

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	7
PREMIERE PARTIE	9
I.1) Surveillance épidémiologique événementielle	9
I.1.1) Définition.....	9
I.1.2) Rôle.....	9
I.2) Utilisation de la méthode capture-recapture en santé animale	11
1.2.1) Principe de la méthode capture-recapture	11
1.2.2) Définitions.....	12
I.2.2) Estimation du nombre total d'événements avec deux sources	14
I.2.3) Estimation du nombre total d'événements avec trois sources ou plus	16
I.2.4) Historique de la méthode capture-recapture	23
I.2.5) Utilisation de la méthode capture-recapture en épidémiologie vétérinaire	26
I.3) Systèmes de surveillance vétérinaires mondiaux : WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i	27
I.3.1) WAHIS/WAHID	28
I.3.2) EMPRES-i	34
I.3.3) ProMed-mail	36
13.4) Comparaison des trois systèmes de surveillance	37
DEUXIEME PARTIE	39
II.1) Matériel et méthodes	39
II.1.1) Choix des sources.....	39
II.1.2) Définition d'un "événement exceptionnel"	40
II.1.3) Sources	41
II.1.4) Collecte des données et harmonisation des bases de données.....	41
II.1.5) Identification des doublons et des événements communs.....	42
II.1.6) Etude des caractéristiques des événements déclarés, par source.....	42
II.1.7) Etude de la dépendance entre les sources.....	43
II.1.8) Stratification des taux d'exhaustivité selon les variables d'hétérogénéité	43

II.1.9) Outils d'analyse statistiques	44
II.2) Résultats	44
II.2.1) Collecte des données et événements retenus pour l'analyse	44
II.2.2) Caractéristiques des événements déclarés, par source	45
II.2.3) Identification des événements communs et distribution des événements selon leur source d'appartenance	47
II.2.4) Etude de la dépendance entre les sources.....	48
II.2.5) Analyse globale selon les modèles log-linéaires.....	51
II.2.6) Stratification des résultats selon les variables sources d'hétérogénéité	52
II.2.7) Bénéfices de l'utilisation des notifications ProMed-mail pour l'OIE, et de la diffusion des données OIE par ProMed-mail	54
II.3) Discussion	55
II.3.1) Méthode.....	55
II.3.2) Résultats	58
CONCLUSION	61
BIBLIOGRAPHIE	63
ANNEXES	68

Table des illustrations

Figure 1: Répartition des événements notifiés par trois systèmes de surveillance A, B et C	17
Figure 2 : Évaluation de la dépendance par estimation du rapport des cotes (RC).....	19
Figure 3 : Arbre de décision pour l'inclusion d'une maladie dans la liste de l'OIE (OIE, 2010).....	30
Figure 4 : Procédure d'alerte précoce de l'OIE (OIE, 2011d)	32
Figure 5 : Fonctionnement du Système mondial d'information sanitaire (OIE, 2011d).....	33
Figure 6 : Fonctionnement d'EMPRES-I	35
Figure 7 : Fonctionnement de ProMED-mail.....	37
Figure 8: Répartition des événements notifiés par l'OIE, EMPRES-i et ProMed-mail	41
Figure 9 : Distribution des 805 événements selon leur(s) source(s) de déclaration.....	48

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau de contingence pour deux sources	14
Tableau 2: Tableau de contingence à trois sources	17
Tableau 3: Tableau récapitulatif du fonctionnement des trois réseaux OIE, EMPRES-i et ProMed-mail.....	38
Tableau 4 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon l'année de survenue.....	45
Tableau 5 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon la région mondiale	46
Tableau 6 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon le caractère zoonotique des maladies	46
Tableau 7 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon le niveau de développement des pays	47
Tableau 8: Tableau de contingence pour les trois sources WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i.....	48
Tableau 9: Estimation du nombre total de cas en croisant les sources 2 à 2, exhaustivité et intervalle de confiance	50
Tableau 10 : Rapport de cote de la répartition entre deux sources des cas présents dans la troisième source. Tests d'indépendance des sources, méthode de Wittes.....	50

