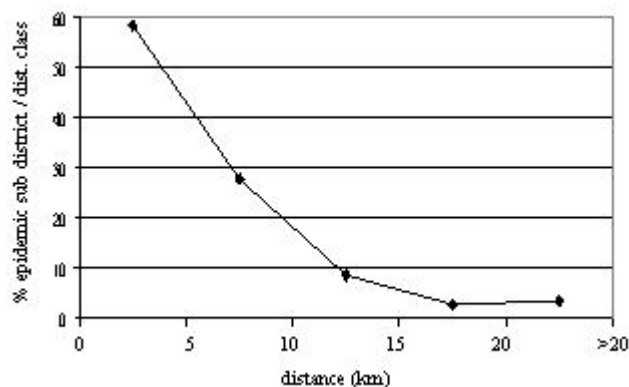


Figure 4. Distance moyenne entre les sous-districts épidémiques pendant le mois n et ceux épidémiques pendant le mois $n + 1$, province de Nakhon Pathom, Thaïlande, 1997-2001.

Dans la figure 4, les cercles à 5, 10, 15, 20 et 25 km ont été tracés autour de chaque sous-district épidémique pendant le mois n . La distance de propagation de l'épidémie est évaluée en fonction du nombre de sous-districts épidémiques trouvés le mois suivant ($n + 1$) dans chaque cercle, par comparaison avec l'ensemble des distances des 106 sous-districts de la province.

Cette étude montre que l'épidémie s'est étendue dans les différents sous-districts de la province selon un modèle de diffusion contagieuse, décrit pour de nombreux phénomènes (initialement, pour

l'étude de la diffusion d'idées nouvelles et d'innovations dans une population) (Hagerstrand, 1952). À partir de ce résultat, on a pu inférer que la dispersion de l'épidémie était liée à l'augmentation de la transmission d'un sérotype relativement peu fréquent dans cette région, information vérifiée ultérieurement à partir des résultats d'isolement viraux. Une recrudescence de la transmission relative à une modification climatique, telle qu'une augmentation de la température, n'aurait pas présenté de structuration spatiale, mais aurait plus probablement touché simultanément l'ensemble de la zone. Une épidémie liée à une prolifération locale de vecteurs, et entraînant une augmentation de la densité vectorielle dans les sous-districts avoisinants, ne se serait pas développée aussi rapidement.

En Thaïlande, l'épidémie de 1997 s'est déclarée la même année, successivement, dans les dix-neuf provinces de la plaine centrale et, de 1983 à 1998, dans l'ensemble des 73 provinces ; plus de 60 % des épidémies ont été précédées par des épidémies dans les provinces mitoyennes.

Études de densités

Dans les zones où les espèces vectrices sont endémiques, la répartition de la population humaine susceptible est l'un des critères qui permettent de délimiter des zones à risque.

Modélisation des variations de la densité d'hôtes sensibles à l'intérieur d'une communauté lors de la propagation d'un virus de la dengue (figure 5). Le modèle montre que, même avec une distribution initiale homogène des populations infestées et immunes, une transmission au hasard induit une forte hétérogénéité dans la distribution des individus, entraînant l'apparition de zones moins immunes, donc à risque.

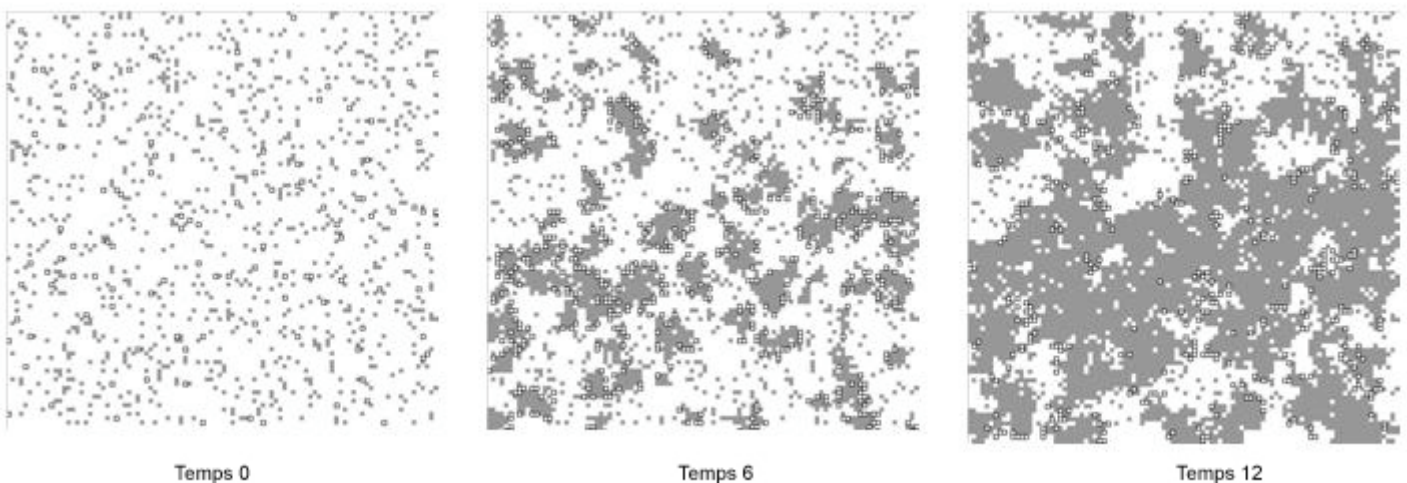


Figure 5. Conséquence de la spatialisation de la transmission d'un virus de la dengue dans une population fictive de 100 000 habitants : hétérogénéité induite dans la distribution des zones à forte et à faible immunité.

