

CES Risques maladies infectieuses

Laboratoires / équipes impliqués: UPR AGIRs (CIRAD), UMR TETIS (CIRAD, Irstea, AgroParisTech), UMR CMAEE (CIRAD, INRA) ; UMR Espace-Dev (IRD, UM2, UAG, UR) ; CRC-Université de Bourgogne ; CNES ; Laboratoire d'Aérologie (UMR CNRS 5560)

Régions : Europe et DROM-COM ; Afrique de l'Ouest ; Brésil [extension à d'autres régions possible]

Echelle spatiale du produit final / couverture spatiale :

Variable selon les maladies et les objectifs, d'une échelle locale (une commune ou un département) étudiée à haute résolution spatiale (10 x 10 m, habitation), à une couverture continentale associée à des données de résolution plus faible (unité territoriale statistique niveau 3 – selon la nomenclature de l'Union Européenne - NUTS), et sachant que l'échelle de travail repose sur l'étude et la compréhension des mécanismes biologiques et physiques en jeu pour la maladie et/ou le vecteur étudiés.

Descriptif du produit avec un rappel de l'enjeu scientifique et sociétal :

Ces dernières décennies ont été marquées par l'émergence de nombreuses maladies infectieuses humaines et animales, avec un important impact sur la santé publique et vétérinaire¹ (Jones et al., 2008, Morens et al., 2004, Patz et al., 2000). La majorité des pathogènes responsables de ces émergences sont d'origine zoonotique (>60 %)¹ (Jones et al., 2008). Certains agents pathogènes hébergés par l'homme, et dont la transmission n'est pas vectorielle, peuvent aussi être à l'origine d'épidémies (ex. bactérie *Neisseria meningitidis* en Afrique), et ce encore à l'heure actuelle, malgré la mise en place de campagnes de vaccination massive en 2010 (LaForce et al., 2007). La part des maladies à transmission vectorielle, c'est-à-dire pour lesquelles l'agent pathogène est transmis d'un hôte vertébré infecté à un hôte vertébré sensible par l'intermédiaire d'un arthropode (dont les moustiques), elle augmente quant à elle significativement et continument. Différents facteurs sont mis en cause dans ces émergences ou ré-émergences récentes de maladies infectieuses, que ce soit des facteurs génétiques, biologiques, mais aussi environnementaux, climatiques ou bien politiques, économiques, démographiques et sociétaux¹ (Patz et al., 2004). Qu'il s'agisse ou non de maladies vectorielles, ces facteurs et leurs impacts relatifs sont le plus souvent méconnus. Il est tout d'abord nécessaire de les identifier pour ensuite les cartographier. La télédétection offre le potentiel de caractériser les conditions environnementales qui peuvent être favorables aux vecteurs et de nombreuses applications à l'épidémiologie ont été développées¹ (Hay, 2000, Herbreteau et al., 2007, Lambin et al., 2010, Machault et al., 2011). La cartographie de l'occupation du sol et en particulier des zones en eau, qui est un facteur déterminant de la présence et de l'abondance des vecteurs, est une des principales applications de la télédétection à l'épidémiologie spatiale¹ (Lambin et al., 2010). La cartographie des aérosols désertiques, dont les émissions dépendent des conditions de surface, et dont le rôle est prépondérant dans le déclenchement et le développement des épidémies de méningites en Afrique de l'Ouest (Martiny & Chiapello, 2013), est une autre application déterminante de la télédétection à l'épidémiologie spatiale.

Les équipes impliquées dans le CES proposé ont ainsi développé au cours des dernières années différentes méthodes et modèles pour mieux analyser la présence, l'abondance des vecteurs et le risque de transmission à la lumière des indices environnementaux et/ou météorologiques dérivés

d'images de télédétection. Certains résultats de recherche ont abouti au développement de méthodes opérationnelles de cartographie des risques épidémiologiques de différentes maladies infectieuses, vectorielles ou non, à partir de données de télédétection, en particulier pour la fièvre du Nil Occidental ¹(Tran et al., 2014) |, la fièvre de la Vallée du Rift ¹(Soti et al., 2013, Soti et al., 2012), pour partie étudiée selon la méthode de télé-épidémiologie (Lacaux et al., 2009, Lafaye et al., 2013) |, le paludisme ¹(Gaudart et al., 2009, Stefani et al., 2013, Stefani et al., 2011) | ou le paludisme urbain (Machault et al., 2012), la présence du moustique *Aedes albopictus*, vecteur des virus de la dengue et du chikungunya ¹(Tran et al., 2013) | ou de *Aedes aegypti* (Machault et al. soumis en 2014).