Tableau 11 : Résultats de l'analyse globale par modèles log-linéaires.....	51
Tableau 12 : Exhaustivité des trois sources à partir de l'estimation du nombre total d'événements exceptionnels estimé.....	52
Tableau 13 : Distribution des événements selon l'année de survenue.....	53
Tableau 14 : Distribution des événements selon la région de survenue.....	53
Tableau 15 : Distribution des événements selon le niveau de développement du pays de survenue	54
Tableau 16 : Distribution des événements selon la nature des maladies (zoonoses et maladies non-zoonotiques).....	54
Tableau 17 : Taux d'exhaustivité de WAHID et ProMed-mail pour les événements exceptionnels, pour les maladies de la liste de l'OIE, avec et sans vérification/diffusion des données de l'autre réseau	55
Tableau 18 : Résultats de l'analyse pour 2010 par modèles log-linéaires.	84
Tableau 19 : Résultats de l'analyse pour 2009 par modèles log-linéaires.	84
Tableau 20 : Résultats de l'analyse pour 2008 par modèles log-linéaires.	84
Tableau 21 : Résultats de l'analyse pour 2007 par modèles log-linéaires.	86
Tableau 22 : Résultats de l'analyse pour 2006 par modèles log-linéaires.	86
Tableau 23 : Résultats de l'analyse pour 2005 par modèles log-linéaires.	86
Tableau 24 : Résultats de l'analyse pour l'Asie par modèles log-linéaires.	87
Tableau 25 : Résultats de l'analyse pour l'Afrique par modèles log-linéaires.	87
Tableau 26 : Résultats de l'analyse pour les Amériques par modèles log-linéaires.	87
Tableau 27 : Résultats de l'analyse pour l'Europe par modèles log-linéaires.	88
Tableau 28 : Résultats de l'analyse pour le Moyen Orient par modèles log-linéaires.....	88
Tableau 29 : Résultats de l'analyse pour les pays développés par modèles log-linéaires.	88
Tableau 30 : Résultats de l'analyse pour les pays en voie de développement par modèles log-linéaires.....	89
Tableau 31 : Résultats de l'analyse pour les maladies zoonotiques par modèles log-linéaires.	89
Tableau 32 : Résultats de l'analyse pour les maladies non zoonotiques par modèles log-linéaires.	89

Liste des Annexes

Annexe 1 : Liste des maladies notifiables à l'OIE

Annexe 2 : Liste des maladies animales surveillées par EMPRES-i

Annexe 3 : Maladies communes à la liste de surveillance de l'OIE et d'EMPRES-i

Annexe 4 : Répartition des pays de survenue des événements épidémiologiques selon les régions du monde, selon la répartition régionale de l'OIE

Annexe 5 : Distribution des pays selon leur niveau de développement (liste de l'ONU)

Annexe 6 : Détail des résultats des analyses pour chacune des strates, par modèles log-linéaires

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

AIC	Critère d'information d'Akaike
ddl	Degrés de liberté
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
EMPRES	Système de prévention et de réponse rapide contre les ravageurs et les maladies transfrontalières des animaux et des plantes
WAHIS	Système d'information mondial pour la santé animale
WAHID	Base de données mondiale d'information pour la santé animale
OIE	Organisation mondiale de la santé animale
OMC	Organisation Mondiale du Commerce
ONU	Organisation des Nations Unies
ProMED-mail	Programme pour la surveillance des maladies émergentes
EMPRES-i	Système mondiale d'information sur les maladies animales



INTRODUCTION

La plupart des nouveaux agents pathogènes qui touchent l'homme sont d'origine animale (animaux domestiques ou sauvages). C'est pourquoi les systèmes de surveillance nationaux et internationaux des maladies animales sont indispensables, afin non seulement de prévenir les pertes affectant les productions animales mais aussi de réduire les menaces qui pèsent sur la santé humaine (FAO, 2011a).