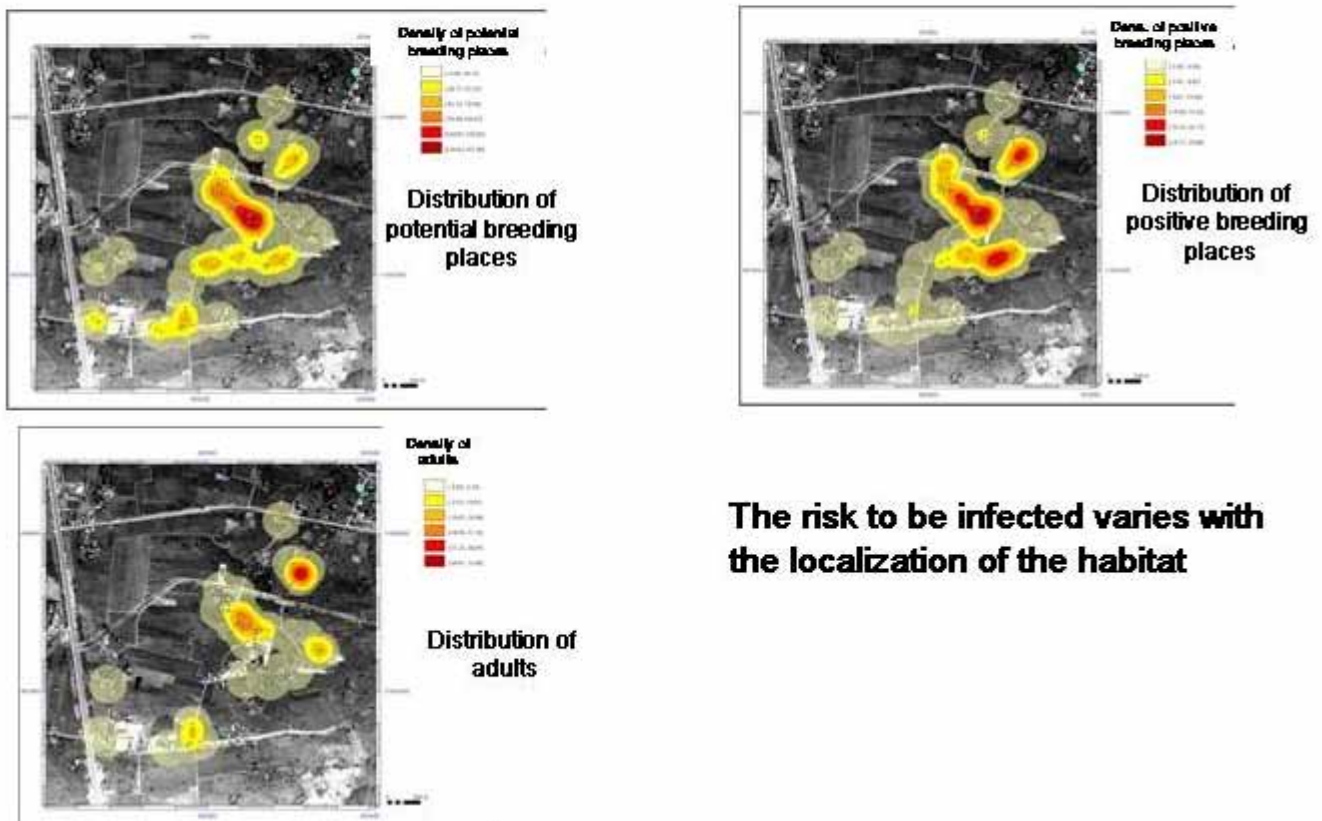
Dans la figure 5, l'espace blanc correspond aux individus non immuns et non infectés (susceptibles), initialement 89 % de la population ; □ = individus infectés par un virus, initialement 1 % de la population ; ■ = individus immunisés, initialement 10 % de la population. Au temps 0, les individus infectés et immunisés sont distribués de façon aléatoire dans l'espace parmi la population totale (10 000 individus). À chaque temps, le programme transmet le virus à un taux de transmission fixé R' , c'est-à-dire dans R' cellules voisines choisies au hasard. Une cellule infectée à t devient immunisée à $t + 1$. Le nombre de cellules voisines et le taux de transmission peuvent être changés ; ici, chaque cellule a 4 voisines et $R' = 1,5$.

Variations de densité de gîtes larvaires par unité de surface. L'étude a été menée à l'intérieur d'un village de Thaïlande où en septembre 2000 le nombre de gîtes était supérieur à 300 pour 100 maisons. Dans cette petite communauté de moins de 800 habitants, dont toutes les habitations sont à portée de vol d'*Ae. aegypti*, le tracé d'isolignes mesurant la densité de gîtes larvaires met en évidence une grande hétérogénéité de la densité de vecteurs (figure 6) ; les zones les plus denses présentant une densité de gîtes positifs 20 fois supérieure à celle des zones peu colonisées.

Impact of environmental diversity on the distribution of potential vectors

Walairut Tuntaprasart

Study at a village scale of the distribution of *A. aegypti* stages, Ratchaburi province, 2000 – 2001.
Spatial interpolation of the results of a field survey for breeding places and land catching



The risk to be infected varies with the localization of the habitat

Figure 6. Densités de gîtes larvaires dans un village, établies d'après des relevés ponctuels dans les habitations.

