

Amélioration de la surveillance de l'influenza aviaire de type H5N1:
Cartographie du risque d'Influenza Aviaire de type H5N1 en Afrique

Rapport final et cartes de risques d'influenza aviaire

Dans le cadre du Projet Détection rapide, rapportage et
surveillance de l'influenza aviaire en Afrique - USAID



K.B. Stevens, S. Costard, R. Métras, W. Theuri, S. Hendrickx, D.U. Pfeiffer



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

ILRI
INTERNATIONAL
LIVESTOCK RESEARCH
INSTITUTE

Février 2010

Amélioration de la surveillance de l'influenza aviaire de
type H5N1: Cartographie du risque d'Influenza Aviaire
de type H5N1 en Afrique

Rapport final et cartes de risques d'influenza aviaire

Dans le cadre du Projet Détection rapide, rapportage et
surveillance de l'influenza aviaire en Afrique - USAID

K.B. Stevens, S. Costard, R. Métras, W. Theuri, S. Hendrickx, D.U. Pfeiffer

Février 2010

Le projet: Cette publication fait partie d'une série de documents élaborés pour aider la prise de décision en matière de prévention et de contrôle de la grippe aviaire hautement pathogène de type H5N1 par l'utilisation d'une cartographie du risque, et est le résultat du projet détection rapide et surveillance de l'influenza aviaire en Afrique (EDRS-AIA) mis en œuvre par l'institut international pour la recherche sur l'élevage (ILRI) en collaboration avec le bureau interafricain des ressources animales de l'union africaine (UA-BIRA).

Chercheurs et auteurs: Une équipe conjointe de chercheurs de Royal Veterinary College (RVC) de Londres et de ILRI a élaboré cette série de publications sous la supervision du Professeur Dirk Pfeiffer. Les membres de l'équipe sont Solenne Costard, Kim Stevens, Raphaëlle Métras, Wachira Theuri, Russ Kruska, Tom Randolph, Delia Grace, et Saskia Hendrickx.

Rédaction: Carole Douglis

Graphisme: Lilian Ohayo

Photographie: Stevie Mann/ILRI

Remerciements: Nous remercions les personnes suivantes pour leurs observations et suggestions: Gary Smith, de l'Agence américaine pour le développement international (USAID) ainsi que les membres du projet détection rapide et surveillance de l'influenza aviaire en Afrique (EDRS-AIA) de ILRI/UA-IBAR.

Financement: Cette série de publications a été rendue possible par la généreuse contribution du Peuple américain à travers l'Agence américaine pour le développement international (USAID). Le contenu de cette publication relève de la responsabilité de l'institut international pour la recherche sur l'élevage (ILRI) et/ou du bureau interafricain des ressources animales de l'union africaine (UA-BIRA), et ne reflète pas nécessairement l'opinion d'USAID ou du Gouvernement américain.

Table des matières

Sigles et abréviations	2
-------------------------------	----------

Résumé	3
---------------	----------

Introduction	8
---------------------	----------

Qu'est-ce qu'une carte de risques?

Introduction à la cartographie de facteurs de risques de la grippe aviaire de type H5N1

Pourquoi les cartes de risques sont-elles nécessaires?

Les cartes de risques peuvent-elles nous indiquer le prochain foyer de grippe aviaire?

Les cartes de risques peuvent-elles être améliorées avec le temps?

Méthodologie: Production de cartes de risques de la grippe aviaire	10
---	-----------

Affinage et validation des cartes de risques de grippe aviaire	15
---	-----------

Cartes finales de risques réalisées sur la base des couches et des pondérations mises à jour	19
---	-----------

Limites des cartes de risques	23
--------------------------------------	-----------

Références	24
-------------------	-----------

Annexe	A-iii
---------------	--------------

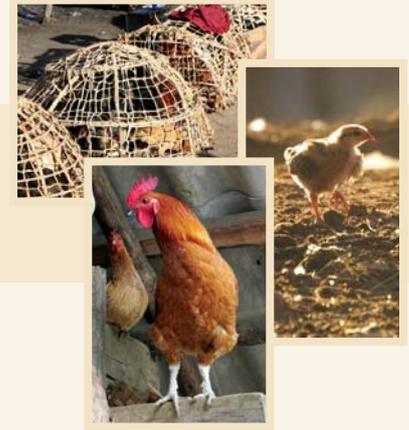


Sigles et abréviations

ECF	Fièvre de la côte orientale
EP	Epidémiologie participative
EPI	Equipement de protection individuelle
ERP	Evaluation rurale participative
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FA	Fièvre aphteuse
GPS	Global Positioning System [Système mondial de localisation]
IAHP	Influenza aviaire hautement pathogène
ILRI	Institut international de recherche sur l'élevage
IAFP	Influenza aviaire faiblement pathogène
ND	Maladie de Newcastle
OIE	Office international des épizooties
OMS	Organisation mondiale de la santé
PA	Enquête participative
PPCB	Péripleumonnie contagieuse bovine
PPR	Peste des petits ruminants
RVF	Fièvre de la Vallée du Rift
SH	Septicémie hémorragique
SPM	Surveillance participative de la maladie
SOP	Méthodes de fonctionnement normalisées
UA-BIRA	Union africaine – Bureau interafricain des ressources animales
USAID	Agence américaine pour le développement international
VSF-B	Vétérinaires sans Frontières-Belgique



Résumé



Bien fondé du projet et méthodes

Plus de 85% des ménages ruraux en Afrique élèvent la volaille aux fins d'alimentation, de revenu ou les deux, et de nombreuses personnes vivent en contact étroit avec leurs oiseaux. La possibilité d'une épidémie de l'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) de type H5N1 est donc une grande préoccupation. Depuis 2006, la grippe aviaire est apparue dans au moins 11 pays africains et plus de 600 foyers d'épidémie ont été signalés.

La vigilance est essentielle en vue de limiter la maladie mais le personnel de santé animale ne peut faire un suivi partout à la fois. Ce projet de cartographie de facteurs de risques a été conçu en vue d'aider à prioriser leurs efforts en indiquant les lieux où il existe un risque très élevé de flambées de la maladie.

La cartographie des risques est une image complexe générée par ordinateur qui montre la répartition spatiale des facteurs de risques prévus d'une maladie. Elle est fondée sur la répartition spatiale des « facteurs de risques » associés au risque accru de maladie et à l'importance relative de chacun de ces facteurs. Dans le cas d'une grippe aviaire de type H5N1, les facteurs de risques sont les principales voies de transport, les marchés de volailles et les points d'eau avec possibilité de contact entre les oiseaux domestiques et sauvages.

Pour ce projet, les chercheurs ont préparé des cartes de risques de grippe aviaire en Afrique en utilisant la modélisation de décision multicritères (MCDM). De cette façon, ils ont intégré les données et les informations de diverses sources telles que les publications scientifiques, les cartes disponibles dans le domaine public, les études de terrain et les consultations d'expert.

Méthodologie

Un premier ensemble de cartes de risques a été préparé en utilisant la MCDM en 2009 (voir Rapport initial de carte de risques de grippe aviaire [3]). En vue de produire les cartes finales contenues dans le présent rapport, ces cartes ont été ensuite affinées comme suit :

- 1) la vérification au sol des facteurs de risques dans certains pays. Par exemple, les chercheurs se sont assurés que les routes et ports de commerce trouvés sur les cartes dans le domaine public sont réellement utilisés. Lorsqu'ils trouvaient des différences, ces cartes étaient révisées sur la base des informations collectées.

- 2) Amélioration de la résolution de l'imagerie satellite utilisée pour les modèles informatiques de trente mètres carrés à un mètre carré.
- 3) Obtention de l'opinion d'experts - intégrer l'avis de ceux qui ont le plus d'expérience en matière d'influenza aviaire sur le continent permet d'affiner les cartes.
- 4) Validation des cartes de risques. Les chercheurs ont comparé les épidémies réelles sur le terrain avec les prédictions des cartes de risques..

Résultats du projet

- 1) Alors que la plupart des documents mettent l'accent sur le rôle des oiseaux sauvages dans l'introduction et la propagation de la maladie, les experts ont jugé que le commerce de la volaille et des produits avicoles (y compris les œufs) est au moins aussi, sinon le plus important.
- 2) La densité de la production avicole est considérée comme un risque majeur dans la propagation de la grippe aviaire.
- 3) Le risque est cumulatif et est basé sur le nombre et la puissance des facteurs de risques en un lieu donné. Ainsi, par exemple, les zones à forte densité de populations adjacentes aux voies de migration des oiseaux sauvages et où le commerce de volaille est pratiqué, seraient plus vulnérables que les zones rurales isolées proches des voies aériennes de migration.
- 4) Les modèles informatiques ont identifié seulement 2,5% de la masse continentale qui se trouve dans la catégorie « la plus susceptible » à l'apparition de foyers de la grippe aviaire de type H5N1. Les zones des trois premières catégories les plus exposées (sur dix catégories) couvrent 21,8% du continent.
- 5) Les cartes se sont révélées très précises. Les chercheurs les ont comparées aux foyers d'épidémies réelles qui ont eu lieu entre 2006 et 2009 et ont trouvé que 97,4% des 605 épidémies sont survenues dans des zones situées dans les trois premières catégories à risque. En outre, 34,3% des foyers d'épidémies signalés étaient situés dans les 2,5% des territoires classés comme ayant les risques les plus élevés.
- 6) Les lieux représentant les risques les plus élevés d'introduction de la forme virulente de la grippe aviaire sont :
 - La côte de l'Afrique de l'Ouest et du Nord, non compris le Sahel,
 - Le long du Nil, non compris le Delta du Nil,
 - Certaines parties des territoires de l'Ouganda, du Rwanda, du Burundi et du sud Kenya qui comprennent à la fois des couloirs aériens de migration des oiseaux sauvages, les régions peuplées de faune sauvage et les routes de commerce,

- L'Est de l'Afrique du Sud qui abrite une grande faune à proximité de grandes villes dotées d'exploitations avicoles commerciales et d'aéroports par lesquels les volailles sont commercialisées.

7) Les lieux où la propagation du VIAHP est le plus susceptible de survenir une fois introduits sont:

- Semblables aux lieux à hauts risques d'introduction,
- Et le Delta du Nil.

Les limites de la carte de risques : mise en garde aux lecteurs

Les cartes de risques sont aussi précises que possible à cette étape mais ne sont que des guides vers une probabilité relative d'apparition de foyers de maladies. Elles ne prédisent pas de foyers particuliers de maladies. Cependant, elles peuvent être un indicateur des lieux où la grippe aviaire est plus ou moins susceptible d'être introduite ou propagée et aider ainsi à cibler les activités de surveillance.

Une des limites des cartes de risques est que, par définition, elles indiquent seulement les éléments qui sont cartographiables. Par exemple, la proximité de fermes avicoles des voies migratoires des oiseaux sauvages peut être cartographiée. Cependant, le comportement humain tel que se laver les mains ou laisser les poulets pénétrer l'intérieur des maisons ne peuvent être cartographiés.

En outre, les données obtenues du domaine public pourraient d'une certaine façon être incomplètes, obsolètes ou inexactes, réduisant ainsi l'exactitude de la carte de facteurs de risques résultante. Les cartes de risques devraient donc toujours être utilisées avec discernement et ensemble avec les connaissances locales et d'autres supports ou outils de décision tels que l'évaluation des risques.