Les produits proposés dans le CES « risques maladies infectieuses » sont donc des cartes de risque, ce dernier étant défini, notamment, en termes de probabilité d'occurrence de cas ou d'exposition aux vecteurs, pour différentes maladies infectieuses (vectorielles ou non), différentes zones d'études et différentes échelles spatiales. Ces produits correspondent aux résultats de recherche des équipes proposant et sont mis à jour et à disposition dans le cadre du CES. Ces cartes sont destinées à contribuer à la diffusion de l'information sur les risques épidémiologiques liés aux maladies infectieuses, en particulier auprès des acteurs de santé publique et vétérinaire, et de manière plus générale sur les approches holistiques environnement/santé utilisatrices de la télédétection.

Etat de maturité du produit :

- cartes de risque de la fièvre du Nil Occidental en Europe : mise à jour annuelle, couverture spatiale = Europe et pays voisins, échelle : unité administrative niveau 2 (équivalent département français) → opérationnel immédiatement.

Les données d'entrée à mettre à jour annuellement sont : 1) les valeurs d'anomalies (par rapport à la moyenne sur la période 2002-2010) d'un indice d'eau (MNDWI : Modified Normalized Difference Vegetation Index) calculé à partir d'imagerie MODIS, en juin ; 2) les valeurs d'anomalies (par rapport à la moyenne 1981-2000) des températures estimées par la NOAA ; 3) les cas de fièvre du Nil Occidental reportés l'année précédente ¹(Tran et al., 2014) |.

- spatialisation d'un indicateur de risque relatif d'exposition aux vecteurs du paludisme à partir de l'occupation et de l'usage du sol, à la frontière guyano-brésilienne → premier produit disponible au deuxième semestre 2015 (Li et al., in prep)

La mise à jour annuelle de l'indicateur nécessite celle de l'occupation et de l'usage du sol (Forêt vs. Non forêt) : méthodologie en phase de recherche amont.

- cartes de risque de la fièvre de la Vallée du Rift au Sénégal : mise à jour annuelle, couverture spatiale = Nord Sénégal, résolution spatiale 10 m x 10 m → opérationnel à fin 2016 (fin du projet VMERGE)
- Early Warning System pour la fièvre de la Vallée du Rift au Sénégal (projet de télé-épidémiologie) : génération hebdomadaire des cartes des zones potentiellement occupées par des moustiques vecteurs; mise à jour tous les 3 ans des images satellites, couverture spatiale = Nord Sénégal (Ferlo), résolution spatiale 10 m x 10 m → opérationnel mi-2015

- carte de qualité des habitats d'*Anopheles darlingi*, principal vecteur du paludisme en Amazonie, à l'échelle de la Guyane → premier produit disponible au deuxième semestre 2015 (Moua et al, in prep)

Pas de mise à jour prévue pour l'instant.

- carte actualisée de risque de transmission de la leptospirose à La Réunion et à Mayotte → dans une phase recherche amont
- cartes de risque d'abondance du moustique *Aedes albopictus*, vecteur du virus du Chikungunya (Ile de la Réunion) : mise à jour bi-mensuelle, couverture spatiale = Ile de la Réunion, résolution spatiale 20 m x 20 m → dans une phase recherche amont
- cartes de risque de paludisme urbain à Dakar : génération quotidienne des cartes de risque de présence de vecteurs (larves et moustiques adultes) avec synthèse possible à différents pas de temps (hebdomadaire, mensuel) à une résolution spatiale de 10 m. Mise à jour tous les 5 ans maximum (selon la vitesse d'évolution de l'urbanisation) des cartes d'occupation du sol et des indices → opérationnel mi-2015.
- cartes de risque de présence de *Aedes aegypti* à Tartane, Martinique : génération quotidienne des cartes de risque de présence de vecteurs (larves) avec synthèse possible à différents pas de temps (hebdomadaire, mensuel), à la résolution spatiale des habitations de la commune. Mise à jour tous les 5 ans maximum des cartes d'occupation du sol et des indices → dans une phase recherche amont
- cartes de risque de présence de *Aedes aegypti* en Guyane française (toutes les zones du littoral) : génération quotidienne des cartes de risque de présence de vecteurs (larves et moustiques adultes) avec synthèse possible à différents pas de temps (hebdomadaire, mensuel) à la résolution spatiale des habitations + modèles de risque de survenue de cas de dengue. Mise à jour tous les 5 ans maximum des cartes d'occupation du sol et des indices → dans une phase recherche amont (potentialité d'introduction des cartes de risque dans le système régional de surveillance, de contrôle et d'alerte des épidémies)
- d'autres produits pourront être proposés par la suite, en fonction des résultats de recherche (exemples : cartes de risque épidémies de méningites Afrique, cartes de risque virus Nipah, Cambodge, etc)