Dans la figure 6, le nombre de gîtes potentiels, positifs, et de moustiques adultes est obtenu par des enquêtes de terrain. À partir de ces valeurs, des isolignes sont tracées, comptabilisant le nombre total de gîtes ou de femelles d'*Aedes* trouvés dans des cercles de 100 m de diamètre autour de chaque maison visitée.

Identification des facteurs environnementaux de risque

Dans la perspective de la prédiction des variations des indicateurs épidémiologiques, des facteurs « non épidémiologiques », supposés susceptibles de modifier les conditions et le rendement de la transmission, peuvent également être pris en compte. La sélection de ces facteurs relève de la connaissance *a priori* de l'épidémiologie de la dengue.

Les facteurs liés à l'environnement intervenant dans l'intensité de la transmission de la dengue vont être ceux qui modèlent le contact hôtes-vecteurs. La distribution spatiale des hôtes est fonction de variables socio-économiques prenant en compte deux aspects caractéristiques de l'habitat : la densité et la qualité. La distribution spatiale des vecteurs est également fonction, entre autres, de variables socio-économiques, qui, cette fois, génèrent des types spécifiques de gîtes potentiels (y compris leur densité).

L'intensité de la colonisation des gîtes fait intervenir des caractéristiques climatiques, pluie, température, qui régissent la dynamique des populations des espèces de vecteurs concernées.

Habitat : les informations brutes sur la distribution de la population et sur le type d'habitat proviennent du recensement général de la population. Différents types de cartes sont également disponibles : cartes topographiques, cadastre et cartes spécifiques. La carte des routes (figure 7) est particulièrement importante car les voies de communication, y compris les fleuves (comme en Guyane), sont souvent des lieux de concentration de la population et des voies de dispersion des virus *via* les porteurs sains et le transport aérien.

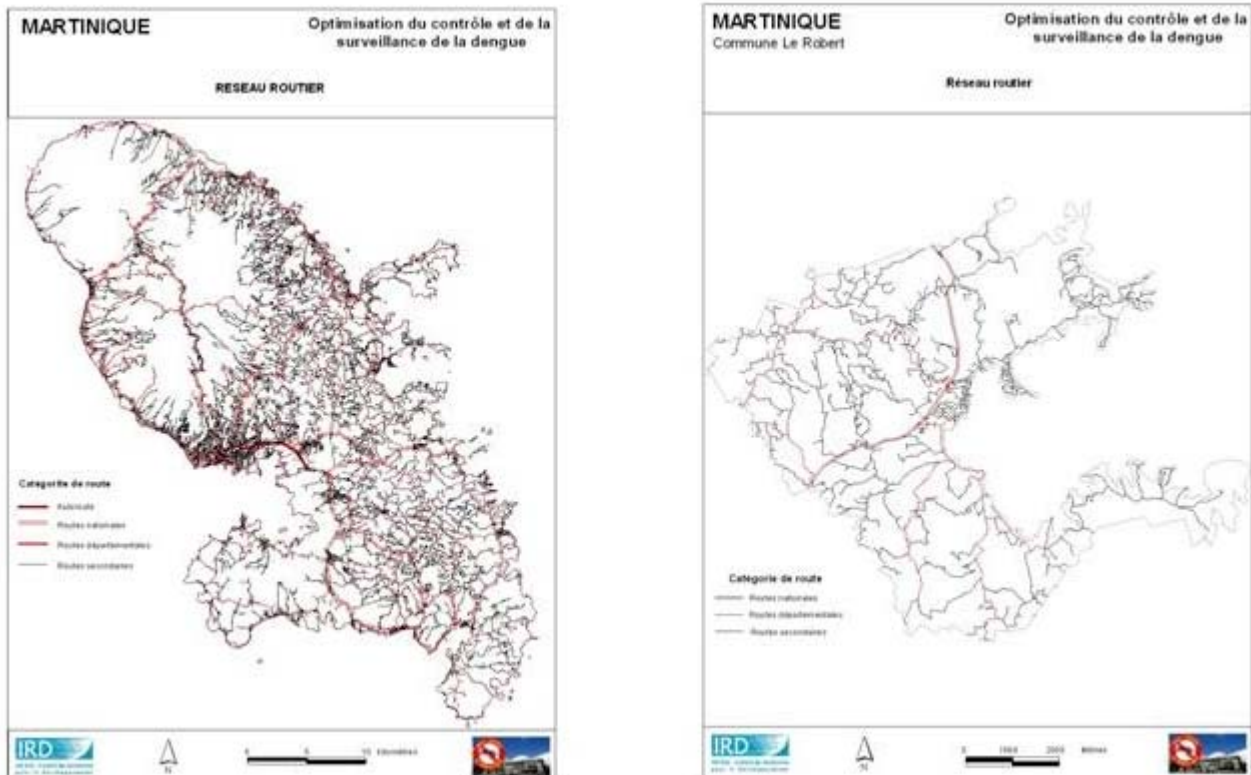


Figure 7. Carte des routes de Martinique et de la commune du Robert.

Figure 8, différentes approches de la densité de l'urbanisation en Martinique sont comparées.

