

Programme GICC Gestion et Impacts du Changement Climatique
Séminaire scientifique de restitution
11-12 mai 2006, PARIS

MATECLID

Modélisation des Arboviroses Tropicales Emergentes CLImato-Dépendantes

Equipe MATECLID (CEA, CNRS, INRA, IRD, Université), compte-rendu présenté par :

Marc A. DUBOIS

Service de Physique de l'Etat Condensé
CEA Saclay –Orme des Merisiers
91191 Gif sur Yvette cedex France
mail : mad@cea.fr
Tf : (33) (0) 1 69 08 74 18

Un des effets prévisibles du changement climatique est l'émergence de pathologies nouvelles dans des endroits où elles n'existaient pas. Une des causes possibles est l'extension des zones de viabilité pour les vecteurs de parasites ou de virus, comme dans le cas des arboviroses, qui sont le sujet premier du programme MATECLID.

Pour aborder ce problème dans une perspective réunissant compréhension scientifique et prévision afin d'aider à la décision en stratégie sanitaire préventive et prophylactique, nous avons constitué une équipe pluridisciplinaire qui aborde tous les maillons, du climat à l'individu, en passant par le virus, les vecteurs, la structure de l'habitat etc.

Nous avons obtenu au cours de ce travail un bon nombre de résultats, en particulier : 1) une prévision de l'extension des zones à risque de dengue au cours des prochaines décennies, 2) un modèle spatialisé d'épidémie de dengue au niveau d'une localité (ville ou village), montrant bien la nécessité absolue de prendre en compte l'espace même aux petites échelles, et 3) une base de données spatialisée en SIG des cas de Dengue au Pérou.

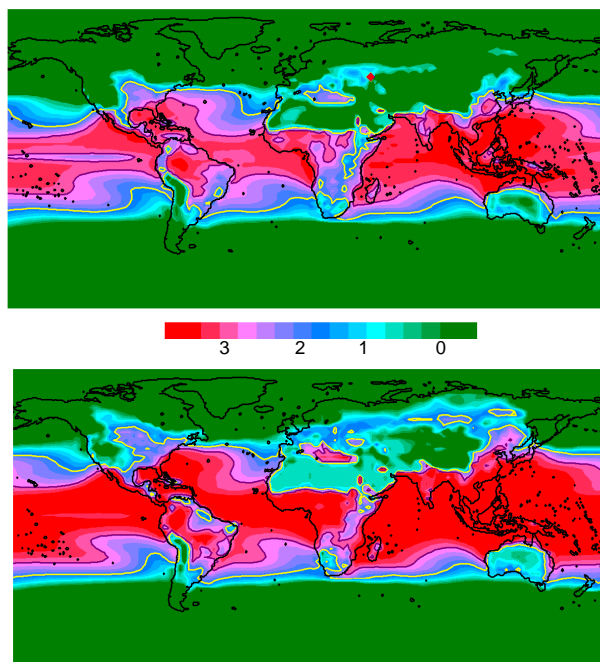
Le but ultime du programme, non encore atteint, est de modéliser la dynamique des arboviroses à l'échelle de la planète. Le travail qui continue après la fin de ce financement GICC 2003 porte sur l'intégration de la structure hiérarchisée de l'espace par agrégation des variables aux petites échelles, et la prise en compte de la structure de contacts distants (transports modernes par exemple).

1) Effets du changement climatique sur l'extension des zones à risque : La figure 1 montre l'impact du changement climatique sur l'aire de répartition de la dengue : les sorties de différents modèles climatiques (UKMO, MPI, IPSL***) suivant différents scénarios d'évolution de la concentration de CO2 dans l'atmosphère ont été utilisés pour calculer les indices de risques. Les résultats convergent vers deux conclusions majeures. D'abord, les changements climatiques ne seront certainement pas moteurs d'une extension latitudinale de la dengue. En effet la limite évolue peu au Sud sur les continents. Au Nord la limite n'est actuellement pas atteinte malgré la faible extension de la zone potentielle, seul un changement des conditions environnementales anthropiques peut conduire à l'émergence de la dengue. En revanche, la plupart des régions touchées actuellement voient leur risque augmenter, ce qui nécessitera une adaptation des politiques de prévention. En Amérique du Sud, la zone à risque va connaître un déplacement vers l'ouest. Finalement, l'évolution prévisible de la zone de répartition est loin d'être

aussi évidente que le prévoyait les précédentes études, qui négligeaient une partie des processus ou des paramètres

Figure 1. Carte du potentiel climatique de transmission avec les sorties du modèle de CGCM de l'IPSL. Haut : moyennes 1970-2000. Bas : Moyenne 2070-2100 pour le scénario A2 (émissions élevées). La ligne jaune représente la zone d'incidence potentielle, la ligne violette la zone à risque élevé. Les extensions de la zone potentielle concernent essentiellement des régions où les épidémies ne peuvent se développer à cause de l'environnement anthropique.