Les chercheurs et les bailleurs de fonds:

Ces cartes de facteurs de risques représentent l'œuvre de dizaines de personnes – biologistes, géographes, cartographes, spécialistes de systèmes d'information géographiques, vétérinaires et spécialistes de santé animale, épidémiologistes, éleveurs et autorités gouvernementales à tous les niveaux.

Les partenaires au projet sont l'Agence américaine pour le développement international (USAID), l'Institut International de Recherche sur l'Élevage (ILRI), le Bureau Interafricain des Ressources Animales de l'Union Africaine (UA-BIRA), l'Organisation Mondiale pour la Santé Animale (OIE), les Centres Régionaux de Santé Animale et les autres services nationaux de santé animale ainsi que les autorités vétérinaires partout en Afrique et à l'étranger.

Ce projet a été financé par le peuple américain à travers l'USAID.



Introduction

Introduction

Qu'est-ce qu'une carte de risques?

De plus en plus utilisée en épidémiologie, la cartographie des facteurs de risques est une image complexe générée par ordinateur qui montre la répartition spatiale du risque prédit d'une maladie. Elle est fondée sur la répartition spatiale des "facteurs de risques" - les éléments influençant l'apparition de la maladie tels que les principales voies de transport, les marchés de volailles et les points d'eau/zones humides - ainsi que l'importance relative de chacun de ces facteurs de risques.

Introduction à la cartographie de facteurs de risques de la grippe aviaire de type H5N1

Au cours de la dernière décennie, la grippe aviaire à influenza aviaire hautement pathogène de type H5N1 s'est propagée sur la plupart des continents du globe occasionnant des lourdes conséquences sur l'industrie de la volaille ainsi que de grandes menaces à la santé humaine.

En Afrique, l'influenza aviaire de type H5N1 est survenue dans au moins 11 pays depuis la déclaration de son premier foyer en 2006 : Nigeria, Egypte, Niger, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Soudan, Cameroun, Djibouti, Bénin, Ghana et Togo. Plus de 600 foyers ont été rapportés et au mois de mai 2010, l'Egypte souffre encore de foyers actifs. La grippe aviaire est une préoccupation puisque la majorité de la population – plus de 85% - élève de la volaille pour obtenir un revenu ou pour l'autoconsommation des ménages.

La maladie peut pénétrer un pays par l'une ou plus des trois voies selon une étude sur les pays qui ont déclaré l'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) [1] :

- migration des oiseaux sauvages,
- commerce légal de volailles domestiques, de produits avicoles et d'oiseaux sauvages, et
- commerce illégal de volailles domestiques, de produits avicoles et d'oiseaux sauvages.

L'importance relative des différentes voies d'introduction de la maladie varie d'un continent et d'un pays à l'autre. La plupart des pays européens (20 sur 23) ont probablement été infectés par le biais d'oiseaux migrateurs. En Afrique cependant, l'infection à l'IAHP peut être attribuée à la fois aux oiseaux migrateurs et au commerce de volaille et de produits avicoles.

Nous n'avons pas suffisamment d'informations sur l'épidémiologie de la grippe aviaire en Afrique aussi bien en matière d'introduction que de propagation –

"L'introduction" se réfère à l'apparition d'un premier cas de la maladie dans un lieu donné ; "la propagation" se réfère à la diffusion de la maladie une fois introduite.

Pourquoi les cartes de risques sont-elles nécessaires?

Une épidémie de grippe aviaire à IAHP de type H5N1 peut avoir un effet dévastateur sur les moyens de subsistance et les sources alimentaires et augmenter le risque de transmission de la maladie aux humains.

Les services vétérinaires ont généralement très peu de ressources pour la surveillance et ne peuvent par conséquent pas rechercher les maladies partout et à tout moment. Il est par conséquent logique de concentrer les efforts de surveillance au niveau des endroits où un foyer de maladie est plus susceptible de survenir.

Les cartes de risques élaborées dans le cadre de ce projet ont permis d'identifier :

- 1) les lieux où la grippe aviaire est le plus susceptible de pénétrer une région ou un pays donné et,
- 2) les lieux où la maladie est le plus susceptible de se propager une fois introduite.

Lorsque les cartes de risques sont combinées avec d'autres outils puis analysées sérieusement, elles permettent aux personnes concernées de mieux cibler les activités de surveillance et de préparer des plans de gestion des opérations de lutte contre la maladie.

Les cartes de risques peuvent-elles nous indiquer le prochain foyer de grippe aviaire?

La cartographie des facteurs de risques n'est qu'un outil des efforts complexes de gestion des risques. Bien qu'elles soient fondées sur les meilleures données et les meilleurs calculs, ces cartes ne constituent pas des oracles. Elles ne montrent que les lieux où les foyers de maladie sont SUSCEPTIBLES de survenir. Elles doivent être utilisées en combinaison avec d'autres outils tels que les évaluations de risques et les études socio-économiques.

Par exemple, de nombreuses influences économiques, sociales et culturelles (commerce informel, la façon dont les gens vivent et élèvent les volailles, l'hygiène, les habitudes culinaires et les croyances traditionnelles) peuvent avoir un impact sur le cours d'une maladie. Cependant, la plupart de ces influences sont difficiles à cartographier. En outre, certaines données spatiales sont en elles mêmes incomplètes ou obsolètes, menant à des erreurs de précision. Finalement, nous n'avons qu'une compréhension limitée sur l'épidémiologie de la maladie en Afrique et n'avons donc pas envisagé tous les facteurs cartographiables qui influencent la diffusion de la maladie.

Les cartes de risques peuvent-elles être améliorées avec le temps?

L'équipe de cartographie des facteurs de risques a beaucoup travaillé sur l'affinage et la vérification des données des facteurs de risques et la validation des cartes finales. En outre, au fur et à mesure que notre compréhension de l'épidémiologie de la grippe aviaire s'améliore, et que des données plus précises et plus actualisées sont recueillies, les cartes de risque pourraient être davantage affinées et améliorées.

En quoi les cartes de risques peuvent-elles être utiles aux décideurs?

- Indiquer les lieux où les foyers de grippe aviaire sont le plus susceptible de survenir;
- Fournir un outil qui, en combinaison avec la vérification sur le terrain, alerte les spécialistes de santé animale et les oriente vers les lieux exposés à l'introduction et à la propagation de la grippe aviaire;
- Permettre d'allouer des ressources pour la surveillance et la gestion de plans en mettant en exergue les régions à haut risque.

Qu'est ce que les cartes de risques ne peuvent faire?

- Prendre en compte toutes les variables qui influencent l'introduction et la propagation de la grippe aviaire, en particulier les pratiques et les croyances humaines ;
- Être plus fiables que les données sur lesquelles elles sont fondées ;
- Indiquer la meilleure façon de gérer la maladie lorsqu'elle survient.

Méthodologie: Production de cartes de risques de la grippe aviaire

La méthodologie utilisée pour générer les cartes de risques est la modélisation de décision multicritères (MCDM) [2]. La MCDM est guidée par la meilleure compréhension épidémiologique des différents facteurs associés à un risque accru de la maladie et de ses interconnexions.

La MCDM comporte les 8 étapes suivantes:

1^{ère} étape : Définition de l'objectif/des objectifs

Les objectifs du modèle de décision multicritères sont:

- a) d'identifier les zones de forte ou faible probabilité d'introduction de la grippe aviaire en Afrique
- b) d'identifier les zones de forte ou faible probabilité de propagation de la grippe aviaire en Afrique, une fois introduite.

2^{ème} étape : Définition des facteurs de risques

Une recherche bibliographique systématique d'études sur la grippe aviaire publiées par les pairs dans les revues scientifiques, a permis aux chercheurs d'identifier les facteurs de risques d'introduction et de propagation de la grippe aviaire en Afrique. L'équipe a sélectionné parmi les facteurs de risques qui ont émergé, ceux qui pouvaient être cartographiés. Par exemple, la proximité des points d'eau et les routes principales peuvent être cartographiées tandis que les pratiques culinaires ou les croyances culturelles relatives aux volailles ne peuvent l'être.

Les facteurs de risques de grippe aviaire considérés dans le modèle MCDM sont:

Les lieux où la volaille est importée, commercialisée (légalement ou illégalement), produite et consommée:

- Routes principales;
- Principaux marchés et zones métropolitaines - lieux de forte densité de population humaine où la volaille est susceptible d'être concentrée, commercialisée et consommée ;
- Ports;
- Aéroports;

Principales voies aériennes migratoires mondiales des oiseaux migrateurs

A leur point de repos, les oiseaux sauvages porteurs du virus peuvent le transmettre aux oiseaux domestiques y compris les poulets. Plus il y a concentration d'oiseaux, plus la contamination est probable.

Les lieux concernés sont :

- Les zones humides ;
- Les lacs, les rivières et autres points d'eau stagnante ou courante ;
- Les terres irriguées.

3^{ème} étape : Production de couches de facteurs de risques pour l'introduction et la propagation de la maladie

Après l'identification des principaux facteurs de risques, l'équipe a cherché des cartes dans le domaine public pour ces facteurs. Elle a produit 13 couches représentant les facteurs de risques associés au commerce et au transport de volailles, ainsi qu'aux voies aériennes migratoires. Certaines couches ont été affinées par la suite, à travers des études dans certains pays, tels que décrit à l'étape 8.

4^{ème} étape: Conversion des couches en cartes à trame

Il s'agit d'une manipulation numérisée des cartes nécessaire à leur conversion en un format adéquat pour inclusion dans le MCDM. En effet, les cartes à trames numérisées permettent aux chercheurs de donner une importance relative ou "pondération" de facteurs de risques à un point particulier ou "pixel". Les cartes à trame des couches de facteurs de risques peuvent être combinées afin de montrer comment le risque change lorsque plus d'un facteur de risque est présent.

La complexité de la conversion a considérablement varié : parfois cela a été simple, mais dans certains cas, les cartes de facteurs de risques ont nécessité une manipulation extensive pour produire les cartes à trames. (Voir Rapport initial de carte de risques de grippe aviaire [3]).

5^{ème} étape : Définition de l'importance relative de chaque facteur de risque

Pour évaluer l'importance relative des facteurs de risques, ceux-ci ont été pondérés par pair, en spécifiant d'abord si le Facteur A était plus ou moins important que le Facteur B en ce qui concerne l'introduction ou la propagation de la grippe aviaire en Afrique; et ensuite le degré d'importance. Le Facteur A pourrait être (i) Egalement, (ii) Modérément, (iii) Fortement ou (iv) Très Fortement, plus ou moins important que le Facteur B.



Ces pondérations ont été menées sur la base de l'opinion de chaque expert membre de l'équipe et ont été faites pour chacune des combinaisons par paire de facteurs. Elles ont ensuite été affinées par l'utilisation d'informations sur l'opinion d'experts, tel que décrit à l'étape 8.

6^{ème} étape: Combinaison des facteurs de risques et des pondérations pour produire des cartes de risques.

Les cartes à trames pour chaque facteur de risques ont été combinées en utilisant une combinaison linéaire pondérée (WLC). Les facteurs qui ont un coefficient de pondération plus élevé exercent une plus grande influence sur l'estimation finale du risque. Cette combinaison est faite pour chaque pixel de la carte qui génère un score numérique de risque sur une échelle de 0 (risque plus faible) à 255 (risque plus élevé) (Voir annexe 1). Les cartes de risques qui en résultent ont identifié des zones où le risque d'introduction et de propagation de la grippe aviaire en Afrique est le plus élevé. La résolution (ou taille d'un pixel) de ces cartes de risques représentait initialement 30 kilomètres carrés.