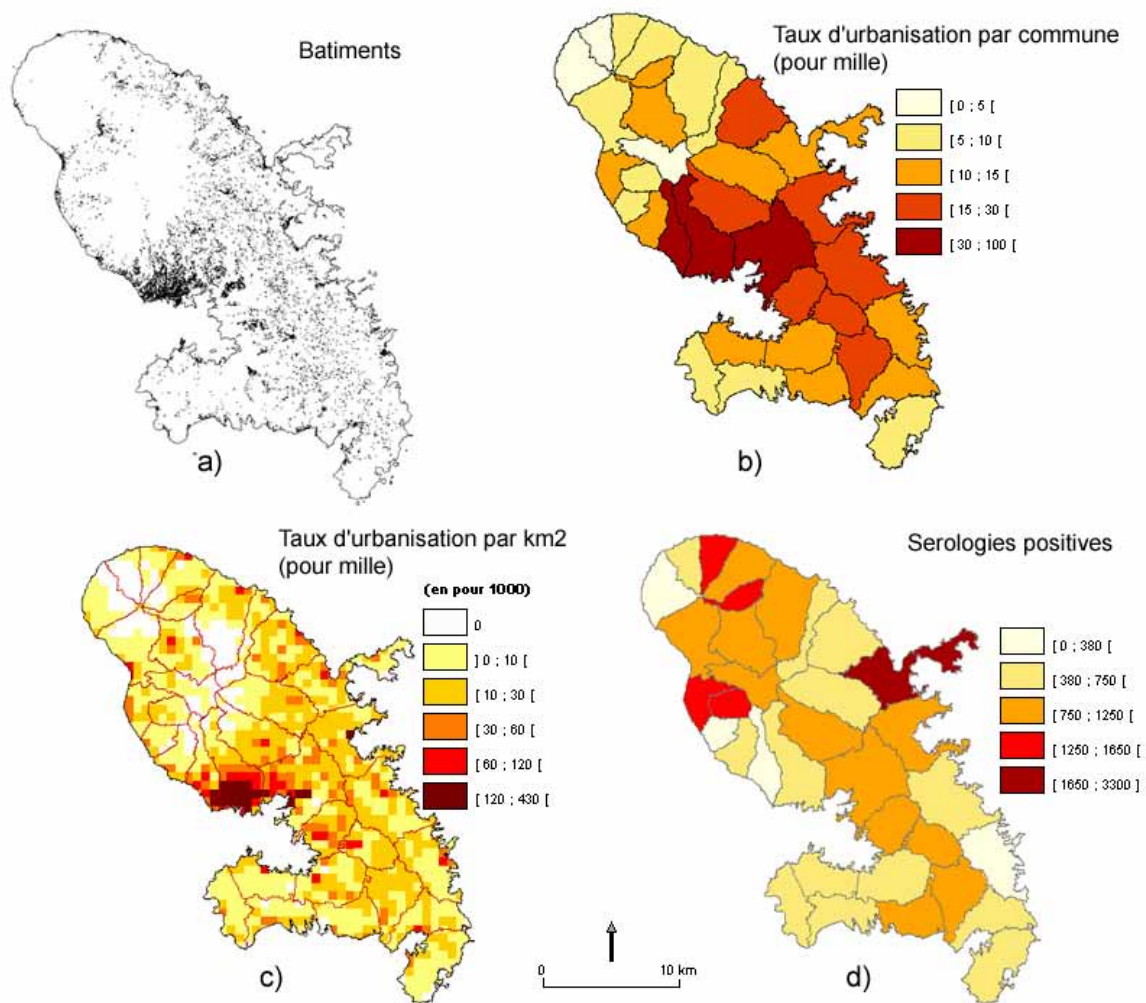


Figure 8. Différentes échelles de discrétisation de la densité du bâti en Martinique ; comparaison avec l'incidence par commune.

Légende figure 8 :

- a) Carte de la distribution des 120 000 bâtiments de Martinique.
- b) Carte de la proportion de la surface de chaque commune occupée par le bâti (pour 1000 hab.).
- c) Élaboration d'un carroyage : division de la surface du département en carrés de 1 km de côté et calcul de la proportion de la surface de chaque carré occupée par le bâti (pour 1000 hab.).
- d) Carte de l'incidence de la dengue pendant la période 1997-2000, par commune, pour 100 000 hab.

La carte 8a montre la répartition de tous les éléments du bâti, établie à partir du cadastre. Cette information brute peut difficilement être utilisée, à moins que chaque cas de dengue ou chaque gîte larvaire ne puisse être attribué à un élément particulier, localisé sur la carte. Sur la carte 8b, la densité est rapportée à la commune. Les variations parfois très importantes à l'intérieur des communes ne sont pas visibles, alors que, par exemple, on sait que les zones proches de la mer et situées le long des principaux axes routiers sont généralement plus densément peuplées. Sur la carte 8c, une approche intermédiaire utilisant un carroyage de un kilomètre de côté est présentée car elle permet de mieux discerner les variations quantitatives de la distribution de l'habitat. L'approche par quartiers ne peut être présentée ni utilisée, car les limites de ces derniers sont imprécises. Une comparaison avec la carte 8d, représentant l'incidence cumulée de la dengue (1999-2001) pour 100 000 habitants, montre l'absence de relation apparente avec la densité de la population à l'échelle de la commune, ainsi que la nécessité d'une approche plus détaillée.

Il importe aussi d'avoir des informations relatives au réseau de distribution d'eau, à l'évacuation des ordures ménagères et industrielles, et à l'assainissement...

L'utilisation des données cadastrales, obtenue par la digitalisation des documents existants, apporte une information complémentaire sur la présence de bâtiments publics (écoles, hôpitaux), ports, aéroports, et d'autres sites ayant une signification particulière dans l'épidémiologie de la dengue, car constituant des lieux à risque : introduction du virus, forte transmission inter-humaine, etc.

