

Avec *Perspective*, le Cirad propose un espace d'expression pour de nouvelles pistes de réflexion et d'action, fondées sur des travaux de recherche et sur l'expertise, sans pour autant présenter une position institutionnelle.

# Renforcer les décisions en santé sur un territoire : l'appui opérationnel de l'évaluation multicritère spatialisée

Annelise TRAN – François ROGER

**Les maladies animales ainsi que les zoonoses, maladies infectieuses transmises entre les animaux et les hommes, sont un problème socioéconomique et de santé publique à l'échelle mondiale. Surveiller et contrôler ces maladies impliquent d'identifier les zones à risque. Des cartes de ces zones peuvent être établies en utilisant l'évaluation multicritère spatialisée, une méthode récente, rapide à mettre en œuvre et rigoureuse. Encore peu connue des décideurs en santé animale et publique vétérinaire, cette méthode est adaptée**

**aux régions qui ont accès à peu de données épidémiologiques fiables, comme les pays du Sud à faible revenu ou les régions encore indemnes. Les cartes sont construites avec les experts locaux des régions concernées. Elles présentent des indices de risque qui combinent les données géographiques et environnementales, les avis d'experts et les informations issues d'études ou d'enquêtes existantes. Ces cartes peuvent ensuite être utilisées pour mieux cibler la surveillance et le contrôle des maladies.**

Pour mieux cibler la surveillance et le contrôle des maladies animales ou zoonotiques potentiellement émergentes ou présentes sur un territoire, la première action est d'identifier les zones à risque. Pour une maladie et un territoire donnés, les risques sont l'introduction de l'agent pathogène, son amplification [sa transmission locale, créant un premier foyer], sa diffusion [son transport d'un foyer initial à un ou plusieurs foyers secondaires], son maintien, ainsi que les conséquences socioéconomiques associées à sa survenue.

La surveillance basée sur le risque a deux atouts opérationnels : elle aide à rationaliser l'utilisation des ressources humaines et financières, très limitées dans les pays du Sud à faible revenu, et elle est bien adaptée à la détection de maladies nouvelles au Sud comme au Nord. Toutefois, ce type de surveillance s'appuie sur des méthodes qualitatives et empiriques difficiles à évaluer, ou sur des méthodes plus classiques de cartographie qui ont besoin de grands jeux de données sanitaires. Or de tels jeux de données font souvent défaut dans les pays du Sud, et dans une zone indemne d'une maladie potentiellement émergente, les données sanitaires pour la construction des modèles ou la validation des cartes sont forcément inexistantes. De ce fait, les facteurs de risque environnementaux d'une maladie ne sont pas toujours identifiés ni quantifiés, ce qui empêche d'en

évaluer les risques d'amplification et de diffusion, et encore moins ceux d'endémisation.

C'est pourquoi il est indispensable de développer des méthodes qui n'ont pas besoin d'importants jeux de données sanitaires et qui permettent de tenir compte de tous les facteurs pour le risque étudié. C'est le cas de la méthode d'évaluation multicritère spatialisée [*Spatial MultiCriteria Evaluation*, *Spatial MCE*] qui se fonde sur les connaissances, et qui est encore très peu utilisée par les décideurs en santé animale et publique vétérinaire [voir encadré p. 2].

## L'évaluation multicritère spatialisée, une solution pour les régions pauvres en données épidémiologiques et sanitaires

Les exemples d'application de l'évaluation multicritère spatialisée à des zoonoses, telles que la grippe aviaire en Asie du Sud-Est et la fièvre de la Vallée du Rift en Afrique de l'Est, montrent que cette approche est robuste et pertinente [voir exemples p. 3].

Dans des contextes pauvres en données issues d'enquêtes ou de systèmes de suivi et de surveillance, cette méthode est une solution intéressante et relativement simple à mettre en œuvre. Elle s'adapte à différentes échelles géographiques

## Étapes de l'évaluation multicritère spatialisée

### Les six étapes clés

**1- Définir le risque et le territoire d'intérêt.** Le risque à cartographier [risque d'introduction, d'amplification, de diffusion, de maintien, etc.], et le territoire ciblé, avec l'unité géographique élémentaire de calcul [commune, district, région, maille de 1 km<sup>2</sup>, etc.].

**2- Identifier les facteurs, ou critères,** ayant un rôle connu ou supposé pour ce risque : facteurs environnementaux, densités animales, pratiques d'élevage, etc. Analyse des sources bibliographiques et discussions avec les experts locaux [épidémiologistes, écologues, entomologistes, spécialistes de la santé humaine ou animale, etc.].