Les professionnels de la santé animale, qui suivent les rapports fournis par les réseaux de surveillance internationaux, combinent souvent les données de différentes sources sans pour autant en connaître la sensibilité et la spécificité. Le Système d'Information Mondiale pour la Santé Animale (WAHIS) de l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OIE), le Programme pour la Surveillance des Maladies Emergentes (ProMed-mail), et le Système mondial d'information sur les maladies animales (EMPRES-i) sont trois réseaux de surveillance internationaux majeurs pour les maladies animales.

La Base de Données Mondiale d'information sur la santé animale (WAHID) permet d'accéder à toute donnée fournie par WAHIS. Le réseau a deux composants : un système d'alerte précoce qui vise à informer, par le biais de messages d'alerte, de la survenue d' « événements épidémiologiques exceptionnels », et un programme de surveillance qui vise à suivre les maladies notifiables à l'OIE sur la durée (avec des rapports semestriels et des rapports annuels). Cette étude concerne uniquement le système d'alerte précoce.

ProMed-mail est un réseau de surveillance dédié à la diffusion rapide et mondiale des informations concernant les foyers de maladies humaines ou animales. Le premier mandat du réseau est de promouvoir la communication à l'adresse des différentes communautés scientifiques. Ce système est ouvert à toutes les sources et exempt de contraintes politiques. Les sources d'information incluent, entre autres, les médias, les rapports officiels et les agents de terrain. Une équipe d'experts de la santé revoit et commente les rapports avant de les poster sur le réseau. A ce jour, ProMed-mail compte plus de 40 000 informateurs répartis dans plus de 185 pays (ProMED-mail, 2011).

EMPRES-i est une application web qui a été conçue par la FAO pour appuyer les services vétérinaires en facilitant l'accès à l'information sanitaire relative aux maladies de distribution régionale et mondiale. La rapidité et la fiabilité de ces informations vise à améliorer le contrôle et l'éradication des maladies animales transfrontalières. Le réseau diffuse des notifications provenant de sources officielles et non officielles, et validées par les autorités officielles ou par les agents de terrain de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Ces trois réseaux ont développé des systèmes d'échange d'information, qu'il est intéressant de comprendre, afin d'évaluer leur efficacité réelle. En effet, l'exhaustivité de la surveillance de

ces systèmes est mal connue. C'est pourquoi la méthode capture-recapture, objet de ce travail, représente une option intéressante pour l'estimation du nombre réel d'événements survenus dans les pays qui soumettent des rapports à l'OIE. Le champ d'application initial de cette méthode était la zoologie, avant d'être développée en épidémiologie (Wittes et Sidel, 1968 ; International working group for disease monitoring, 1995b).

La méthode capture-recapture permet d'estimer une population à partir de plusieurs sources de données, en utilisant le nombre d'individus recensées dans chacune de celles-ci, et le nombre d'individus communs d'une source à l'autre. Elle estime le nombre d'individus n'ayant pu être observés dans aucune des sources, et ensuite le nombre total d'individus constituant la population étudiée.

Cette étude comprend plusieurs parties. Une première partie bibliographique porte sur la surveillance épidémiologique événementielle, l'utilisation de la méthode capture-recapture en épidémiologie animale, et la description des systèmes de surveillance vétérinaires mondiaux WAHIS, EMPRES-i et ProMed-mail. Dans un deuxième temps, une étude a été conduite pour estimer le nombre réel d'« événements épidémiologiques exceptionnels » pour les maladies animales rapportées à la fois par WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i, dans les pays qui soumettent des rapports à l'OIE, entre 2005 et 2010 et afin d'estimer l'exhaustivité de la surveillance des trois réseaux pour ces événements, par la méthode capture-recapture à trois sources. Un autre objectif de cette étude était de clarifier les échanges d'informations entre ProMed-mail, WAHID et EMPRES-i pour les « événements exceptionnels », et d'identifier les facteurs influençant l'exhaustivité des trois systèmes de surveillance pour ces événements exceptionnels.