7^{ème} étape: Réalisation d'une analyse de sensibilité en vue de vérifier l'exactitude des données

L'analyse de sensibilité est une vérification statistique des calculs sous-tendant les cartes de risques. Elle a montré que même si l'appréciation de chaque facteur de risques variait de 25% (en d'autres termes, s'il y avait une erreur de 25%), les résultats en terme de niveau de risque pour les régions demeureraient inchangés.

Voir annexe 2 pour de plus amples discussions de l'analyse de sensibilité des facteurs de risques et pondération.

8^{ème} étape: Validation et amélioration des cartes

Après avoir publié les premières cartes de risques, nous avons validé et affiné les cartes :

- 1) en vérifiant les données géographiques sur le terrain, tels que les lieux de passage transfrontaliers, avec des informations et des observations du terrain ;
- 2) en obtenant l'expérience et l'opinion des experts sur le terrain ;
- 3) en observant des foyers réels sur le terrain en Afrique, et
- 4) en augmentant la résolution des cartes à un kilomètre carré (des trente) et en générant un plus grand nombre de catégories probables. Une résolution plus fine permet d'élaborer des stratégies de surveillance de risques plus affinées.

Les points 1-3 sont décrits davantage à la section suivante. Les résultats ont été inclus dans les cartes des facteurs de risques ainsi que dans les cartes de risques finales.



Affinage et validation des cartes de risques de grippe aviaire

Révisions des couches de facteurs de risques sur la base de vérification sur le terrain:

Des études centrées sur des pays spécifiques ont été menées dans trois sous-régions africaines : Afrique de l'Ouest, de l'Est et Australe. Pour chaque pays ciblé, les chercheurs ont identifié à la fois (i) les flux principaux de volaille et de produits avicoles entrant dans le pays, et (ii) les principaux marchés de volailles. Des données ont été également recueillies sur les emplacements des aéroports, des ports et des points de passage transfrontaliers.

Pour tous les pays, les chercheurs ont collecté toutes les données pertinentes disponibles dans la littérature y compris sur internet. En ce qui concerne les "données primaires" des pays, des informateurs clés, ont été également interviewés. Pour les pays "ciblés", les chercheurs ont inclus des visites sur le terrain.¹

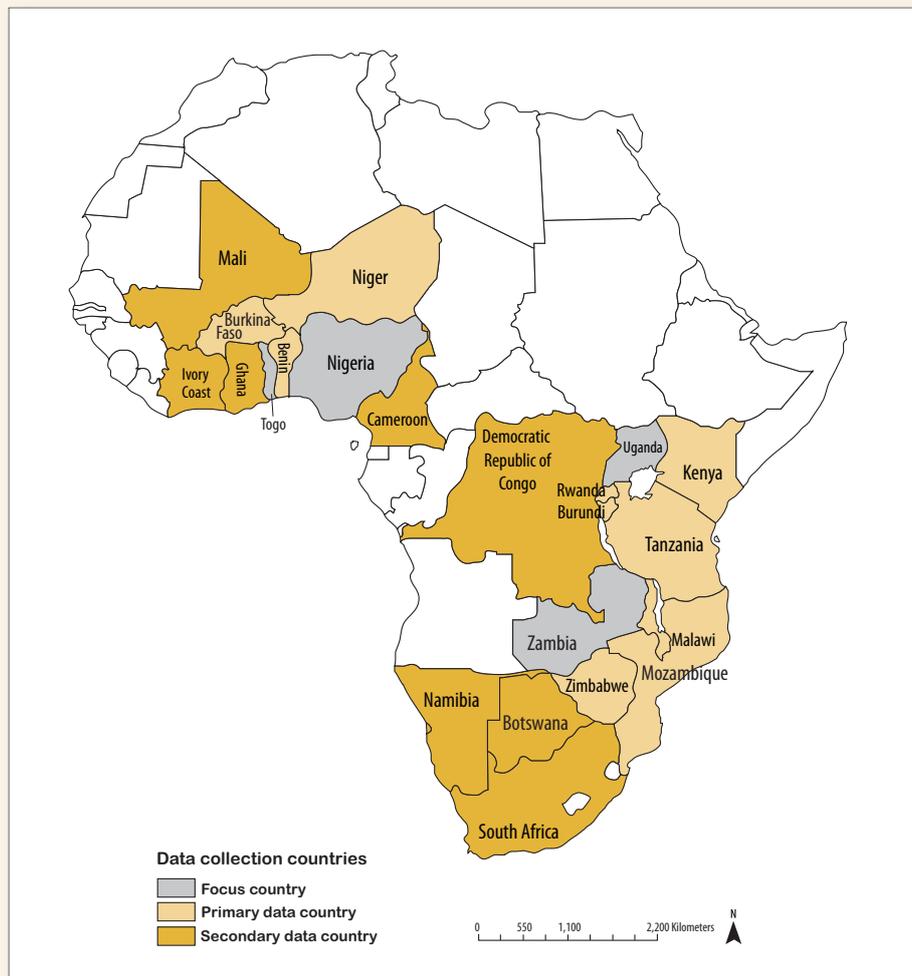


Figure 1:
Pays concernés par la collecte de données en Afrique de l'Ouest, de l'Est et Australe et niveau de détails recueillis dans chacun des pays.

¹ En Afrique de l'Est, des études ont été menées comme prévu, mais peu d'informations étaient disponibles d'Ouganda et aucune n'était disponible de la République démocratique du Congo en raison de l'instabilité politique. En Afrique de l'Ouest, l'équipe n'a pu effectuer d'étude sommaire de données secondaires pour quatre pays : Ghana, Côte d'Ivoire, Cameroun et Mali.

Les questionnaires ont été centralisés et les données collectées dans une base de données Microsoft Access. Les informations obtenues ont ensuite été incluses dans des cartes et comparées à des couches utilisées pour la production des cartes initiales de risques. En cas d'écart, les couches sont révisées sur la base des informations collectées sur le terrain (voir annexe 3).

D'autres détails sur la méthodologie sont fournis en annexe et les rapports nationaux et régionaux sont disponibles sur demande auprès de Saskia Hendrickx (s.hendrickx@cgjar.org).

Révisions de l'importance relative des facteurs de risques fondées sur l'opinion des experts

L'importance des facteurs de risques a été étudiée par étapes en utilisant un processus structuré de sollicitation d'opinions d'experts. L'objectif était d'utiliser les connaissances et expertises disponibles pour déterminer la pondération de chaque facteur inclus dans le modèle MCDM.

Les experts ont été identifiés au cours de la revue documentaire et lors d'une pertinente conférence internationale de vétérinaires. 23 experts ont été identifiés et contactés par courriel. Il leur a été demandé d'évaluer les différents facteurs de risques d'introduction et de propagation du virus IAHP en Afrique en utilisant des tableaux de comparaison par paire fournis dans des documents Excel. Six experts ont répondu à notre demande et leurs opinions ont été incluses dans les cartes finales de risques. (Tableaux 1 et 2). Voir annexe 4 pour plus de détails et réponses individuelles.

*Tableau 1:
Poids moyen des facteurs de risques associés à l'introduction de l'influenza aviaire hautement pathogène en Afrique telle que évaluée par les experts sollicités.*

Facteurs de risques	Moyenne Pondérée
Proximité des routes transfrontalières	0,2705
Proximité des points d'eau	0,2428
Présence de voies migratoires au dessus de la Mer Noire/Méditerranée	0,1489
Proximité des aéroports	0,1225
Présence de voies migratoires en Afrique de l'Est et de l'Ouest	0,1200
Proximité des ports	0,0578
Présence de voie migratoire de l'Atlantique Est	0,0374

*Tableau 2:
Poids moyen des facteurs de risques associés à la propagation de l'influenza aviaire hautement pathogène en Afrique telle que évaluée par les experts sollicités.*

Facteurs de risques	Moyenne Pondérée
Densité de la volaille	0,2692
Proximité des marchés	0,2400
Proximité des routes principales	0,1924
Proximité de l'eau ou des points d'eau	0,1375
Proximité des routes secondaires	0,0879
Proximité des terres irriguées	0,0436
Proximité des fleuves navigables	0,0294

Amélioration des cartes de risques

Les cartes de risques finales présentées dans ce rapport diffèrent des façons suivantes des cartes de risques initiales publiées précédemment.

Révisions des cartes sur la base des vérifications sur le terrain (les chiffres correspondants figurent en annexe):

- En Afrique australe, la volaille et ses produits ne passent que par un nombre limité d'aéroports. Mais dans les pays de l'Afrique de l'Ouest où les données étaient disponibles, tous ou presque tous les aéroports sont des points d'entrée (Figure 9).
- Par contre, presque tous les ports étudiés manipulent de la volaille ou des produits avicoles (Figure 10).
- Ce ne sont pas toutes les routes transfrontalières qui voient passer légalement les volailles ou produits avicoles – là encore il peut en résulter une surestimation des points d'entrée (Figure 8).
- **La couche des points d'entrées a été revue en conséquence pour les pays où les données ont été collectées au niveau des aéroports, des ports et des routes transfrontalières utilisés pour les volailles et produits avicoles.**
- Cependant, il demeure le risque de l'entrée illégale de volaille par le biais de routes transfrontalières non nommées.
- Bien que l'utilisation de villes à la population supérieure à 50.000 habitants fût un élément raisonnable représentant les lieux de marchés de volailles ces derniers n'existaient pas réellement dans toutes ces villes ce qui a occasionné une surestimation des lieux à partir desquels l'IAHP pouvait se propager. Ceci était plus visible dans les pays de l'Afrique de l'Ouest faisant l'objet de l'étude (Figure 8) que dans les pays de l'Afrique Australe (Figure 4).
- **La couche des marchés de volailles a été révisée pour les pays où les données ont été collectées en utilisant les lieux inscrits comme étant des marchés de volailles.**

Révisions de l'importance relative des facteurs de risques, sur la base des opinions des experts

- Les experts étaient divisés sur la question de savoir si les oiseaux migrateurs ou le commerce de volaille constituait la voie d'entrée prédominante du virus IAHP en Afrique. En général cependant, les points d'entrée associés au commerce de volaille – particulièrement sur les routes transfrontalières – ont reçu une appréciation plus élevée que les points d'entrée associés aux oiseaux migrateurs.

Validation des cartes finales de risques

Les chercheurs ont comparé ce qu'ont montré les cartes de risques avec les foyers réels de maladie de 2006 à 2009 (voir annexe 5). Seuls 2,5% de la superficie des terres d'Afrique entrent dans la catégorie des cartes de risques "les plus exposées". Encore, sur dix catégories indiquées sur les cartes de risques, 34,3% (n=213) de foyers signalés étaient situés dans des zones classées comme très susceptibles d'être touchées (Figure 13).

De plus, 97,4 % (n = 605) des épidémies étaient survenues dans les trois catégories à risque les plus élevés (Tableau 5).

Par conséquent, le modèle et les hypothèses sous-jacentes semblent très précis.



Cartes finales de risques réalisées sur la base des couches et des pondérations mises à jour

Par le processus complet de la MCDM, les cartes de risques finalement produites orientent vers les lieux où la grippe aviaire est le plus susceptible d'être introduite en Afrique et où elle est le plus susceptible de se propager une fois introduite.