**3- Pondérer ces facteurs à partir des avis experts.** Attribution d'une note, ou poids, entre 0 et 1 selon leur importance relative. Proche de 0, le facteur contribue faiblement au risque ; à l'inverse, proche de 1, le facteur est déterminant. Des méthodes traduisent les avis qualitatifs des experts en valeurs numériques.

**4- Collecter les données géographiques** correspondant aux facteurs identifiés. Selon l'unité de calcul, ces données sont collectées sur le terrain ou proviennent d'instituts nationaux ou de bases de données géographiques accessibles sur internet.

**5- Créer des indices de risque spatialisés et standardisés.** Pour chaque unité géographique élémentaire, les données géographiques sont transformées pour attribuer à chaque critère une valeur numérique reflétant le risque selon le critère étudié : de 0, risque très faible, à 1, risque fort. Cette transformation reflète la relation entre le critère et le risque étudié, relation qui peut prendre différentes formes [croissante, décroissante, avec un optimum, linéaire ou non] et qui doit traduire les avis qualitatifs des experts.

**6- Combiner les indices de risque spatialisés pour aboutir à la carte de risque.** Pour chaque unité géographique élémentaire, un indice synthétique de risque est obtenu en calculant par exemple la somme des indices de risque calculés à l'étape 5 pondérés par leur poids. Le résultat est une carte visualisant chaque unité géographique avec sa valeur de risque. Une unité géographique aura ainsi une valeur de risque d'autant plus élevée [proche de 1] que les indices calculés en étape 5 ont une valeur élevée.

### Selon les conditions, deux étapes supplémentaires

**7- Analyser l'incertitude et la sensibilité associées à la carte de risque.** Cela consiste à faire varier le poids attribué à chaque facteur : avec des poids différents, obtient-on la même carte ? Lorsque les experts donnent des avis différents, quel est l'impact sur la variabilité du résultat ? Une carte d'incertitude peut alors être associée à la carte de risque.

**8- Valider la carte de risque** en confrontant les valeurs de l'indice de risque calculées pour les différentes unités géographiques aux données épidémiologiques pour la maladie considérée, si ces données sont disponibles. Cette étape permet d'évaluer la pertinence de la carte avant de l'utiliser pour la surveillance. Dans l'exemple 1 sur la grippe aviaire, la méthode a été appliquée et validée en Thaïlande ; la validation en a montré la haute valeur prédictive et a justifié son usage au Cambodge.

### Et l'indispensable étape d'explication aux utilisateurs finaux

Il est primordial de communiquer aux utilisateurs finaux toutes les informations de production de la carte : choix et pondération des facteurs de risque, sources des données géographiques, carte d'incertitude, etc. C'est souvent ce qui manque dans l'application des analyses de risque.

[internationale, nationale, locale], ce qui permet des décisions appropriées à chaque niveau. Elle intègre les avis d'experts pour identifier les facteurs environnementaux et les pratiques d'élevage qui favorisent l'introduction ou la transmission des maladies. A partir de ces connaissances, elle produit des cartes des zones à risque que les acteurs de la santé d'un territoire peuvent utiliser pour mettre en place les actions de surveillance. Ces cartes synthétisent les connaissances sur une maladie à un instant donné : elles peuvent aussi être actualisées en fonction des connaissances acquises, comme un facteur supplémentaire de risque ou la modification de l'importance relative des différents facteurs.

L'évaluation multicritère spatialisée offre l'avantage de cartographier un risque de santé sans utiliser de données sur l'occurrence du problème de santé ciblé. Elle est ainsi complémentaire d'autres modèles utilisés en épidémiologie comme les modèles statistiques de distribution de l'occurrence d'une maladie et les modèles mécanistiques de diffusion. Cependant, elle pourrait être considérée comme subjective car elle s'appuie sur des connaissances et des avis experts d'acteurs concernés. La fiabilité de la méthode repose donc d'une part sur la qualité de cette expertise et d'autre part sur la qualité des données reflétant les variations géographiques des facteurs de risque pris en compte.

Lorsque des données sanitaires sont disponibles, on peut les exploiter pour évaluer la qualité de la carte de risque : dans les exemples présentés, en Asie du Sud-Est et en Afrique de l'Est, cette validation a montré en particulier la robustesse de la méthode pour cartographier les risques de transmission d'une maladie.