Par contre, l'extension des de la zone à risque élevé est quasiment générale, excepté au nord de l'Amérique du Sud.



2) Importance de la spatialisation des modèles épidémiologiques : Les travaux que nous avons menés sur la modélisation d'une épidémie ont montré l'importance extrême de la prise en compte de l'hétérogénéité spatiale au niveau local (au niveau d'une ville). Sur la figure 2 nous comparons les caractéristiques de courbes épidémiologiques réelles (épidémies sur l'île de Pâques et dans différentes villes du Brésil) avec des courbes issues de deux modèles :

1. Un modèle avec contacts homogènes entre les populations d'hôtes et de vecteurs ;
2. Un modèle hôte-centré qui tient compte de la structuration de la population en maisonnées, individu-centré du point de vue des hôtes. Un paramètre définit le degré d'hétérogénéité du réseau : la probabilité de passage d'un hôte d'une maison à une autre.

Pour le modèle homogène, les caractéristiques statiques temporelles (durée de l'épidémie, jour du pic) et épidémiologiques (prévalence finale, hauteur du pic) des épidémies synthétiques sont liées de façon très forte. Du point de vue dynamique également, la forme de la courbe est également relativement fixée, de forme sigmoïdale où la phase de saturation succède rapidement à la phase initiale de croissance exponentielle. Les caractéristiques des courbes épidémiologiques réelles sont incompatibles avec les caractéristiques des modèles homogènes : il n'est pas possible de reproduire la forme des courbes épidémiologiques réelles avec ces modèles.

Dans le modèle hétérogène, selon la valeur du paramètre d'hétérogénéité, on observe une transition analogue aux transitions de percolation. Pour les valeurs inférieures à une valeur seuil, on a l'impossibilité d'une épidémie, caractérisée par un nombre moyen de malades par jour proche de zéro (extinction rapide ou persistance à bas

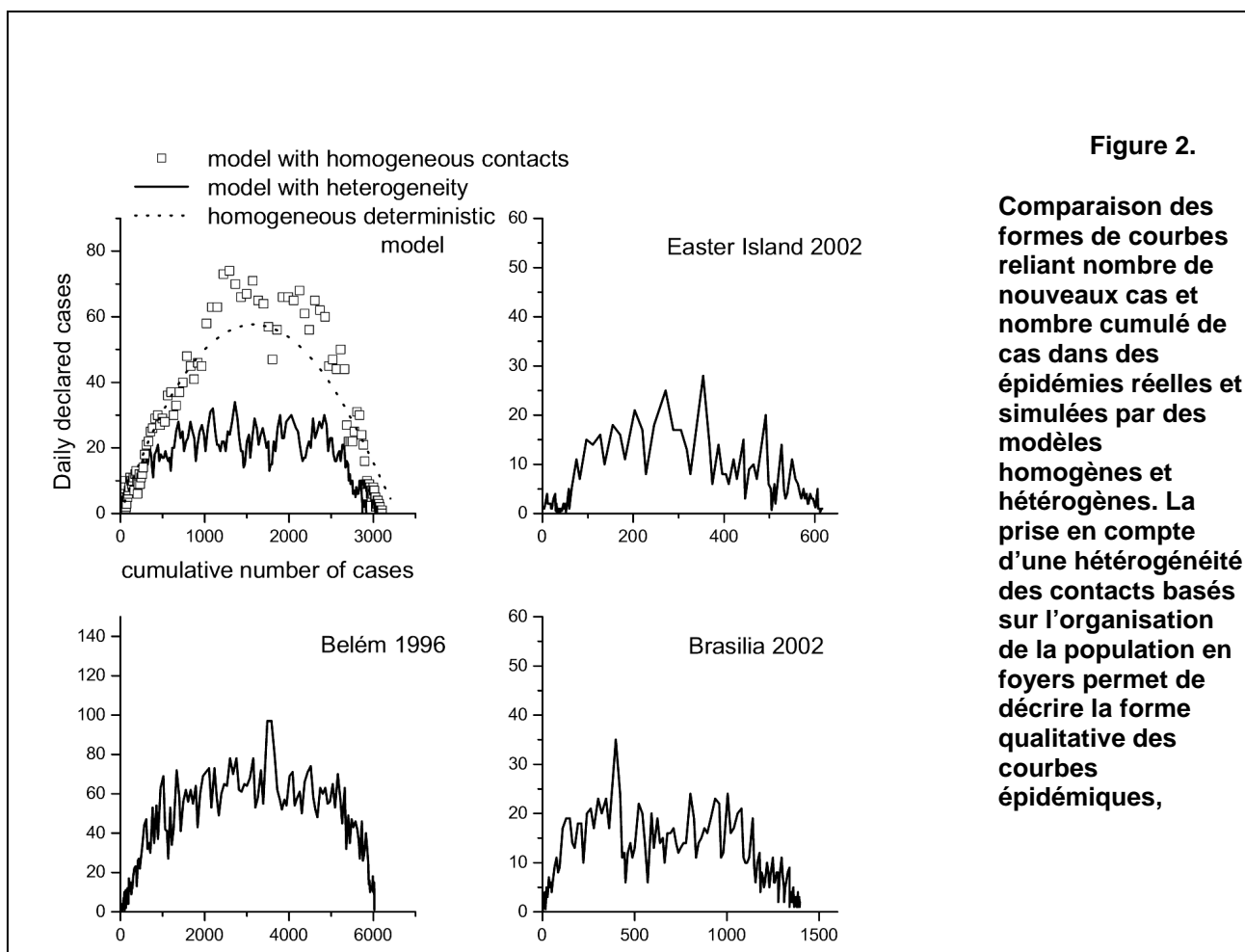
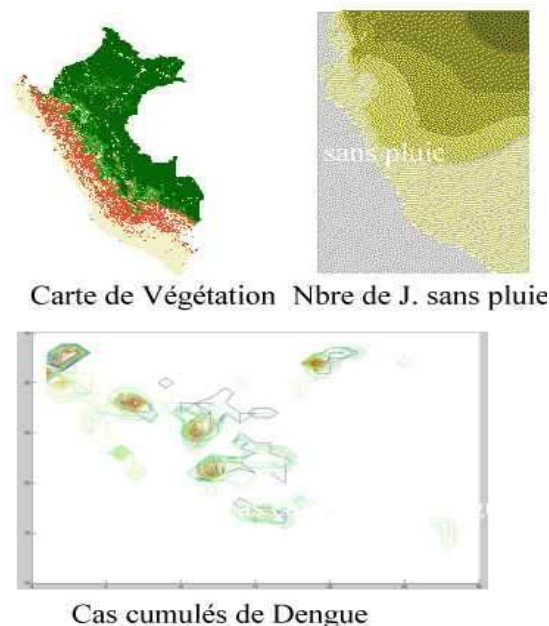