Les cartes de risques sont fondées sur notre compréhension actuelle des facteurs de risques et de leur importance relative. Cependant, ces cartes ne sont que des guides : elles ne tiennent pas compte de tous les facteurs de risques possibles et devraient donc être utilisées conjointement avec une étude sur le terrain et d'autres outils tels que l'évaluation des risques.

Risque d'introduction d'influenza aviaire de type H5N1

Une grande partie de l'Afrique de l'Ouest, certaines parties de l'Afrique Australe et la côte de l'Afrique du Nord constituent des lieux à très forte probabilité d'introduction du virus d'influenza aviaire de type H5N1 (Figure 2).

Le modèle indique également que les pourtours du Nil montrent une très forte probabilité alors que le Delta du Nil semble être un lieu à probabilité faible ou modérée. Le Sahel et l'Est de la Somalie semblent indiquer une faible probabilité d'introduction de la maladie.

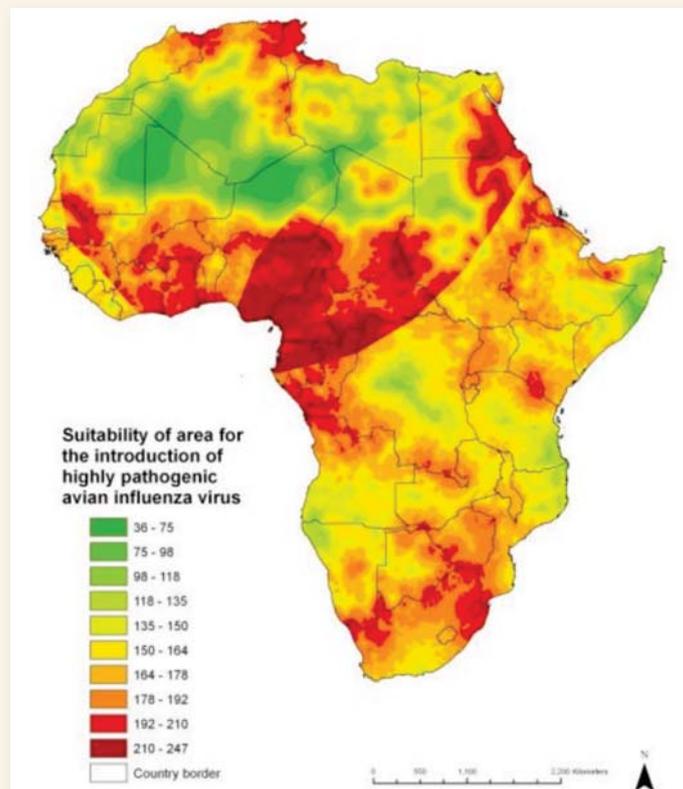


Figure 2: Carte de risques montrant la probabilité d'INTRODUCTION du virus de l'influenza aviaire de type H5N1 par le biais de commerce de volailles et d'oiseaux migrateurs. L'échelle varie de la probabilité la plus faible (vert) à la plus élevée (rouge).

Risque de propagation de la grippe aviaire à IAHP de type H5N1

Les zones les plus susceptibles d'être exposées à la propagation de la grippe aviaire une fois introduite semblent être:

- L'Afrique de l'Ouest,
- La côte de l'Afrique du Nord,
- Le long du Fleuve du Nil y compris le Delta du Nil,
- L'Ouganda, le Rwanda, le Burundi,
- Le Sud du Kenya,
- Et l'Est de l'Afrique du Sud (Figure 3).

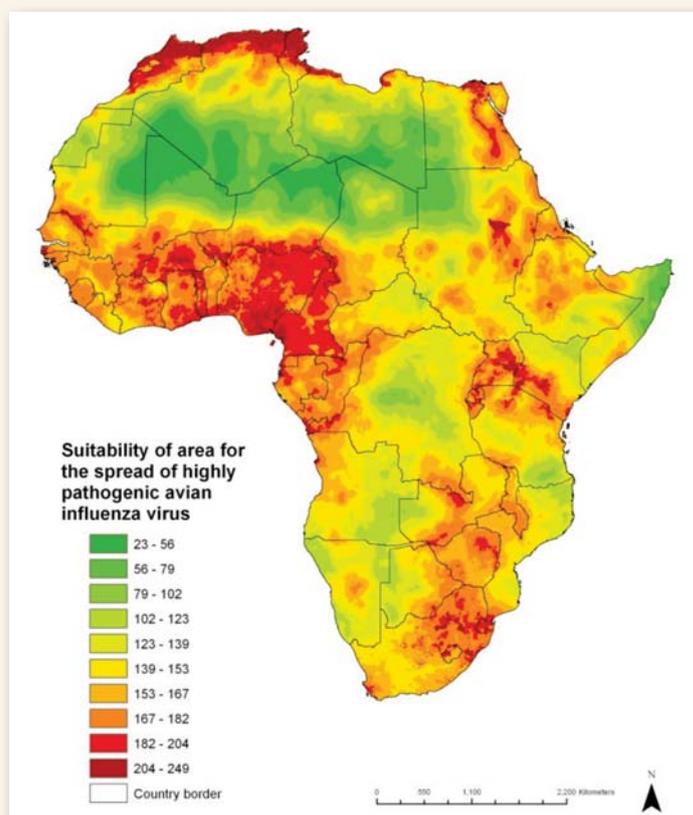


Figure 3: Carte montrant le degré de risques de PROPAGATION du virus de l'influenza aviaire de type H5N1 au sein des volailles domestiques dans certaines parties d'Afrique par le biais de commerce de volailles et d'oiseaux migrateurs. L'échelle varie de la probabilité la plus faible (vert) à la plus élevée (rouge).

Probabilité de survenue de l'influenza aviaire de type H5N1

Les zones qui semblent susceptibles à la survenue de l'IAHP ont les mêmes tendances que celles qui sont susceptibles à sa propagation. Les régions le plus susceptibles sont encore l'Afrique de l'Ouest, la côte de l'Afrique du Nord, le long du Nil (y compris le Delta du Nil), l'Ouganda, le Rwanda et le Burundi, l'Est du Kenya et l'Est de l'Afrique du Sud (Figure 4).

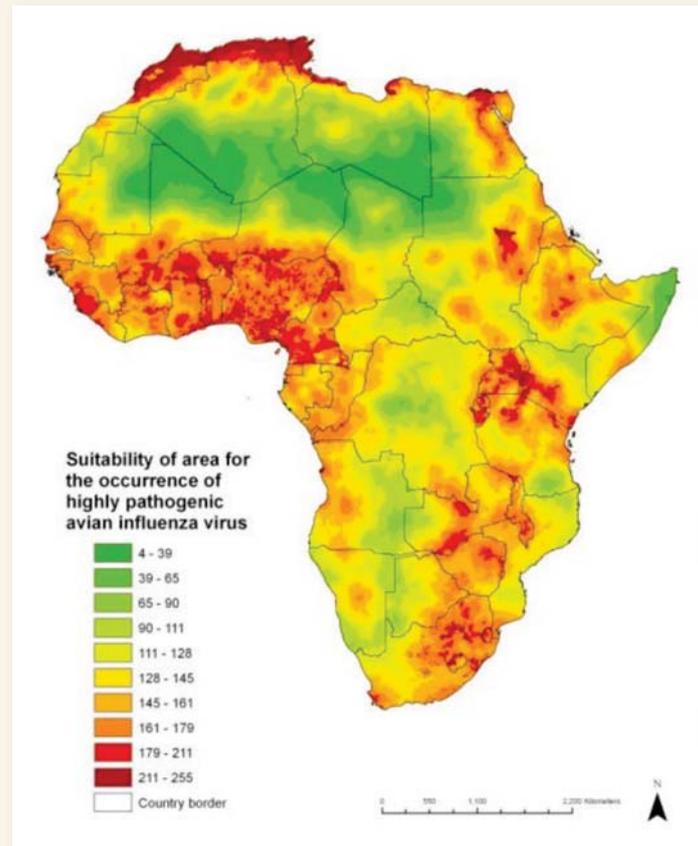


Figure 4 :
Carte montrant la probabilité de survenue de foyers d'influenza aviaire de type H5N1 au sein des volailles domestiques. L'échelle varie de la probabilité la plus faible (vert) à la plus élevée (rouge).

Discussion

Les cartes présentées dans ce rapport montrent la probabilité relative de l'introduction, la propagation et la survenue d'épidémies du VIAHP de type H5N1 dans différentes parties d'Afrique. Comparées aux cartes initialement produites dans le cadre du projet EDRS-AIA, trois éléments principaux ont été améliorés.

Premièrement, les études dans les pays présentant des données sur le commerce de volaille a permis aux chercheurs d'actualiser les cartes vectorielles utilisées dans la production de cartes de risques. Certaines de ces cartes vectorielles utilisées pour les cartes initiales de risques ont probablement surestimé le nombre de points d'entrée des volailles et produits avicoles dans les pays ; par conséquent, les études

menées ont été utiles pour vérifier sur le terrain les données de substitution utilisées et corriger si possible.

Ensuite, l'opinion d'experts a été sollicitée en vue d'évaluer l'importance relative des facteurs du model MCDM – en utilisant les meilleurs connaissances et expertises disponibles. La variation des pondérations données par les différents experts est probablement due au manque de compréhension de l'épidémiologie de la maladie – aboutissant à l'évaluation des facteurs de risques par chaque expert sur la base de sa propre expérience de la maladie. L'inclusion de ces évaluations dans les cartes reflète ces incertitudes.

Enfin, la résolution des cartes a été augmentée à un kilomètre carré et un plus grand nombre de catégories quantitatives a été généré. L'objectif poursuivi pour ces affinements était de s'assurer que les cartes puissent être utilisées aux niveaux régional et national et servir pour l'élaboration de stratégies de surveillance des risques.

Les résultats de l'analyse de sensibilité indiquent que le modèle MCDM élaboré était solide, étant donné que les scores quantitatifs pour les pixels de la carte (1km²) n'ont pas été affectés par le changement de 25% au niveau des évaluations des facteurs de risques individuels.

Une autre étape cruciale du processus a été la validation des cartes produites. Cette validation effectuée en utilisant des données d'épidémies en Afrique, montre que le modèle semble prédire les zones exposées à la survenue de l'IAHP avec une très grande précision.

Outre ces analyses évaluant la qualité du modèle MCDM utilisée pour générer des cartes de risques, une publication récente de Paul et al [4] a mis en exergue l'importance des facteurs anthropologiques à la survenue du VIAHP de type H5N1 en plus de ceux agro-environnementaux. Cette analyse récente vient en appui aux appréciations données aux facteurs de risques individuels dans cette étude.

Les avantages de telles cartes quantitatives sont la possibilité de modifier le modèle MCDM au fur et à mesure que les connaissances sur la maladie s'accroissent, et le fait qu'ils ne dépendent pas des données sur la survenue de la maladie, qui peuvent être difficiles à obtenir.



Limites des cartes de risques

Considérations des données

- Qualité des données : la qualité des données utilisées pour le modèle comme les informations géographiques varie. Par exemple, les cartes routières disponibles n'ont montré que les routes primaires, secondaires et tertiaires ; il n'existe pas de données sur les petites routes qui peuvent jouer un rôle important dans le commerce illégal de la volaille.
- Données substitutives : lorsque des données sur des facteurs de risques spécifiques n'étaient pas disponibles, des données de substitution ont été utilisées. Par exemple, comme il n'existe pas de données sur la localisation des marchés en Afrique, les villes aux populations de plus de 50.000 ont été utilisées comme données de substitution pour l'emplacement des marchés. Cela pourrait fausser les résultats étant donné que les marchés ruraux ou les points de collecte, pourraient également jouer un rôle important dans le commerce légal ou illégal.
- Influences culturelles : Hygiène, habitudes culinaires, croyances et habitudes telles que vivre à proximité des volailles influencent également les risques mais ne peuvent être cartographiés.