### Former les acteurs de terrain à l'usage de l'évaluation multicritère spatialisée

L'évaluation multicritère spatialisée requiert la maîtrise d'outils informatiques, comme les systèmes d'information géographique (SIG), indispensables pour exploiter les données géographiques et produire les cartes de risque à partir des connaissances. Pour que les acteurs de la santé s'approprient cette méthode, un apprentissage des outils SIG et des méthodes de cartographie du risque doit être organisé. Également, l'adaptation d'outils SIG simples à prendre en main favoriserait une plus large utilisation : par exemple, l'Institut Pasteur de Madagascar travaille sur une extension au logiciel libre d'information géographique QGIS qui permettra d'implémenter la méthode.

Une autre contrainte technique est l'accès à des bases de données géographiques et environnementales qui caractérisent le risque étudié,

## Exemple 1.

### Cartographie des zones à risque de transmission de la grippe aviaire chez les volailles domestiques en Thaïlande et au Cambodge

**Etape 1, territoire d'intérêt.** La méthode d'évaluation multicritère a été appliquée et validée en Thaïlande puis déployée au Cambodge. Ce pays à faible revenu dispose de peu de données épidémiologiques. Les cartes obtenues identifient les zones à risque à surveiller en priorité.

**Etape 2, facteurs de risque.** Canards en pâturage libre, poulets et canards de ferme, routes et marchés, eau et rizières, population humaine...

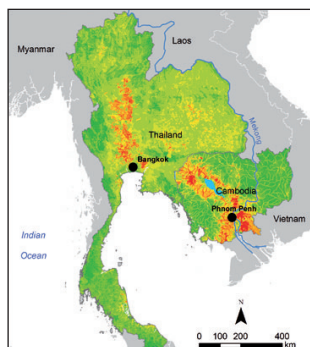
**Etape 3, facteurs pondérés par les experts.** Selon le pays, les facteurs ont des poids différents, mais les canards en pâturage libre arrivent en tête.

**Etape 4, données géographiques.** Densité de canards en pâturage libre, densités de poulets et de canards de ferme, densité du réseau routier, proximité des marchés, densité du réseau hydrographique, surface de rizières.

**Etape 5, indices de risque spatialisés et standardisés,** variant entre 0 et 1 pour chacun des facteurs.

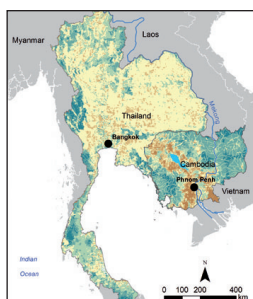
#### Etape 6, carte de risque.

Du vert, zones à faible risque, au rouge, zones à risque élevé.



#### Etape 7, incertitude de la carte.

Du vert-de-gris, incertitude faible, en passant par le jaune pâle, incertitude moyenne, au marron, incertitude plus élevée.



Les cartes sont tirées de l'article en libre accès : Paul M. C. et al. [2016] *Scientific Reports* 6, 31096. <https://doi.org/10.1038/srep31096>

comme les cartes de distribution des animaux, le type de végétation, la présence d'eau. Ces données ne sont pas toujours disponibles, mais bien souvent des données gratuites existent sur internet et permettent d'avoir une première estimation. Des portails d'information géographique mettent à disposition de telles bases de données environnementales. C'est le cas du portail européen E3 Geoportal (European Environment and Epidemiology Network, du Centre européen de prévention et contrôle des maladies) et du portail AWARE (Atlas web agricole pour la recherche, du Cirad). Là aussi, des formations doivent être organisées auprès des utilisateurs pour qu'ils apprennent à accéder à ces données, à les télécharger et à les intégrer dans un système d'information géographique.

## Exemple 2.

### Cartographie des zones potentiellement favorables à l'amplification et à la diffusion du virus de la fièvre de la Vallée du Rift en Afrique de l'Est (Éthiopie, Ouganda, Kenya, Tanzanie)

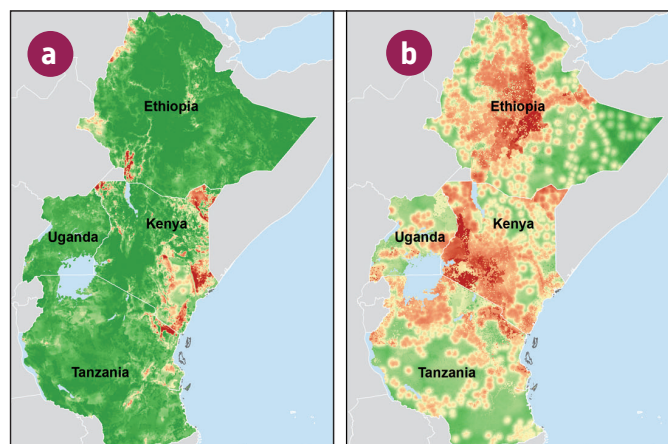
Les facteurs de risque identifiés sont les mêmes pour les deux processus, mais le poids de chaque facteur est différent : lors de l'amplification, les moustiques vecteurs prédominent dans la transmission du virus, alors que le commerce des ruminants est le premier facteur dans la diffusion du virus.