L'imagerie satellitaire permet en outre de quantifier des informations sur la présence d'une classe d'occupation du sol définie comme « urbaine » et établie à partir de l'information radiométrique.

Apport de la télédétection pour le suivi de la propagation d'une épidémie de dengue hémorragique. Dans cette étude menée dans la province de Nakhon Pathom lors des épidémies de 1997 et 2001, on a caractérisé l'occupation du sol en termes de densité d'habitat et on a défini une « classe urbaine » à partir d'images satellites (SPOT) pour en inférer la densité de la population et sa distribution spatiale. L'incidence et la propagation des épidémies sont étudiées par comparaison avec ces variables (figure 9). L'étude a montré que l'épidémie s'était principalement développée dans les communautés où la classe urbaine présentait une densité moyenne, alors que l'incidence en période endémique était plus forte dans les zones à densité élevée. Ce résultat montre que l'épidémie était due à un sérotype relativement peu fréquent dans cette province pendant la période de transmission endémique précédente et dont la transmission était alors limitée aux zones de forte densité humaine.

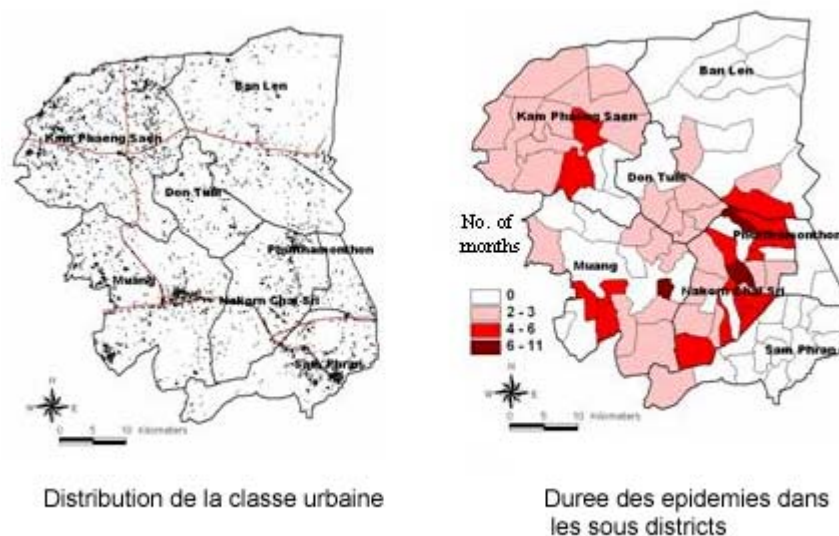


Figure 9. Apport de la télédétection pour l'identification des caractéristiques de la dispersion spatiale des zones habitées dans une province de Thaïlande (Nakhon Pathom) : création de la classe « Urbaine » à partir d'une image SPOT.

Dans la figure 9, l'image SPOT a été acquise en juin 1997. La classe « Urbaine » est obtenue par la méthode de classification supervisée : des zones habitées sont identifiées visuellement sur l'image satellite et leurs caractéristiques radiométriques sont mesurées. Ensuite, toutes les parties de l'image constituées de pixels de même radiométrie sont recherchées par le programme pour constituer la classe « Urbaine », qui est positionnée sur la couche administrative des sous-districts. Le nombre total de mois épidémiques entre 1997 et 2001 dans chaque sous-district est utilisé pour quantifier l'intensité de l'épidémie.

La présence de zones où l'incidence est relativement plus faible au cours des périodes endémiques peut être due à de faibles indices larvaires, une mauvaise compétence vectorielle, un bon travail des équipes de démoustication, éventuellement une absence du virus ou du vecteur (comme en Guyane).

La propagation d'une épidémie peut être interrompue, soit parce que la lutte pour l'enrayer porte ses fruits, soit du fait de conditions climatiques ou géographiques défavorables. En Thaïlande, la fin de la plupart des épidémies correspond au début de la saison sèche et froide.

Facteurs climatiques

Le nombre de vecteurs dépend du nombre et de la productivité des gîtes larvaires et des conditions climatiques qui peuvent favoriser la survie des adultes. Le climat de la région Caraïbe est tropical et il permet en permanence la complétion du cycle de transmission de la dengue. Cependant, les variations de certains facteurs climatiques sont très importantes pour la dynamique de la transmission, essentiellement de par leur impact sur l'écologie des vecteurs.

Les gîtes d'*Ae. aegypti* sont généralement d'origine anthropique et leur remplissage est plus ou moins fonction de la pluie, selon leurs catégories. La température a une action directe sur la durée de la phase aquatique du vecteur, l'activité, la maturité et la survie des femelles, ainsi que sur la durée du cycle de transmission.

En élaborant des modèles à partir de la relation observée entre l'incidence de la dengue et les variations climatiques, on peut identifier les facteurs importants pour la surveillance des variations d'incidence pendant les périodes de transmission endémique. Ces modèles ne peuvent cependant à eux seuls permettre de prévoir l'émergence d'une épidémie, souvent due à l'émergence d'un sérotype.

Modélisation de l'incidence en fonction des facteurs climatiques. Après l'analyse rétrospective menée sur une période de huit années dans une province de Thaïlande de la relation entre l'incidence de la dengue et trois variables climatiques (pluie, température et hygrométrie relative), un modèle de la relation climat-incidence a pu être élaboré. L'application de ce modèle en période endémique permet de prévoir un à deux mois à l'avance les tendances dans l'évolution globale de l'incidence.