Considérations d'appréciation

- Influence : l'appréciation des différents facteurs de risques a été effectuée par 6 experts sur les 23 contactés. Les coefficients de pondération obtenus reflètent leurs opinions qui ont été données sur la base de leurs connaissances et de leurs expériences personnelles.
- Absence de connaissances : Il y a une absence générale de connaissances en matière d'introduction et de propagation de la grippe aviaire, non seulement en Afrique mais aussi dans le monde. Les désaccords entre experts vont probablement refléter cette incertitude sur l'épidémiologie de la maladie. Le fait que nous ayons pu avoir accès aux informations scientifiques les plus actualisées sur le sujet, se traduit, nous l'espérons, par une meilleure évaluation des facteurs de risques concernés et de leur importance relative dans l'introduction et la propagation de l'influenza aviaire en Afrique.

Enfin, les cartes de risques ne représentent qu'une probabilité relative de la propagation de la maladie et non une probabilité ou un risque absolu.

Chacune de ces considérations doit être prise en compte en matière d'interprétations des cartes de risques.

Malgré ces limites, les cartes de risques MCDM, en conjonction avec l'évaluation des risques et d'autres instruments, peuvent permettre aux décideurs de cibler des zones avec une plus grande assurance, en vue d'une surveillance et / ou d'activités de contrôle renforcées.

Références

1. Kilpatrick AM, Chmura AA, Gibbons DW, Fleischer RC, Marra PP, Daszak P: **Predicting the global spread of H5N1 avian influenza.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2006, **103**(51):19368-19373.
2. Pfeiffer DU, Robinson TP, Stevenson M, Stevens KB, Rogers DJ, Clements ACA: **Spatial Analysis in Epidemiology.** Oxford: Oxford University Press; 2008.
3. EDRS-AIA Early Detection RaSfAliA: **Initial Bird Flu Risk Map Report. Risk mapping products.** In.; 2009.
4. Paul M, Tavoranpanich S, Abrial D, Gasqui P, Charras-Garrido M, Thanapongtharm W, Xiao X, Gilbert M, Roger F, Ducrot C: **Anthropogenic factors and the risk of highly pathogenic avian influenza H5N1: prospects from a spatial-based model.** *Vet Res*, 41(3):28.



Annexe



Annexe 1

Elaboration d'une carte de risques

La procédure d'élaboration de cartes de risques fondées sur la connaissance est:

- 1) d'analyser les documents et connaissances scientifiques actuels en vue d'identifier les facteurs de risques connus pour être associés à la maladie en question, et déterminer leur degré d'association avec le risque de la maladie ;
- 2) de cartographier la répartition spatiale des facteurs de risques individuels ;
- 3) de combiner ces cartes en donnant des scores d'appréciation de leur importance relative à contribuer au risque général de la maladie (Figures 5 et 6)
- 4) de présenter, dans une carte de risques, la variation spatiale résultante dans un risque de maladie.

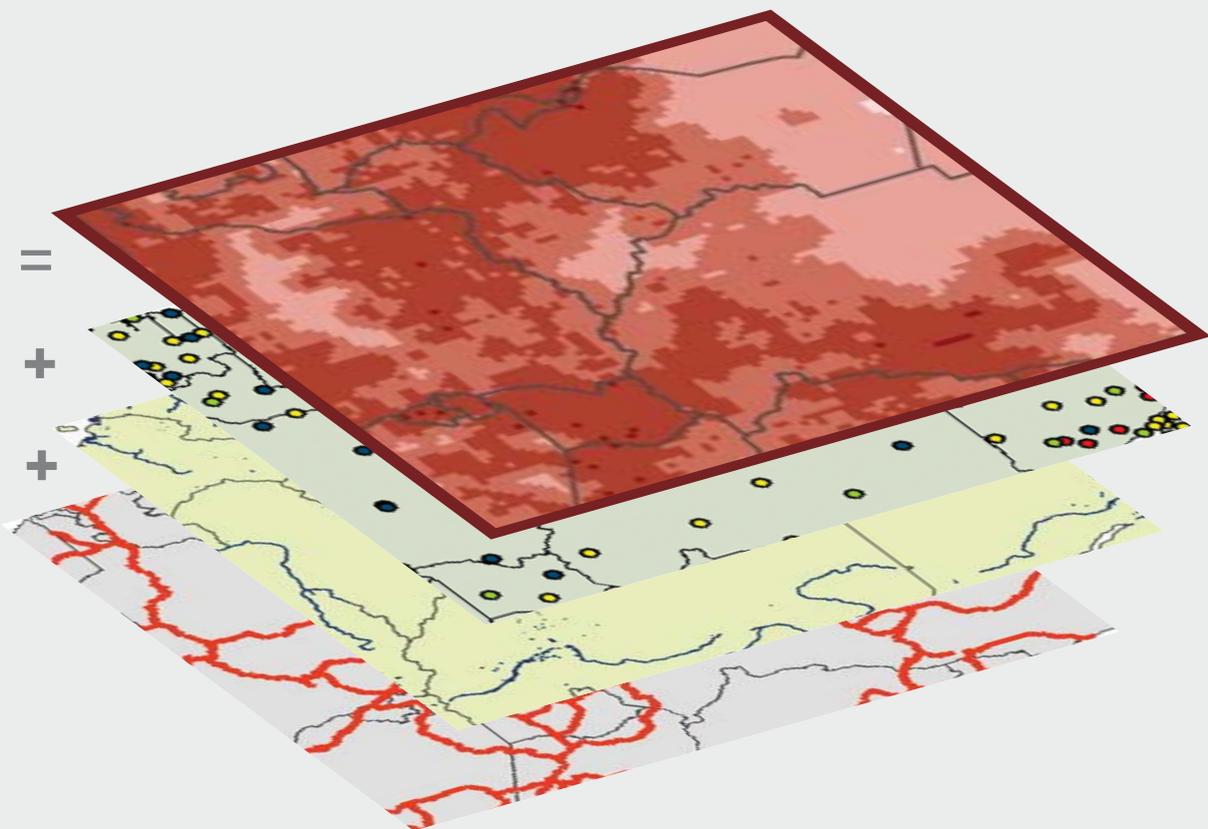


Figure 5 :
Processus d'élaboration d'une carte de risques fondée sur la connaissance. Les distributions spatiales des différents facteurs de risques (quatre couches du bas) sont combinées en vue de produire la carte de risques (couche supérieure).

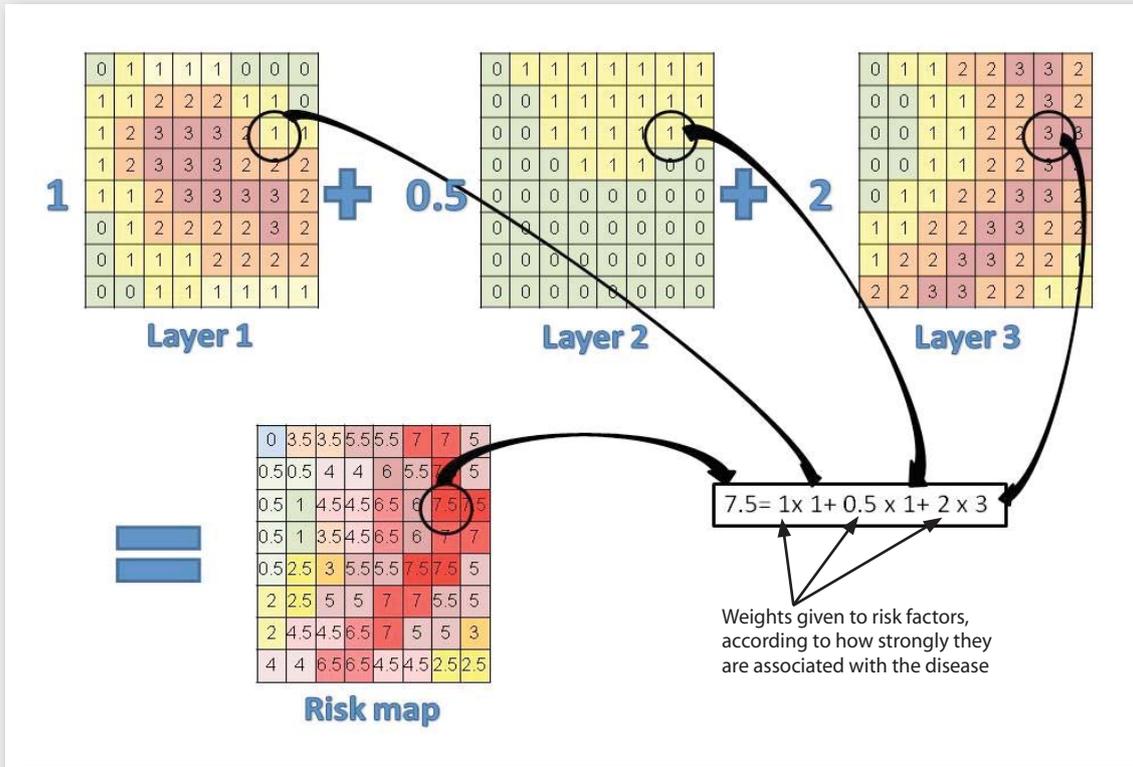


Figure 6: *Processus d'élaboration d'une carte de risques fondée sur la connaissance. Pour chaque pixel d'une zone étudiée, les scores de risque de tous les facteurs de risques sont combinés selon leur importance relative, donnant un score de risque général pour chaque pixel de la carte de risques.*



Annexe 2

Collecte des données et élaboration de couches de facteurs de risques

Toutes les cartes numériques utilisées en vue d'élaborer les cartes à trame nécessaires pour le modèle final ont été trouvées dans le domaine public. Parfois, ces cartes ont été modifiées afin d'inclure le modèle MCDM tel que détaillé ci-dessous.

Marchés

Les marchés de volailles et de produits avicoles ont été cartographiés dans les pays couverts par l'étude (Figure 7). Pour d'autres pays, les villes aux populations supérieures à 100 000 habitants ont été utilisées comme données de substitutions pour déterminer les emplacements de marchés. Les informations sur ces villes ont été extraites des données du Projet GRUMP, Global-Rural Urban Mapping Project (<http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/index.jsp>). La distance euclidienne des marchés/villes a été calculée et les résultats ont été présentés sous forme de cartes à trame avec une résolution de 1 km².