La carte de risque finale, combinant amplification et diffusion, a été confrontée aux foyers déclarés au Kenya et en Tanzanie : cette validation a montré la robustesse de l'approche pour établir des cartes de risque dans les pays voisins indemnes.

#### Carte de risque :

**(a) risque d'amplification - (b) risque de diffusion.**

Du vert, faible, en passant par le jaune, moyen, au rouge sombre, très élevé.



Les cartes sont tirées de l'article en libre accès : Tran A. et al. [2016] *PLoS Neglected Tropical Diseases* 10(9): e0004999. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004999>

## Perspectives : affiner les méthodes et les utiliser dans un contexte *One Health* sur un territoire

L'efficacité de l'évaluation multicritère spatialisée présentée ici ouvre sur des perspectives de développements méthodologiques utiles à la gestion des risques en santé sur un territoire.

Des méthodes d'analyse de décision multicritère (*Multicriteria Decision Analysis*, MCDA) pourraient aussi être mises au point pour l'aide à la décision à partir de l'explicitation de différents scénarios. Pour une maladie donnée, plusieurs cartes sont construites à partir de différentes hypothèses des utilisateurs. Ces cartes servent à discuter les connaissances

sur la transmission de la maladie, par exemple le rôle d'un réservoir sauvage ou le rôle du commerce. Elles définissent des zones où la probabilité de détection d'une maladie est élevée, et elles prennent également en compte le risque d'une force élevée de diffusion, ou un risque élevé de maintien, ou encore une zone où les conséquences socioéconomiques seront les plus graves.

L'évaluation multicritère spatialisée pourrait être couplée à d'autres méthodes utilisées en épidémiologie, comme les modèles d'analyse des réseaux sociaux, afin d'estimer plus finement les risques.

Elle pourrait aussi être couplée à la cartographie participative, utilisée à une échelle très locale. Les acteurs (éleveurs, personnel médical, vétérinaires, etc.) dessinent une carte directement, qui pourrait être connectée aux cartes de risque établies pour des espaces plus vastes.

Des évaluations multicritères non spatialisées sont également envisageables, pour aider à la décision dans le domaine du contrôle d'une maladie ou pour hiérarchiser des choix,

comme celui de définir les maladies prioritaires. C'est le cas de l'outil sur les maladies humaines du Centre européen de prévention et de contrôle des maladies.

Toutes ces méthodes, en combinant des facteurs de risque issus de secteurs différents et de diverses disciplines, peuvent aider à mieux intégrer les connaissances aux actions de santé et de politiques sanitaires. En particulier, elles peuvent aider à mettre en œuvre sur le terrain des approches systémiques en santé à diverses échelles — *One Health* (une seule santé), *EcoHealth* (écosanté), *Planetary Health* (santé planétaire) — au carrefour des santés humaine, animale et environnementale.

A plus long terme, le développement de méthodes d'intelligence artificielle dans le domaine de la santé pourrait conduire à la définition d'algorithmes pour capturer et agencer les données disponibles, y compris textuelles. Ces algorithmes pourraient compléter les aspects sous supervision humaine [experts] dans le but de proposer des cartes prédictives du risque. ■

Ce *Perspective* n° 46 est issu de travaux de recherche menés par les auteurs et leurs partenaires en Europe, avec un projet financé par la FAO pour l'Afrique de l'Est [via FAO One Health Project OSRO/GLO/104/IRE, [www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/empres/news\\_220213.html#note1](http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/empres/news_220213.html#note1)], et en Asie au travers du programme REVASIA [Research for Evaluation of Animal Health Surveillance and Control in South East Asia, <http://revasia.cirad.fr/>], dans le cadre du Dispositif de recherche et enseignement en partenariat GREASE [Gestion des risques épidémiologiques émergents en Asie du Sud-Est, [www.grease-network.org/](http://www.grease-network.org/)].

Ces travaux ont notamment donné lieu aux publications suivantes :

Paul M. C., Goutard F. L., Rouleau F., Holl D., Thanapongtharm W., Roger R. L., Tran A., 2016. Quantitative assessment of a spatial multicriteria model for highly pathogenic avian influenza H5N1 in

Thailand, and application in Cambodia. *Nature Scientific Reports* 6:31096. <https://doi.org/10.1038/srep31096>.