PREMIERE PARTIE

I.1) Surveillance épidémiologique événementielle

I.1.1) Définition

La surveillance épidémiologique peut être définie comme l'ensemble des opérations systématiques et continues de recueil, de compilation et d'analyse des informations zoonosaires, ainsi que leur diffusion en temps opportun aux responsables afin qu'ils puissent prendre les mesures qui s'imposent(OIE, 2011a).Cela comprend une rétro-information rapide et ciblée, une mise en place de mesures correctives et une évaluation de l'impact de ces mesures.

Cette surveillance concerne des maladies « importantes » en termes d'incidence, de sévérité, de mortalité, de coûts, ou de potentiel évolutif. La surveillance s'applique également généralement à des maladies pour lesquelles on peut engager des actions de santé publique (prévention, traitement). Elle permet d'évaluer l'évolution de la fréquence d'une maladie.

La diversité des objectifs spécifiques de la veille sanitaire et des situations épidémiologiques conduisent à des stratégies de surveillance différentes. Ainsi, on distingue la surveillance événementielle (ou passive) et la surveillance active.

On qualifie d'active toute méthode de surveillance fondée sur la recherche des données par des actions programmées à l'avance et élaborées par les animateurs du réseau.

À l'inverse, on qualifie d'événementielle toute activité de surveillance qui repose sur la déclaration spontanée des cas (ou suspicions de cas) de maladies détectées par les acteurs de terrain (Dufour et Hendrikx, 2011).

I.1.2) Rôle

Les objectifs de la surveillance épidémiologique sont divers. La connaissance de l'épidémiologie d'une maladie est nécessaire dans le but de définir des priorités de prévention et de contrôle, d'évaluer les politiques ou actions mises en place.

L'un des objectifs de la surveillance épidémiologique consiste à détecter l'apparition de maladies animales exotiques introduites à partir d'un autre pays, ou de nouvelles maladies ,inconnues jusqu'alors. La détection précoce de telles maladies, et leur suivi sont indispensables à la mise en place de mesures de contrôle adaptées.

Les systèmes de surveillance épidémiologique sont des outils d'aide à la décision dans le domaine de la prévention et du contrôle de ces maladies. Ils reposent le plus souvent sur un ensemble de personnes et/ou d'institutions organisées entre elles en réseaux (réseaux de surveillance épidémiologique) pour effectuer la surveillance d'une ou de plusieurs de ces maladies. La rapidité et la pertinence des décisions sanitaires prises dépendent de la fiabilité du système de surveillance. Assurer efficacement la détection et le suivi des menaces sanitaires constitue donc un préalable à toute lutte efficace (Dufour *et al*, 2006).

Chacune des modalités de surveillance (active ou événementielle) répond à un objectif spécifique et doit être elle-même adaptée en fonction de la situation, des ressources disponibles et de la maladie considérée. La modalité de surveillance à mettre en œuvre dépend donc étroitement de l'objectif de surveillance que l'on a fixé. On retrouve généralement la surveillance événementielle pour l'alerte précoce lorsque la clinique est un critère précoce de détection d'une maladie exotique ou pour la simple détection des cas prévalents dans le cas d'une maladie existante. À cette fonction de base se trouvent alors associée une surveillance active, destinée soit à renforcer l'alerte précoce ou la détection des cas, soit à démontrer l'existence ou l'absence de la maladie.

La surveillance événementielle est une surveillance continue, qui repose en premier lieu sur les acteurs de terrains proches des éleveurs, et donc aptes à repérer et transmettre précocement les cas ou suspicions de cas à l'unité centrale de gestion des données. Ces acteurs de terrains peuvent être, selon les situations, les vétérinaires praticiens intervenant dans les élevages, ou bien les techniciens vétérinaires gouvernementaux, ou bien encore les techniciens de groupements.

Le rôle des éleveurs et de ces acteurs de terrains est prépondérant dans la vie du réseau de surveillance événementielle, et leur sensibilisation à la déclaration des cas ou suspicions de cas est indispensable et conditionne la qualité de la surveillance. Les actions de communication destinées précisément à ces premiers maillons sont donc nécessaires, et peuvent prendre la forme de plaquettes d'information, de réunions de sensibilisation ou bien encore de visite des cheptels.