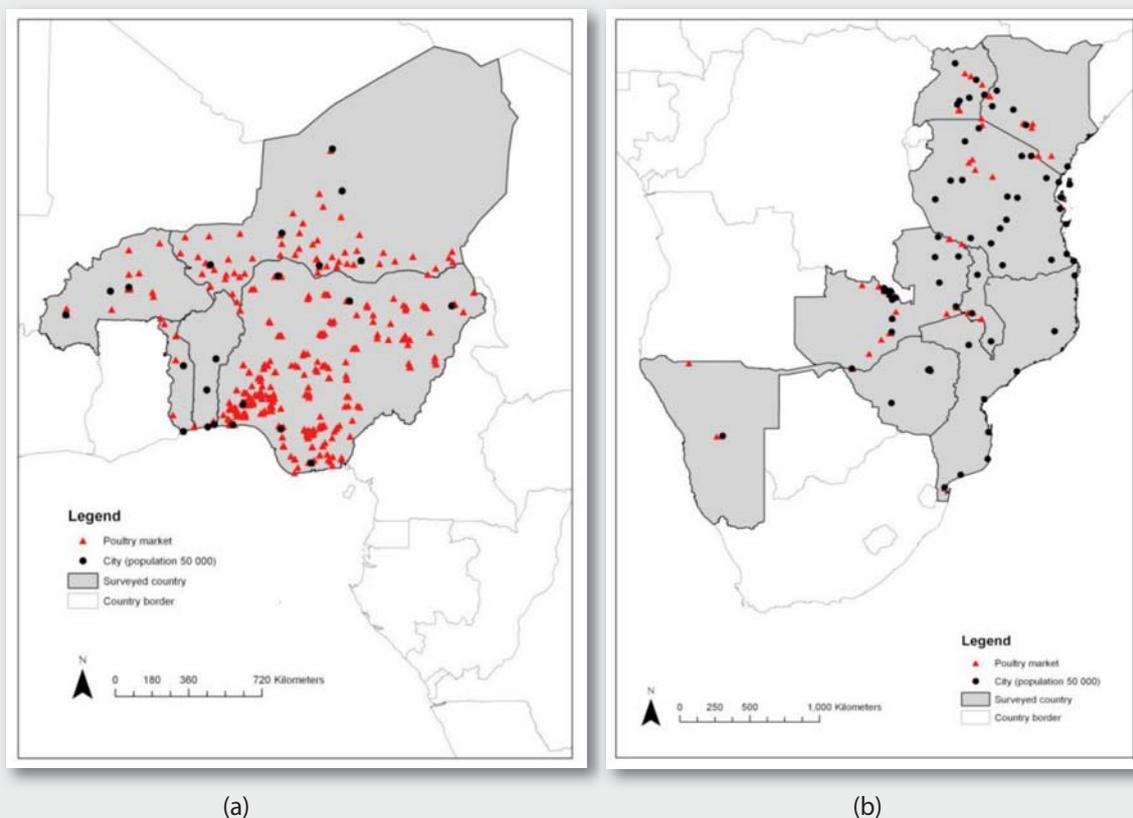


Figure 7:
Carte indiquant l'emplacement des marchés de volailles et de produits avicoles dans les pays ayant fait l'objet de l'étude en Afrique de (a) l'Ouest et (b) Australe.

Roads

Une carte indiquant les routes primaires, secondaires et tertiaires a été créée en combinant les emplacements des routes de deux sites web : FAO GeoNetwork (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>) et Global Mapping (<http://www.iscgm.org/cgi-bin/fswiki/wiki.cgi>). Bien que les données de Global Mapping fussent plus récentes que celles de GeoNetwork, il n'en existait que pour 15 pays (Algérie, Botswana, Burkina Faso, République du Congo, République Démocratique du Congo, Ethiopie, Guinée Bissau, Ghana, Mozambique, Niger, Afrique du Sud, Sénégal, Soudan, Swaziland et Tunisie). Les données de GeoNetwork ont été utilisées pour les autres pays.

Des cartes individuelles ont été élaborées afin d'indiquer les (i) routes primaires, (ii) les routes secondaires et (iii) les routes transfrontalières. Pour ces dernières, le point d'intersection a été converti en point d'emplacement en utilisant Intersect Lines Tool disponible auprès de Hawth's Analysis Tools de ArcGIS (<http://www.spatialecology.com/htools/tooldesc.php>). Pour les pays de l'étude, seules les routes transfrontalières identifiées comme point de contrôle des volailles et produits de volaille (Figure 8) ont été inclus. La distance euclidienne de chacune de ces trois catégories de routes a été calculée et les résultats ont été présentés sous forme de cartes à trame avec une résolution de 1 km².

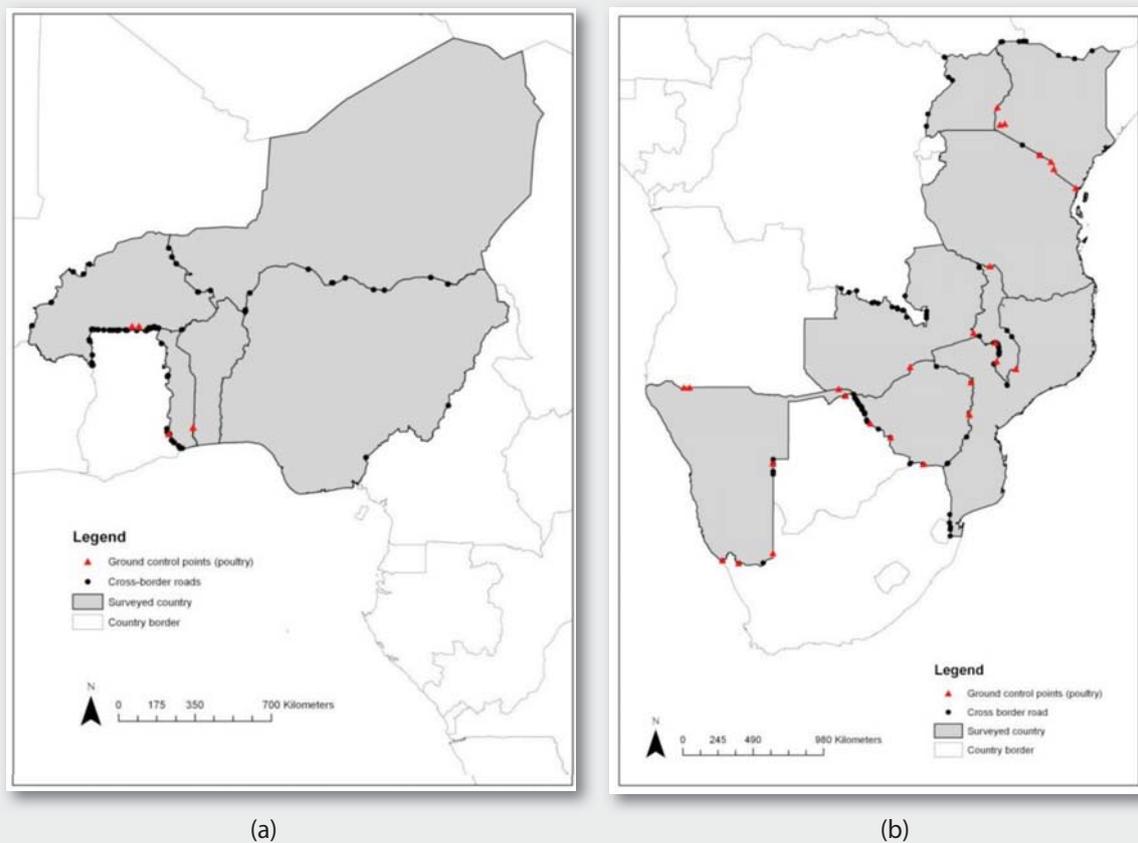


Figure 8: Carte indiquant l'emplacement des points transfrontaliers par lesquels les volailles et produits avicoles passent dans les pays ayant fait l'objet de l'étude en Afrique de (a) l'Ouest et (b) Australe.

Aéroports

Les emplacements de tous les aéroports civils et pistes d'atterrissage ont été obtenus à partir du site Global Mapping en ce qui concerne l'Algérie, la République du Congo, la République Démocratique du Congo, la Guinée Bissau, le Mozambique, le Niger, l'Afrique du Sud, le Sénégal, le Soudan, le Swaziland et la Tunisie. Les informations sur les aéroports civils et les pistes d'atterrissage des autres pays, ainsi que les aéroports et pistes combinés civils et militaires ont été extraits de VMap0 Airports (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>). Pour les pays de l'étude, les aéroports qui ne sont pas impliqués dans les produits de volaille (Figure 9) ont été retirés de la carte. La distance euclidienne des aéroports a été calculée et les résultats ont été présentés sous forme de carte à trame avec une résolution de 1 km².



Figure 9:
Carte indiquant l'emplacement des aéroports où passent des volailles et produits avicoles dans les pays ayant fait l'objet de l'étude en Afrique de (a) l'Ouest et (b) Australe.

Ports

Les emplacements des ports ont été identifiés en utilisant la carte RWDB2 Ports and Harbours (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>). Pour les pays de l'étude, les aéroports qui ne sont pas impliqués dans les produits de volaille (Figure 10) ont été enlevés de la carte. La distance euclidienne des ports a été calculée et les résultats ont été présentés sous forme de carte à trame avec une résolution de 1 km².

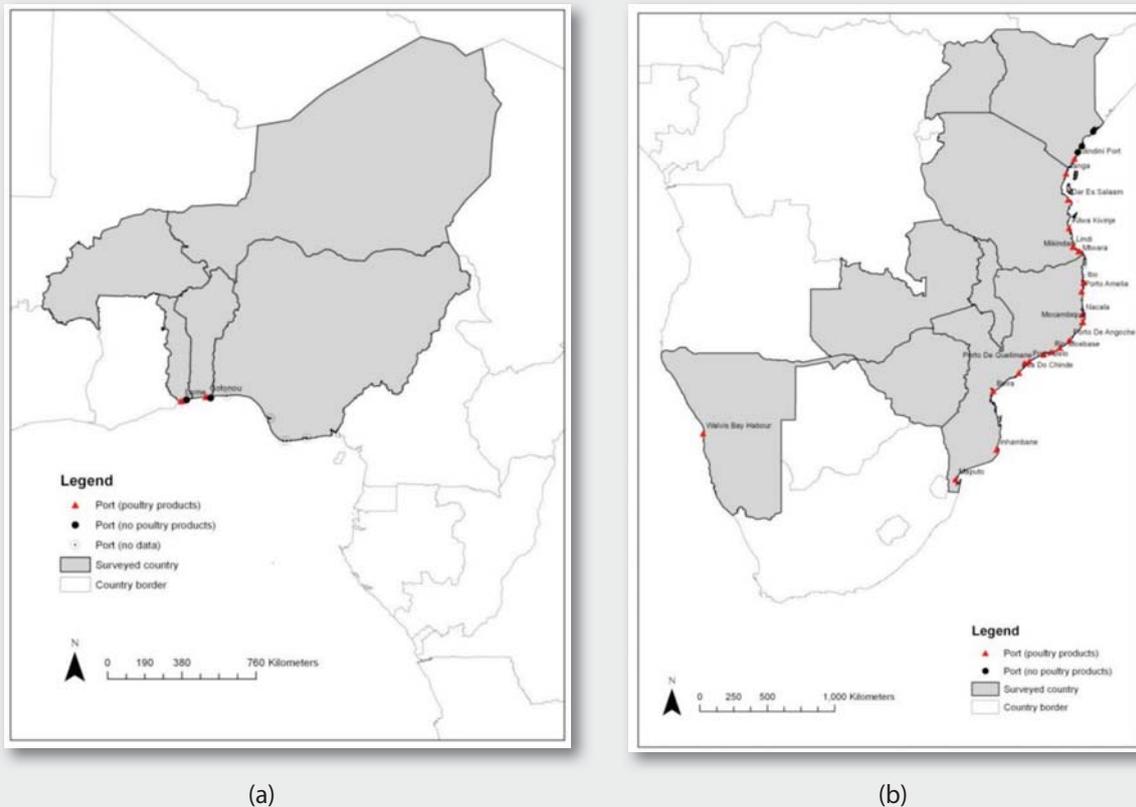


Figure 10: Carte indiquant l'emplacement des ports où passent des volailles et produits avicoles dans les pays ayant fait l'objet de l'étude en Afrique de (a) l'Ouest et (b) Australe.