Feuille de route / Echancier :

- Août 2014 : production de la carte de risque 2014 de la fièvre du Nil Occidental en Europe
- Deuxième semestre 2015 : production de la carte de risque de paludisme à la frontière Guyane-Brésil
- Mi- 2015 : production des cartes de risque de *Aedes aegypti* (larves et adultes) pour la dengue en Guyane
- Fin 2015 : production des cartes de risque de survenue des cas de dengue en Guyane
- Août 2015 : production de la carte de risque 2015 de la fièvre du Nil Occidental en Europe
- Août 2016 : production de la carte de risque 2016 de la fièvre du Nil Occidental en Europe
- Deuxième semestre 2015 : carte de qualité d'habitat d'*Anopheles darlingi* en Guyane

- Fin 2015 : cartes des habitats potentiels des moustiques, vecteurs de zoonoses, à Mayotte
- Décembre 2016 : production d'une carte de risque de la fièvre de la Vallée du Rift au Nord Sénégal et Sud Mauritanie

Utilisation de données spatiales nécessitant des prétraitements de l'IDS Theia :

MODIS (MOD09A, MOD04_L2), MSG (AERUS), calcul d'un indice d'eau (MNDWI - Modified Normalized Difference Vegetation Index)

SPOT 5, cartographie des zones en eau et végétation (classifications supervisées)

SPOT-5, cartographie Land Use Land Cover : classifications supervisées/non supervisées, pixel et objet, calcul d'indices (NDVI, NDWI ...)

Pléiades, cartographie Land Use Land Cover : classifications supervisées/non supervisées, pixel et objet, calcul d'indices (NDVI, NDWI ...)

Données pluvio-satellites (TRMM, RFE, GsMap...) : extraction des données en temps quasi-réel pour une zone donnée

Disponibilité de la méthode / algorithme validé :

- Fièvre du Nil Occidental : méthode disponible Juillet 2014
- Fièvre de la Vallée du Rift : méthode disponible Décembre 2015
- Fièvre de la Vallée du Rift (méthode de télé-épidémiologie) : méthode déjà disponible et algorithme validé
- Paludisme urbain : méthode déjà disponible
- Aedes albopictus : méthode disponible Octobre 2015 (sous réserve des résultats du projet scientifique en cours)
- Aedes aegypti : méthode disponible début 2015
- Dengue : méthode disponible fin 2015
- Production de l'indicateur de risque d'exposition vectoriel en Amazonie : deuxième semestre 2015 ;

Besoin de l'IDS Theia pour passer à la phase de production :

Point de contact du CES : Annelise TRAN, annelise.tran@cirad.fr

Références citées :

Gaudart, J., Toure, O., Dessay, N., Dicko, A. L., Ranque, S., Forest, L., Demongeot, J. and Doumbo, O. K., 2009. Modelling malaria incidence with environmental dependency in a locality of Sudanese savannah area, Mali. *Malaria Journal*. 8.

Hay, S. I., 2000. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Advances in parasitology*. 47, 1-35.

Herbreteau, V., Salem, G., Souris, M., Hugot, J.-P. and Gonzalez, J.-P., 2007. Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: From early promises to lasting frustration. *Health & Place*. 13, 400-403.

Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L. and Daszak, P., 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*. 451, 990-3.