L'efficacité de la transmission de l'information par les acteurs de terrains vers l'unité centrale de gestion des données est l'élément qui conditionne le plus la qualité de fonctionnement du réseau de surveillance événementielle. Cette question fait intervenir des facteurs économiques et sociologiques propres aux réseaux de surveillance passive. Par exemple, le risque d'abattage du cheptel en cas de notification de la maladie peut desservir la qualité de la surveillance, en démotivant les éleveurs. De même, la peur d'être accusé par les autres éleveurs d'avoir introduit la maladie dans la zone de surveillance peut générer une peur, qui affecte la qualité de notification. Ces questions conduisent les gestionnaires Ces questions conduisent les gestionnaires à éviter des mesures de lutte aux conséquences trop lourdes lorsqu'un cas est découvert, afin de ne pas démotiver les éleveurs et compromettre la notification d'autres cas.

De manière générale, un réseau de surveillance événementielle ne peut pas prétendre à l'exhaustivité, puisqu'il repose largement sur l'adhésion des participants. Par ailleurs, il faut noter que même la surveillance active est rarement exhaustive, en raison des imperfections de sensibilité et spécificité des tests utilisés.

Les réseaux de surveillance ont donc toujours une exhaustivité limitée, qu'il est important de garder en mémoire lors de l'interprétation des données (Dufour et Hendrikx, 2011).

En guise d'illustration de la complémentarité des types de surveillance, on peut citer une étude comparative des surveillances événementielle et active basée sur des visites de cheptels et menée sur une période de 24 mois pour neuf maladies animales au Tchad. Les activités de surveillance actives consistaient en quatre visites par mois, par cheptel. En parallèle, des réunions de sensibilisation à la notification événementielle des maladies animales considérées ont été organisées à l'intention des éleveurs, tous les quatre mois. Les résultats des surveillances active et événementielle ont ensuite été comparés. Il en ressort, qu'indépendamment du type de surveillance, toutes les maladies sous surveillance, à l'exception des maladies rares (peste bovine et fièvre de la Vallée du Rift) ont été signalés par les agents de terrains. Toutefois, la notification de cas, ou de suspicions de cas a été plus importante par la surveillance événementielle que par la surveillance active. En conclusion, la surveillance événementielle, stimulée par des réunions de sensibilisation, semblait être mieux adaptées aux conditions locales. Toutefois, pour les maladies rares, la surveillance active spécifique restait importante pour compléter la surveillance passive (Ouagal *et al*, 2010).

La surveillance événementielle et la surveillance active sont donc complémentaires, et le choix de la mise en place de l'un ou l'autre type de surveillance dépend du contexte et des ressources disponibles.

I.2) Utilisation de la méthode capture-recapture en santé animale

1.2.1) Principe de la méthode capture-recapture

Cette méthode permet, sous certaines conditions, d'estimer le nombre réel d'événements survenus dans une population pendant une période donnée, en croisant les événements rapportés par plusieurs systèmes distincts, et en identifiant les événements communs entre les différents systèmes. Elle permet d'estimer le taux d'événements rapportés par chacun des systèmes correspondant à leur exhaustivité.

1.2.2) Définitions

Il est nécessaire de définir quelques termes propres à la méthode capture-recapture, préalablement à la description de ses principes et applications.

1.2.2.1) Estimateur (Jolion, 2006)

La méthode capture-recapture permet de donner une idée de l'exhaustivité du recensement par une source, en proposant un nombre d'individus non recensés par une méthode de calcul. Ce nombre comme l'exhaustivité de la source proposée par la méthode sont des estimations. De manière générale, un estimateur est une fonction permettant d'estimer à partir d'un échantillon, un paramètre inconnu d'une population.

À partir de données extraites d'échantillons représentatifs, on cherche à décrire la population-mère (*i.e.* la population d'où proviennent les échantillons). Plus exactement, soit θ un paramètre de distribution de la variable aléatoire X , dont la vraie valeur est inconnue.