Figure 2.
Comparaison des formes de courbes reliant nombre de nouveaux cas et nombre cumulé de cas dans des épidémies réelles et simulées par des modèles homogènes et hétérogènes. La prise en compte d'une hétérogénéité des contacts basés sur l'organisation de la population en foyers permet de décrire la forme qualitative des courbes épidémiques,

bruit pendant un temps plus ou moins long). Au-dessus de ce seuil, il y a la possibilité d'une épidémie, avec un pic clairement défini et un nombre moyen de malades par jour non proche de zéro. Pour les valeurs les plus importantes, on retrouve la situation homogène. Pour les valeurs intermédiaires, les épidémies sont plus longues avec une phase de croissance linéaire du nombre cumulé de cas entre la phase de croissance exponentielle initiale et la phase finale de saturation.

L'introduction de ce type d'hétérogénéité permet donc de retrouver les caractéristiques qualitatives des courbes épidémiologiques réelles. D'autre part, il est possible de reproduire la courbe épidémiologique de l'île de Pâques en introduisant ce type d'hétérogénéité, mais sur trois niveaux. Les hôtes sont regroupés en maisons, elle-même regroupées en quartiers. Les contacts entre maisons sont favorisés pour les maisons d'un même quartier. Comme dans la situation réelle, on a considéré qu'un quartier seulement était infesté. Ces hypothèses permettent de reproduire les caractéristiques statiques et la forme de la courbe épidémiologique.

3) Constitution d'une base de données Dengue sur SIG au Pérou : Dans le cadre de MATECLID, en partenariat avec la société EKODES et l'Office Epidémiologique du Ministère de la Santé du Pérou, une base de données des facteurs de risque (nature de l'habitat, données climatiques etc.) et des cas de Dengue au Pérou. Cette base est en cours de couplage avec le modèle spatialisé ci-dessus.



Conclusion : Ces résultats ne montrent qu'une fraction des travaux réalisés dans ce programme. Il faudrait aussi mentionner entre autres un mode de calcul original du R_0 qui permet de diagnostiquer une épidémie dès son apparition, des suivis de gîtes larvaires (longitudinal à Brasilia, extensif en Thaïlande et à Lima), un modèle épidémique influencé par le climat avec prise en compte de la dynamique du vecteur, ainsi que des travaux sur la fièvre de la vallée du Rift et sur la fièvre West Nile.

Le réseau constitué avec MATECLID garde une cohérence après la phase de financement GICC 2003, tant en tant que tel que par son insertion dans d'autres programmes (ANR Epidengue etc.).