Fleuves, zones humides, lacs et zones irriguées

Les données sur les emplacements des eaux permanentes et saisonnières ont été extraites de Global Maps en ce qui concerne l'Algérie, le Burkina Faso, la République du Congo, la République Démocratique du Congo, l'Égypte, le, la Guinée Bissau, le Mozambique, le Niger, l'Afrique du Sud, le Soudan, et la Tunisie. Les données sur les fleuves des autres pays ont été obtenues à partir de la source VMap0 Perennial Water Courses (Rivers) of the World (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>).

Pour ce qui est des zones humides, les chercheurs ont consulté la carte DCW Land Cover (éléments hydrologiques). Pour les zones irriguées, ils se sont référés à AQUASTAT Global Map, Zones Irriguées (version 4.0.1). Ils ont ensuite fusionné les formes des fleuves, des zones humides et des zones irriguées. La distance euclidienne des eaux a été calculée et les résultats ont été présentés sous forme de carte à trame avec une résolution de 1 km².

Couloirs aériens migratoires

Trois principaux couloirs aériens migratoires traversent l'Afrique : les couloirs de l'Atlantique Est, de l'Afrique de l'Est/Asie de l'Ouest et celui de la mer Noire/Méditerranée. Ils ont été identifiés en utilisant l'outil ArcMap's Georeference et isolés comme caractéristiques poly lignes. Celles-ci ont été converties en polygones et les trois couloirs ont été présentés sur des cartes distinctes. Ces cartes vectorielles ont été converties en cartes à trame avec une échelle binaire (avec présence ou absence de couloirs aériens migratoires).

Densité des volailles

Les données sur la densité des volailles en Afrique ont été extraites de la carte à trame de la FAO Gridded Livestock of the World, et converties d'une résolution de 5km² à 1km².

Toutes les cartes ont été représentées sur une échelle continue positivement corrélée au résultat du modèle (risque d'introduction et de propagation de l'IAHP) et standardisées en utilisant une échelle binaire par octet allant de 0 à 255.



Annexe 3

Calcul des pondérations de l'importance relative des risques

L'importance de chaque facteur de risques pour l'introduction ou la propagation du VIAHP en Afrique a été décidée par l'utilisation d'un processus structurée de sollicitation d'opinion d'experts. L'objectif était d'utiliser les connaissances et expertises actuellement disponibles afin de déterminer une pondération pour chaque facteur de risques compris dans le modèle MCDM.

Des experts pertinents ont d'abord été contactés à partir d'une première revue documentaire. A la douzième conférence de International Society for Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE) tenue en août 2009, des orateurs ayant présenté des communications sur le VIAHP de type H5N1 ont été identifiés et inclus dans la liste, puisque leurs travaux étaient plus récents que ceux extraits de la revue documentaire. Les premiers auteurs et co-auteurs de trois articles ou plus ont été sélectionnés. Les scientifiques du projet EDRS-AIA ont été exclus.

Les chercheurs ont contacté les 23 experts identifiés par email. Ils ont expliqué les objectifs et les principes de l'exercice consistant à obtenir les opinions des experts et leur ont demandé d'apprécier les facteurs de risques d'introduction et de propagation du VIAHP en Afrique en utilisant des tableaux de comparaison par pair contenus dans des documents Excel. D'autres informations ont été fournies, y compris des articles de journaux obtenus à partir de la revue documentaire, des éléments clés de la méthodologie et des liens aux cartes de risques EDRS-AIA. Ces documents sont disponibles sur demande, auprès de Saskia Hendrickx (s.hendrickx@cgiar.org).

Six experts ont répondu dans les délais impartis. La moyenne de leur appréciation de chaque facteur de risques a été utilisée pour la production des cartes de risques présentées dans ce rapport. Les appréciations individuelles de six experts ainsi que la moyenne des scores de chaque facteur de risques ont été présentés au **Tableau 3 (introduction) et au Tableau 4 (propagation)**.

Ces experts étaient divisés sur la question de savoir si les oiseaux migrateurs ou le commerce de volaille constituait la voie d'entrée prédominante du virus IAHP en Afrique, bien qu'en général, les points d'entrée associés au commerce de volaille – particulièrement sur les routes transfrontalières – aient reçu une appréciation plus élevée que les points d'entrée associés aux oiseaux migrateurs (Tableaux 3). Les six étaient d'accord sur l'appréciation des facteurs de risques de propagation de l'IAHP. Quatre des six experts ont évalué la densité des volailles comme le facteur de risques le plus important et trois sur six ont classé la proximité des marchés venant en seconde position (Tableau 4). En général, les points de contact entre la volaille commercialisée et la volaille domestique ont reçu une appréciation plus élevée que les contacts entre les oiseaux migrateurs et la volaille domestique.

Tableau 3:

Scores individuels et moyens des facteurs de risques associés à l'introduction de l'influenza aviaire hautement pathogène en Afrique déterminés par six experts dont l'opinion a été sollicitée. Les facteurs de risques au score le plus élevé ont été surlignés en gris.

Facteur de risque	Moyenne score	Scores individuels					
		1	2	3	4	5	6
Proximité des routes transfrontalières	0,2705	0,2322	0,807	0,1085	0,1770	0,3868	0,4380
Proximité de l'eau/ zones humides	0,2428	0,3738	0,0703	0,3673	0,2994	0,2192	0,1268
Présence de voies migratoires /de la Mer noire/ Méditerranée	0,1489	0,1137	0,0487	0,1716	0,2994	0,0949	0,1653
Proximité des aéroports	0,1225	0,0274	0,3839	0,0185	0,0273	0,1391	0,1386
Présence de voies migr. de l'Af de Est/Asie de l'Ouest	0,1200	0,1688	0,0675	0,2476	0,0755	0,0949	0,0657
Proximité des ports	0,0578	0,0291	0,1207	0,0372	0,1025	0,0245	0,0328
Présence de voie migratoire de l'Atlantic Est	0,0374	0,0550	0,0282	0,0493	0,0188	0,0406	0,0328

Tableau 4:

Scores individuels et moyens des facteurs de risques associés à la propagation de l'influenza aviaire hautement pathogène en Afrique et déterminés par six experts dont l'opinion a été sollicitée. Les facteurs de risques au score le plus élevé ont été surlignés en gris.

Facteur de risque	Moyenne score	Scores individuels					
		1	2	3	4	5	6
Densité des volailles	0,2692	0,3088	0,2963	0,2412	0,2415	0,3738	0,1535
Proximité des marchés	0,2400	0,3088	0,1960	0,2412	0,3120	0,1372	0,2447
Proximité des routes primaires	0,1924	0,1337	0,0818	0,2412	0,2284	0,1077	0,3618
Proximité de l'eau ou zones humides	0,1375	0,0374	0,2963	0,1384	0,0459	0,2232	0,0839
Proximité des routes secondaires	0,0879	0,1209	0,0617	0,0772	0,0991	0,0781	0,0903
Proximité des zones irriguées	0,0436	0,0691	0,0403	0,0181	0,0543	0,0401	0,0396
Proximité des fleuves navigables	0,0294	0,0214	0,0277	0,0425	0,0187	0,0401	0,0262

Annexe 4

Modélisation de décision multicritères

Les moyennes des scores obtenues de la consultation des experts ont été combinées avec les cartes à trame en utilisant une combinaison linéaire pondérée (WLC). Le risque a ensuite été calculé soit pour l'introduction du VIAHP (Figure 11) soit pour sa propagation (Figure 12) sur chaque kilomètre carré cartographié. Les cartes sur l'introduction et la propagation du virus ont ensuite été combinées à l'aide du WLC et des scores de 0,333 (introduction) et 0,666 (propagation) afin de déterminer le degré d'exposition des zones à la survenue de foyers d'IAHP (Figure 13).

Dans tous les cas de figure, la probabilité a été exprimée sur une échelle continue allant de 0 (plus faible probabilité) à 255 (probabilité la plus élevée). L'échelle continue a ensuite été regroupée en dix catégories par le biais de la méthode Natural Breaks de Jenks.

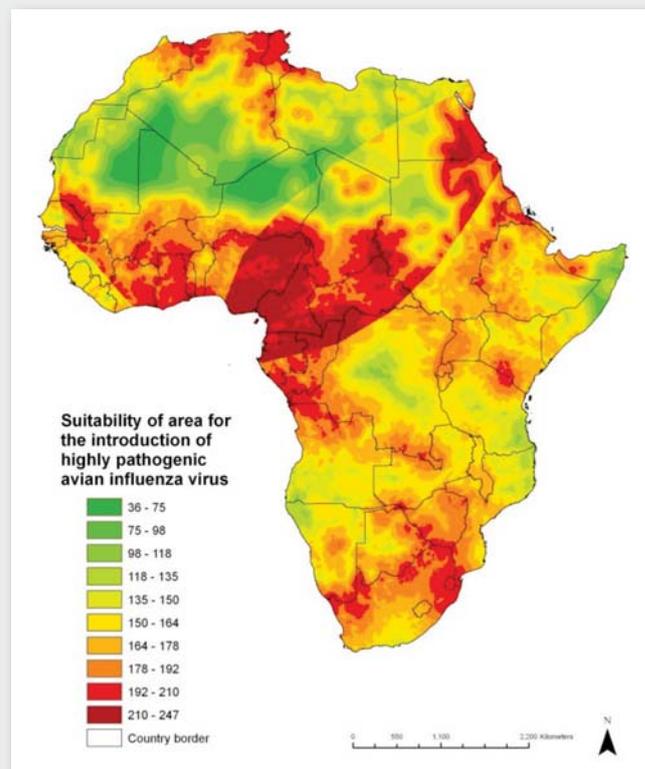


Figure 11: Carte montrant l'exposition de l'Afrique à l'INTRODUCTION du virus d'influenza aviaire de type H5N1 par le biais de commerce de volailles et d'oiseaux migrants. L'échelle varie de la probabilité la plus faible (vert) à la plus élevée (rouge).

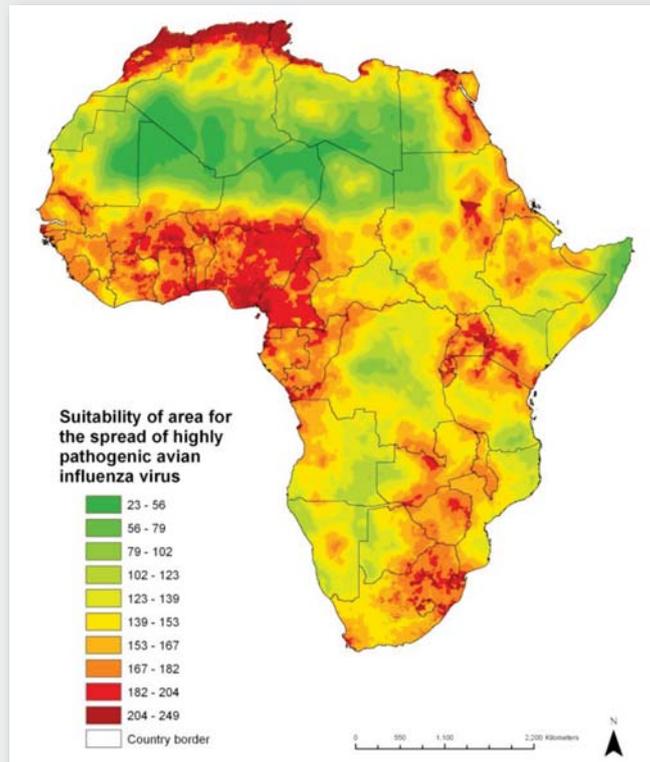


Figure 12: Carte montrant l'exposition de l'Afrique à la PROPAGATION du virus d'influenza aviaire de type H5N1 au sein des volailles domestiques par le biais de commerce de volailles et d'oiseaux migrateurs. L'échelle varie de la probabilité la plus faible (vert) à la plus élevée (rouge).