Identification des zones et périodes à risque : variations d'échelles selon le contexte épidémiologique

La notion de zone à risque implique la définition préalable, pour une zone donnée, d'une situation normale ou acceptable, par rapport à laquelle on décrit et on mesure des changements, on établit des seuils, variables selon le contexte épidémiologique. En période épidémique, la stratégie de lutte consiste à limiter la propagation de la maladie par des actions de lutte ciblées sur de petites entités spatiales, quartiers, rues, maisons, où des densités de cas anormales ont été décelées ; ces entités définissent l'échelle du risque. Une limite spatiale importante est imposée par la dispersion intra-communautaire d'un virus par le vecteur ; sa capacité de vol réduite (de l'ordre du kilomètre, soit l'échelle des quartiers) modère en effet la dispersion intra et inter-communautaire par les individus porteurs.

En période endémique, la lutte par participation communautaire, ainsi que celle par surveillance entomologique, s'appliquent à l'échelle de l'ensemble d'un département (la zone à risque se superposant à la répartition globale du vecteur), ainsi qu'à des zones préalablement définies comme à risque (écoles, hôpitaux). Une intensification de ces activités doit être déclenchée lors d'alertes particulières : épidémies régionales, nouveaux sérotypes, fréquence élevée de formes sévères.

L'échelle finale de la restitution, c'est-à-dire l'atteinte d'un niveau de précision souhaité dans la définition de zones à risque, est fonction de l'échelle à laquelle les variables sont étudiées (tableau 3). Par exemple, l'échelle communale généralement disponible pour les données épidémiologiques ou entomologiques dans les DFA empêche d'aborder l'étude des phénomènes de contagion entre individus, ou de la relation avec des densités ponctuelles de gîtes larvaires, ou même des types d'urbanisation, ceux-ci variant à l'intérieur d'une même commune. De même, si la pluviométrie n'est connue que pour l'ensemble d'un DFA, les analyses de la relation entre pluie et incidence ne pourront porter que sur la comparaison des DFA entre eux.

ECHELLE DES ENTITES SPATIALES	FACTEURS ETUDIES
Individu	Clinique
Habitation	Facteurs entomologiques (indices divers) Génétique de la sévérité
Rue	Dispersion des vecteurs Facteurs entomologiques
Quartier	Facteurs environnementaux / facteurs entomologiques
Commune*	Origine des épidémies / lieu d'introduction des sérotypes
Département : Echelle politique	Stratégie de lutte / début des épidémies
Région (Caraïbes)	Dispersion/origine des sérotypes / début des épidémies

Tableau 3. Échelles des entités spatiales incorporées dans le SIG dengue et principaux types de recherche abordables.

Précision des données, des analyses et des restitutions : la plupart des données épidémiologiques recueillies dans le cadre de la surveillance de la dengue doivent être utilisées en prenant en compte une marge d'erreur qui peut être considérable : 50 % des diagnostics non confirmés par la sérologie ; adressages incomplets ; délais importants... Les analyses doivent être suffisamment robustes pour maintenir un niveau de validité permettant la détermination et l'identification de seuils.

La définition de seuils d'alerte, comme il en va pour tout résultat d'une analyse statistique, est (ou devrait être) systématiquement associée à des intervalles de confiance. Cependant, une question importante est de savoir selon quel délai on veut identifier une épidémie : un délai de trois mois ou plus implique une marge d'incertitude importante quant à la survenue de l'épidémie ; il permet cependant le lancement d'une campagne de lutte à long terme sur une zone encore relativement restreinte. Un délai de un mois permet d'augmenter la fiabilité de l'alerte (plusieurs indicateurs auront probablement atteint un seuil limite), mais la zone à traiter doit alors être beaucoup plus vaste.

Les analyses temporelles fondées sur les données épidémiologiques recueillies actuellement en routine dans les DFA permettent une identification du début des périodes épidémiques dans des communes avec une précision de l'ordre de quelques semaines. Pour évaluer la significativité de ce résultat, il faut prendre en compte la durée du cycle de transmission, de l'ordre de 15 à 30 jours, et la nécessité de la superposition de plusieurs cycles, afin que l'incidence observée soit significativement (statistiquement) supérieure à la valeur attendue. En pratique, lorsque une alerte est lancée à partir du réseau des médecins sentinelles, elle est le reflet d'un changement épidémiologique initial qui est intervenu au moins un à deux mois plus tôt ! Le virus a pu ainsi se propager et atteindre des communautés relativement éloignées, surtout si l'on prend en compte la transmission silencieuse inapparente.

Conclusions et recommandations

Les méthodes présentées contribuent toutes à l'identification du lieu où interviennent des changements épidémiologiques importants (accroissement d'incidence, formes sévères, densité de vecteurs élevée...), et où existent des conditions environnementales à risque. Leur prise en compte efficace, en synergie, nécessite de les intégrer dans un système d'information géographique.

Le SIG Dengue apparaît comme un outil déterminant pour la recherche sur les facteurs et les indicateurs de l'évolution de la dengue dans les DFA et les pays de la région Caraïbe, dont les caractéristiques communes sont uniques de par leur histoire épidémiologique (émergence récente, transmission endémique faible, phénomènes épidémiques séparés par de longues périodes, peu de formes hémorragiques) et leur géographie particulière : îles, taille des pays, superposition de types de développement du nord et du sud. Cette spécificité limite en revanche l'application systématique des résultats obtenus et des stratégies de lutte et de surveillance développées dans d'autres contextes, par exemple en Asie du Sud-Est.