Tran A., Trevenec C., Lutwama J., Sserugga J., Gély M., Pitigliano C., Pinto J., Chevalier V., 2016. Development and Assessment of a Geographic Knowledge-Based Model for Mapping Suitable Areas for Rift Valley Fever Transmission in Eastern Africa. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 10(9): e0004999. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004999>.

Tran A., Ippoliti C., Balenghien T., Conte A., Gely M., Calistri P., Goffredo M., Baldet T., Chevalier V., 2013. A geographical information system-based multicriteria evaluation to map areas at risk for rift valley fever vector-borne transmission in Italy. *Transboundary and Emerging Diseases* 60 (suppl. 2): 14-23. <https://doi.org/10.1111/tbed.12156>.

## Quelques liens

Aenishaenslin C., Hongoh V., Djibrilla Cissé H., Gatewood Hoen A., Samoura K., Michel P., Waaub J.-P., Bélanger D., 2013. Multi-criteria decision analysis as an innovative approach to managing zoonoses: results from a study on Lyme disease in Canada. *BMC Public Health* 13:897. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-897>.

AWARE, Atlas Web Agricole pour la Recherche au service de l'agriculture, de l'environnement et de la recherche en agronomie tropicale [Cirad]. <http://aware.cirad.fr/>.

ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control - Centre européen de prévention et de contrôle des maladies). ECDC tool for the prioritisation of infectious disease threats. <https://ecdc.europa.eu/en/publications-data/ecdc-tool-prioritisation-infectious-disease-threats>.

European Environment and Epidemiology (E3) Network. E3 Geoportal. <https://e3geoportal.ecdc.europa.eu>.


Institut Pasteur de Madagascar. Projet EPI-GISVEC, GIS and Vector Control program to identify priority areas for insecticide residual spraying. [www.pasteur.mg/projets/gis-and-vector-control-program-to-identify-priority-areas-for-insecticide-residual-spraying/](http://www.pasteur.mg/projets/gis-and-vector-control-program-to-identify-priority-areas-for-insecticide-residual-spraying/).

QGIS, Système d'Information Géographique Libre et Open Source. [www.qgis.org/](http://www.qgis.org/).

## Quelques mots sur...

**Annelise Tran** est chercheuse en géomatique au Cirad à l'UMR TETIS (Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale, <https://tetis.teledetection.fr/index.php/fr/>) et chercheuse associée à l'UMR ASTRE. Elle est basée à l'île de la Réunion. Ses activités portent sur le développement de méthodes en télédétection et modélisation spatiale avec des applications dans le domaine de la santé. [annelise.tran@cirad.fr](mailto:annelise.tran@cirad.fr)

**François Roger** est vétérinaire et épidémiologiste au Cirad où il codirige l'UMR ASTRE (Animal, Santé, Territoires, Risques et Ecosystèmes, <http://umr-astre.cirad.fr/>). Après plusieurs années d'activités en Afrique subsaharienne, en Europe et en Asie, il est basé à l'île de la Réunion où il coordonne plusieurs thématiques transversales et multi-sites dans le domaine de la santé. [francois.roger@cirad.fr](mailto:francois.roger@cirad.fr)

 Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons CC-BY 4.0: Attribution - 4.0 International <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

**Pour citer ce document**  
Tran A., Roger F., 2018. Renforcer les décisions en santé sur un territoire : l'appui opérationnel de l'évaluation multicritère spatialisée. Cirad, Montpellier, *Perspective* 46. <https://doi.org/10.19182/agritrop/00021>.

 **cirad**  
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT  
42, rue Scheffer  
75116 Paris • France  
[www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)

**Directeur de la publication** : Michel Eddi,  
Président directeur général du Cirad

**Rédacteur.e.s en chef** : Patrick Caron, direction générale  
déléguée à la recherche et à la stratégie  
Cécile Fovet-Rabot, délégation à l'information  
scientifique et technique

**Mise en pages et illustrations** : Delphine Lavastre-Guard,  
délégation à la communication

**Diffusion** : Christiane Jacquet, délégation  
à la communication

[www.cirad.fr/publications-ressources/edition/perspective-policy-brief](http://www.cirad.fr/publications-ressources/edition/perspective-policy-brief)  
*perspective* ISSN-L 2275-9131 - **Courriel** : [perspective@cirad.fr](mailto:perspective@cirad.fr)

 **MUSE**  
MONTPELLIER UNIVERSITÉ D'EXCELLENCE <http://muse.edu.umontpellier.fr/>