- Lacaux, J-P., Tourre, Y.M., Vignolles, C., Ndione, J-A., and Lafaye, M., 2007. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing. *Rem Sens Envir* 106(1), 66-74.
- Lafaye, M., Sall, B., Ndiaye, Y., Vignolles, C., Tourre, Y.M., Borchhi, F.O., Soubeyroux, J-M., Diallo, M., Dia, I., Ba, Y., Faye, A., Ba, T., Ka, A., Ndione, J-A., Gauthier, H. and Lacaux, J-P. 2013. Rift Valley fever dynamics in Senegal: a project for pro-active adaptation and improvement of livestock raising management. *Geospat Health*. 8(1), 279-88.
- LaForce M., Konde K., Viviani S., Préziosi M-P, 2007. The Meningitis Vaccine Project. *Vaccine*, 3(25) Suppl 1:A97–100.
- Lambin, E. F., Tran, A., Vanwambeke, S. O., Linard, C. and Soti, V., 2010. Pathogenic landscapes: interactions between land, people, disease vectors, and their animal hosts. *Int J Health Geogr*. 9, 54.
- Machault, V., Vignolles, C., Borchhi, F., Vounatsou, P., Pages, F., Briolant, S., Lacaux, J. P. and Rogier, C., 2011. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospat Health*. 5, 151-68.
- Machault, V., Vignolles, C., Pagès, F., Gadiaga, L., Tourre, Y.M., Gaye, A., Sokhna, C., Trape, J-F., Lacaux, J-P. and Rogier, C., 2012. Risk mapping of *Anopheles gambiae* s.l. densities using remotely-sensed environmental and meteorological data in an urban area: Dakar, Senegal. *PLoS One*. 7:e50674.
- Machault, V., Yébakima, A., Etienne, M., Vignolles, C., Palany, P., Tourre, Y.M., Guérécheau, M. and Lacaux, J-P., Submitted. Mapping entomological dengue risk levels in Martinique using high-resolution remote-sensing environmental data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*.
- Martiny, N., and Chiapello, I., 2013. Assessments for the impact of mineral dust on the meningitis incidence in West Africa. *Atmospheric Environment*. 70, 245-253.
- Morens, D. M., Folkers, G. K. and Fauci, A. S., 2004. The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. *Nature*. 430, 242-9.
- Patz, J. A., Daszak, P., Tabor, G. M., Aguirre, A. A., Pearl, M., Epstein, J., Wolfe, N. D., Kilpatrick, A. M., Foutopoulos, J., Molyneux, D. and Bradley, D. J., 2004. Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environ Health Perspect*. 112, 1092-8.
- Patz, J. A., Graczyk, T. K., Geller, N. and Vittor, A. Y., 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *Int J Parasitol*. 30, 1395-405.
- Soti, V., Chevalier, V., Maura, J., Begue, A., Lelong, C., Lancelot, R., Thiongane, Y. and Tran, A., 2013. Identifying landscape features associated with Rift Valley fever virus transmission, Ferlo region, Senegal, using very high spatial resolution satellite imagery. *International Journal of Health Geographics*. 12,
- Soti, V., Tran, A., Degenne, P., Chevalier, V., Lo Seen, D., Thiongane, Y., Diallo, M., Guegan, J. F. and Fontenille, D., 2012. Combining hydrology and mosquito population models to identify the drivers of rift valley Fever emergence in semi-arid regions of west Africa. *PLoS Negl Trop Dis*. 6, e1795.
- Stefani, A., Dusfour, I., Correa, A. P., Cruz, M. C., Dessay, N., Galardo, A. K., Galardo, C. D., Girod, R., Gomes, M. S., Gurgel, H., Lima, A. C., Moreno, E. S., Musset, L., Nacher, M., Soares, A. C., Carne, B. and Roux, E., 2013. Land cover, land use and malaria in the Amazon: a systematic literature review

of studies using remotely sensed data. *Malar J.* 12, 192.

Stefani, A., Roux, E., Fotsing, J. M. and Carme, B., 2011. Studying relationships between environment and malaria incidence in Camopi (French Guiana) through the objective selection of buffer-based landscape characterisations. *International Journal of Health Geographics.* 10,

Tran, A., L'Ambert, G., Lacour, G., Benoit, R., Demarchi, M., Cros, M., Cailly, P., Aubry-Kientz, M., Balenghien, T. and Ezanno, P., 2013. A rainfall- and temperature-driven abundance model for *Aedes albopictus* populations. *Int J Environ Res Public Health.* 10, 1698-719.

Tran, A., Sudre, B., Paz, S., Rossi, M., Desbrosse, A., Chevalier, V. and Semenza, J., 2014. Environmental predictors of West Nile fever risk in Europe. *Int J Health Geogr.* Sous presse.