Recueil et traitement des données

Les développements statistiques et géomatiques peuvent être automatisés afin que l'information nécessaire à la décision en termes de prévention et de contrôle soit fournie rapidement, une fois qu'auront été définis les seuils significatifs spécifiques à chaque DFA. La gestion du SIG Dengue devra s'appuyer sur un approvisionnement en données épidémiologiques et non épidémiologiques pertinentes.

Les données épidémiologiques issues de la surveillance

Elles doivent être complétées par l'adressage complet des cas et le géoréférencement (GPS) des données entomologiques ; leur recueil doit être standardisé (impliquant la déclaration ou le signalement obligatoire de la dengue). À partir de ces données complètes, l'identification des critères épidémiologiques pertinents, l'évaluation de l'efficacité et l'amélioration, des activités de lutte antivectorielle et des méthodes d'information, pourront être obtenues. Une approche associant les résultats entomologiques aux suivis épidémiologiques, et les situant dans le contexte spatial spécifique des différents quartiers, permettra de déterminer des zones où des actions préventives, plus importantes que celles menées en routine lors de la visite elle-même, devraient être réalisées.

L'utilisation d'autres indicateurs biologiques tels que l'identification des sérotypes, des souches virales et la sérologie (impliquant la prise en charge des actes) doit faire l'objet de recherches spécifiques en vue de les valider. Dans la situation actuelle, où l'immunité de la population pour les différents sérotypes est très hétérogène, ces facteurs sont essentiels pour expliquer les variations d'incidence ; des enquêtes sérologiques contribueraient alors fortement à une meilleure connaissance des régions immunologiquement à risque.

Les données non épidémiologiques

Elles concernent principalement la distribution de l'habitat, des voies de communication, la démographie, le climat. Leur intégration est nécessaire, mais après validation par des recherches spécifiques. Le recueil de ces données passe par des collaborations avec diverses institutions : par exemple, le « SIG Martinique » du Conseil général (SIGMA), qui possède l'ensemble des couches d'informations à l'échelle de la commune et des quartiers. (tableau 4), les services de la météorologie ou d'autres services publics présents dans chacun des DFA. Cette collaboration indispensable vient d'être mise en œuvre en Guyane dans le cadre du projet SE2 Dengue.

BD Topo (IGN).	Voies de communication : routes, ponts... Transports d'énergie : lignes électriques, pylônes... Hydrographie : fleuves, canaux, stations de pompage... Végétation : bois vergers, champs... Lignes et limites diverses : murs, talus, rangées d'arbres... Bâtiments et équipements divers : mairies, hôpitaux terrains de sports... Orographie : crêtes, éboulis... Altimétrie : points cotés, courbes de niveaux... Limites administratives : limites de communes, cantons... Équipements géographiques : points géodésiques, repères de nivellement... Toponymie : noms rattachés aux entités géographiques
Autres données	Stations météorologiques Cartes géologiques Mise à jour des équipements départementaux Données de télégestion Levé vidéo-routier

Tableau 4. Liste des principales couches d'informations dans le SIG du Conseil général de la Martinique (SIGMA).

Retour de l'information

Tout ou partie de l'information reçue doit être restituée, sous une forme élaborée, aux acteurs de la lutte et de la surveillance de la dengue : cliniciens, responsables de santé, épidémiologistes, biologistes, personnels de la démoustication et de l'assainissement, responsables administratifs et politiques, urbanistes, architectes, population générale...

Un réseau dengue dans les DFA ?

La connexion et la participation aux réseaux de surveillance régionaux sont nécessaires. La PAHO a mis en place un réseau de surveillance de la dengue dans la région Caraïbe (pays du CAREC). Même si l'objectif n'est pas directement la mise en place de programmes de lutte, pour laquelle l'organisation n'a pas de mandat, le réseau fournit rapidement des informations très utiles sur les variations d'incidence et l'émergence des sérotypes dans les pays de la région, qui doivent être intégrées au réseau des DFA.

De nombreux réseaux de surveillance de diverses maladies ont été développés, bien avant l'émergence des SIG. Cependant, malgré la diversité des situations épidémiologiques visées, les objectifs, les recommandations et les informations disponibles sont souvent similaires. Par exemple, le réseau mis en place avec le soutien de l'OMS dans le sud du Soudan pour la surveillance des famines liées à la sécheresse, le « Early Warning and Response Network »³, permet également de surveiller les épidémies, et les recommandations qui en découlent sont peu spécifiques, montrant ainsi à la fois la généralité des problèmes et celle des méthodes.

Recherche

Elle a principalement pour but l'évaluation, dans le contexte des DFA, de la validité d'indicateurs épidémiologiques, climatiques et environnementaux, éventuellement définis dans

³ From: ProMED-mail <promed@promedmail.org> Source: WHO WER, Vol. 77 No. 4, 25 Jan. 2002.
<http://www.who.int/wer/pdf/2002/wer7704>

d'autres zones endémiques. Des collaborations scientifiques doivent être développées avec la CIRE, le projet S2E Dengue, l'IRD (unités de recherche centrées sur les maladies émergentes, sur la lutte antivectorielle et sur la spatialisation des données), l'Institut Pasteur, l'IVS (Institut national de veille sanitaire), le CIRAD, les universités..., tout comme les liens doivent être renforcés avec le ou les SIG existants.