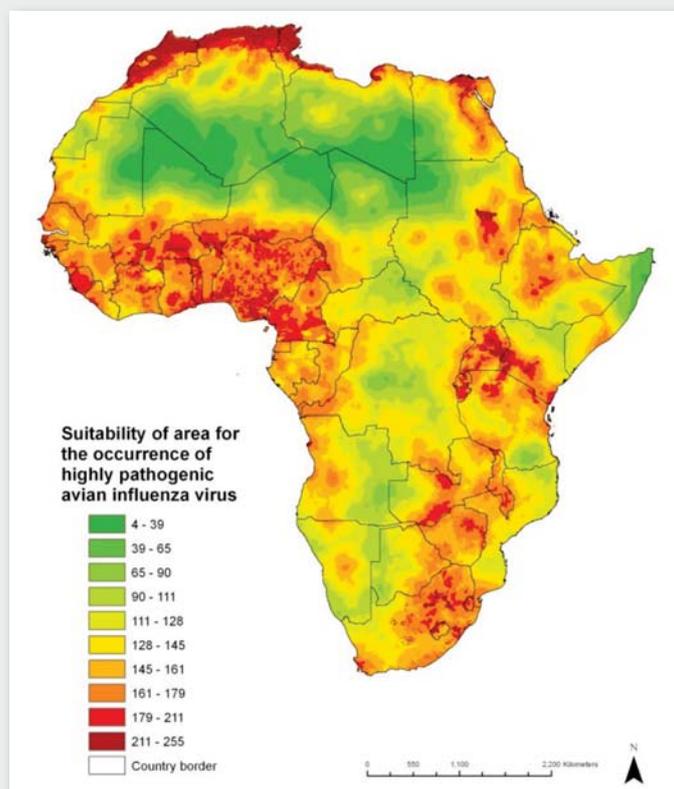


Figure 13: Carte montrant l'exposition de l'Afrique à la SURVENUE DE FOYERS d'influenza aviaire de type H5N1 au sein des volailles domestiques. L'échelle varie de la probabilité la plus faible (vert) à la plus élevée (rouge).

Annexe 5

Validation des cartes

Les prévisions des cartes de risques ont été comparées à la survenue réelle de foyers de maladie de 2006 à 2009. Seuls 2,5% des terres émergées en Afrique ont été modélisées comme les plus exposées à la survenue de l'IAHP (Tableau 5), et 34,3% (n = 213) des foyers signalés étaient localisés dans ces zones (Figure 14). En outre, 97,4% (n= 605) des foyers sont survenus dans les trois catégories de risque le plus élevé (Tableau 5).

*Tableau 5:
Proportion de la surface émergée totale en Afrique considérée exposée à la survenue de foyers d'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) et nombre de foyers signalés de H5N1 dans ces zones entre 2006 et 2009.*

Conformité	Total territoire (km2)	Pourcentage du territoire total (%)	Foyers prévus (n)	Foyers réels (n (%))
1 (least)	1721971	5.9	37	0
2	1762068	6.0	37	0
3	1690978	5.8	36	0
4	3143914	10.7	66	0
5	4429599	15.1	94	1 (0.2)
6	5288511	18.1	112	6 (1.0)
7	4861501	16.6	103	9 (1.4)
8	4186964	14.3	89	252 (40.6)
9	1454751	5.0	31	140 (22.5)
10 (most)	724885	2.5	16	213 (34.3)
Total	29 265 142	100	621	621 (100)

La surface totale de l'Afrique et la surface couverte par chacune des dix probabilités ou risques moindres à plus élevés ont été déterminés en kilomètres carrés. La surface (km2) de chaque catégorie de risque a ensuite été convertie en une fraction de la surface totale.

Le test X2 de Pearson pour la qualité de l'ajustement a été utilisé en vue de comparer la proportion des lieux de foyers survenus dans des zones exposées avec les proportions de foyers qui pourraient survenir

dans ces zones si elles étaient réparties au hasard dans les catégories de conformité. Contrairement au test d'indépendance χ^2 de Pearson qui détermine si les observations des deux variables sont indépendantes l'une de l'autre, le test pour la qualité de l'ajustement compare la distribution des données observées par une distribution théorique ou basée sur l'hypothèse.

Les tests χ^2 pour la qualité de l'ajustement ont indiqué que ces proportions étaient bien plus élevées ($p < 0.001$) que l'hypothèse de 2,5 % ($n = 16$) et 21,8 % ($n = 135$) de foyers que l'on prévoyait dans ces zones si leur répartition avait été faite au hasard ($\chi^2 = 2576,25$, $df = 1$ et $\chi^2 = 2065,55$, $df = 1$, respectivement). Ainsi, la carte semble prévoir les zones exposées à la survenue de l'IAHP avec précision.

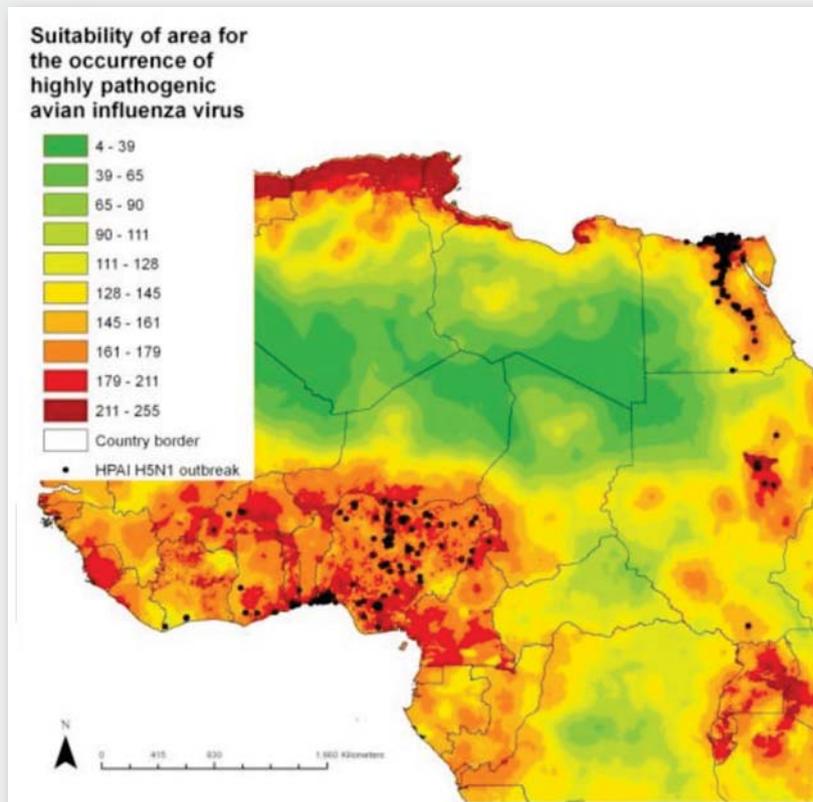


Figure 14:
Carte montrant l'exposition de l'Afrique à la survenue de foyers d'influenza aviaire de type H5N1 avec superposition de lieux où tous les foyers d'influenza aviaire de type H5N1 ont été signalés entre 2006 et 2009.

Annexe 6

Analyse de sensibilité

La vérification statistique a montré que si l'appréciation de tout facteur individuel de risque était modifiée de 25%, les résultats en termes de niveau de risque pour les régions demeurent les mêmes. Chaque score nouvellement calculé a été inclus dans le modèle MCDM tout en maintenant tous les autres scores de facteur constants.

Le score de risque a été calculé à 50 000 emplacements sélectionnés au hasard, et la moyenne de modification dans les estimations de conformité suite à la modification de l'estimation du facteur a été calculée. Au niveau du total, les régions identifiées comme étant à risque plus élevé ou plus faible d'introduction ou de propagation de la maladie pouvaient demeurer telles, même lorsque les scores des différents facteurs de risque ont été augmentés ou réduits jusqu'à 25%.

Les estimations de risque d'introduction (tableau 6) et de propagation (tableau 7) de la maladie étaient très solides ; en effet, l'augmentation ou la réduction des scores des facteurs de risque individuels d'introduction de la maladie n'a pas occasionné de changements significatifs au niveau des scores individuels de risque.

Tableau 6 :

Analyse de sensibilité des scores utilisés pour évaluer l'exposition de l'Afrique à l'introduction du virus de l'influenza aviaire hautement pathogène (résolution : 1 km²). La moyenne de changement des estimations de risque a été calculée à partir des 50 000 emplacements générés au hasard.

Facteur de risque	Moyenne de changement au niveau des estimations répondant aux objectifs (\pm std. dev)	
	Evaluation du facteur augmentée de 25%	Evaluation du facteur réduite de 25%
Proximité des routes transfrontalières	1.97 \pm 5.66	0.28 \pm 2.97
Proximité des aéroports	1.09 \pm 3.45	1.28 \pm 3.46
Proximité des ports	1.45 \pm 2.95	0.91 \pm 3.39
Présence du couloir aérien migratoire de la Mer noire	2.11 \pm 6.74	0.18 \pm 4.64
Présence du couloir aérien migratoire de l'Afrique de l'Est	1.00 \pm 3.06	1.37 \pm 5.72
Présence du couloir aérien migratoire de l'Atlantique Est	1.29 \pm 3.01	1.07 \pm 3.09
Proximité des eaux ou zones humides	0.62 \pm 2.37	3.21 \pm 6.12

Tableau 7 :

Analyse de sensibilité des scores utilisés pour évaluer l'exposition de l'Afrique à la propagation du virus de l'influenza aviaire hautement pathogène au sein des volailles domestiques (résolution : 1 km²). La moyenne de changement des estimations de risque a été calculée à partir des 50 000 emplacements générés au hasard.

Facteurs de risques	Moyenne de changement au niveau des estimations répondant aux objectifs (\pm std. dev)	
	Evaluation du facteur augmentée de 25%	Evaluation du facteur réduite de 25%
Proximité des marchés	4.51 \pm 3.43	1.90 \pm 3.60
Proximité des routes secondaires	4.93 \pm 2.68	1.56 \pm 2.78
Proximité des terres irriguées	3.61 \pm 2.61	2.96 \pm 2.49
Proximité des routes primaires	5.10 \pm 4.75	1.29 \pm 0.99
Proximité des eaux et zones humides	5.31 \pm 2.69	5.31 \pm 2.69
Proximité des fleuves navigables	3.53 \pm 2.37	3.04 \pm 2.66
Densité des volailles	3.78 \pm 2.17	11.37 \pm 5.03





Rapport final et cartes de
risques d'influenza aviaire