Facteurs organisationnels

Le traitement des données, en temps réel, incluant les analyses statistiques et spatiales, doit être systématique. Une grande partie de ces analyses peuvent déjà être réalisées, simultanément avec la constitution progressive de la base de données gérée par le SIG, au fur et à mesure de l'identification et de la validation par la recherche des variables pertinentes et de leur disponibilité.

La création du SIG Dengue nécessite le développement d'une unité administrative spécifique, permanente, c'est-à-dire fonctionnant en période épidémique et en période endémique. Son objectif ne sera autre que le recueil et le traitement des données épidémiologiques et non épidémiologiques pertinentes... Cette unité devrait comprendre, parmi les destinataires de l'information produite par le SIG Dengue, des représentants des secteurs concernés : acteurs de la santé publique, entomologistes, et un « synthétiseur » chargé de la gestion du SIG et de la diffusion des informations *via* un réseau spécifique (Internet).

Nous terminerons cet exposé en affirmant que les DFA ne peuvent pas faire l'économie d'un investissement dans le domaine des nouvelles technologies. L'application de ces technologies à la surveillance et au contrôle de la dengue est devenue une priorité dans plusieurs pays concernés par cette endémie.

Remerciements

Nous tenons à remercier les conseils généraux et les DSDS des DFA qui nous ont permis de réaliser ce travail. Les équipes de démoustication de Martinique et de Guyane ainsi que les médecins, infirmières, agents de santé, responsables administratifs rencontrés, nous ont permis d'avoir rapidement une vision globale des activités entreprises dans le cadre de la surveillance et du contrôle de la dengue dans les DFA. L'équipe de SIGMA (Martinique), les agents IRD de Guyane (Laurent Polidori et Annelise Tran) et de Thaïlande (Laurent Schnell, Wutjanun Muttitanon, Narong Nitatpattana, Marc Souris, Walairut Tuntaprasart, Yves Fasiolo) nous ont fourni de nombreuses données et aussi les outils pour les traiter. Enfin, les représentants de l'IRD en Martinique et en Guyane ont grandement facilité notre séjour dans les DFA.

Références bibliographiques

- BARBAZAN P., YOKSAN S., GONZALEZ J.-P., 2002 – Dengue hemorrhagic fever epidemiology in Thailand: description and forecasting of epidemics. *Microbes and Infection*, 4 (7) : 699-705.
- BONN F., ROCHON G., 1993 - *Précis de télédétection. Vvol. 11, Principes et méthodes*. Sainte-Foy, Québec, Presses de l'Université de Québec/AUPELF, 485 p.
- CHAUD P., BLATEAU A., 1998 - *Les systèmes de surveillance de la dengue dans les départements français d'Amérique. État des lieux – Propositions*. Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane, Réseau national de santé publique, 61 p.
- CHEN W. J., CHEN S. L., CHIEN C. C., KING C. C., HARN M. R., HWANG K .P., FANG J. H., 1996 - Silent transmission of the dengue virus in Southern Taiwan, *J. Am. Trop. Med. Hyg.*, 55 (1) : 12-16.
- GUILLET P., 1997 – *Rapport de mission d'expertises sur la lutte contre les vecteurs de la dengue en Martinique et Guadeloupe (5-18 octobre 1997)*. Laboratoire de lutte contre les insectes nuisibles, novembre 1997.
- HAGERSTRAND T., 1952 - *The Propagation of innovation waves*. London : Royal University of Lund, Dept. of Geography, 20 p.
- HALSTEAD S. B., NIMMANNITYA S., COHEN S. N., 1970 – Observations related to pathogenesis of dengue hemorrhagic fever. IV. Relation of disease severity to antibody response and virus recovered. *Yale J Biol Med.* 42 (5) : 311-328.
- KNOX E. G., 1964 – The detection of space-time interactions. *Appl. Stat.*, 13 : 25-29.
- MORRISON A. C., GETIS A., SANTIAGO M., RIGAU-PEREZ J. G., REITER P., 1998 - Exploratory space-time analysis of reported dengue cases during outbreak in Florida, Puerto Rico, 1991-1992. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 58 (3) : 287-298.
- WHO, 2001 – *Dengue prevention and control*. Executive board, 19th session, 19.11.2001, EB109/16.
-

collection **Expertise collégiale**



*Expertise réalisée par l'IRD
à la demande des Conseils généraux
de Martinique, de Guadeloupe
et de Guyane
et du ministère de la Santé*

Version bilingue

La dengue

dans les départements français d'Amérique

Dengue in Martinique, Guadeloupe and French Guiana

Coordination scientifique

RAYMOND CORRIVEAU, BERNARD PHILIPPON, ANDRÉ YÉBAKIMA



Institut de recherche
pour le développement

La dengue dans les départements français d'Amérique

COMMENT OPTIMISER LA LUTTE CONTRE CETTE MALADIE ?

Coordination scientifique

RAYMOND CORRIVEAU, BERNARD PHILIPPON, ANDRÉ YÉBAKIMA

*La première partie (synthèse et recommandations) du rapport
est présentée successivement en français et en anglais sur support papier.
La seconde partie (analytique) est présentée sur le CD-ROM joint.*

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Expertise collégiale

Paris, 2003

Préparation éditoriale

Patrice Beray

Mise en page

CapSud Création Graphique

Maquette couverture et intérieur

Pierre Lopez

Traduction en anglais

Harriet Coleman

**Cette expertise collégiale a été réalisée à la demande
du Conseil général du département de la Martinique,
du Conseil général du département de la Guadeloupe,
du Conseil général du département de la Guyane et
de la Direction générale de la Santé.**

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les " copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective " et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, " toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite " (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.