Soient $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ les n valeurs prises par la variable aléatoire X dans un échantillon de taille n prélevé dans la population-mère. On appelle estimateur de θ , que l'on note T_n , la fonction qui, aux valeurs x_i de l'échantillon, fait correspondre la valeur du paramètre θ . On note la valeur numérique de cette estimation par :

$$\hat{\theta} = T_n(x_1, \dots, x_n)$$

Par exemple, on observe un phénomène de production de pièces manufacturées. Chaque pièce est associée à une mesure qui correspond à un indicateur de qualité. Comme on ne peut pas vérifier chaque mesure, on procède à un échantillonnage. La connaissance de la nature de cet indicateur nous permet de faire l'hypothèse qu'il obéit à une loi de probabilité normale. Le problème est maintenant, au vu de l'échantillon $\{x_i\}$, de proposer une valeur de la moyenne de cette loi normale.

Il faut procéder à une estimation du paramètre vrai μ qui se traduit par la valeur $\hat{\mu}$. Il y a une infinité de manière possible de procéder parmi lesquelles on peut citer

$$\hat{\mu} = 1/n \sum_i x_i \text{ ou } \hat{\mu} = \text{médiane } \{x_i\} \text{ ou } \hat{\mu} = \text{mode } \{x_i\}$$

La question se pose de savoir quel est le meilleur estimateur de la moyenne s'il existe. Sur ce simple exemple, est résumé le problème fondamental de l'estimation: quelle est la définition mathématique de meilleur estimateur? Il n'en existe pas. Alors, pour comparer les estimateurs possibles, on se sert de plusieurs critères:

- **le biais:** on souhaite que l'estimation ne soit pas systématiquement décalée par rapport à la vraie valeur ;

- **la précision:** si l'on répète l'estimation sur un autre échantillon, on souhaite obtenir une estimation cohérente, donc observer peu de variation d'un échantillon à l'autre ;
- **la convergence:** si l'on peut estimer la valeur du paramètre sur toute la population-mère, la valeur de l'estimation obtenue doit être la vraie valeur du paramètre ;
- **la complexité:** toute estimation nécessite un calcul donc du temps. On s'attachera donc à évaluer la complexité du calcul en fonction de la taille des données ;
- **la robustesse:** dans tout cas concret, il existe des sources de perturbations. On souhaite que l'estimation ne soit pas sensible à la présence de valeurs aberrantes.

Ces différents critères ne sont pas forcément compatibles entre eux, et l'on retrouve des dilemmes classiques entre précision et robustesse, convergence et complexité.

1.2.2.2) Dépendance

Des sources sont dites indépendantes lorsque la probabilité d'être recensé par une source ne dépend pas ou n'a pas d'influence sur la probabilité d'être recensé par une autre source.

À l'inverse, il existe une dépendance statistique entre des sources de données, lorsque le recensement de certains individus par une source de données influence la probabilité de recensement de ces mêmes individus par une autre source de données.

Ainsi, la dépendance est dite positive entre A et B lorsque le fait d'être recensé par la source A augmente la probabilité d'être recensé par la source B et vice-versa. À l'inverse, lorsque cette influence va dans le sens d'une diminution de probabilité, la dépendance est dite négative. Cette dépendance peut être appréciée qualitativement, par la connaissance des échanges d'information qui existent entre les sources.

Prenons l'exemple de deux sources de recensement de cas médicaux constituées, d'une part, par un groupe de médecins libéraux et d'autre part, par un centre hospitalier. Dans la première situation, il se peut que ces médecins aient l'habitude de référer certains cas à un centre hospitalier en particulier, car ils y connaissent un confrère compétent. Cela induit le fait que les patients traités par ces médecins ont une probabilité plus élevée d'être également recensés par le centre hospitalier que les patients traités par d'autres médecins, qui seraient orientés vers d'autres centres hospitaliers. On observe alors une dépendance positive entre la source « groupe de médecins » et la source « centre hospitalier ».

À l'inverse, il se peut que ce même groupe de médecins ne recommande pas ce centre hospitalier en particulier car ils estiment la qualité des soins mauvaise. Leurs patients ont alors

une plus faible probabilité que les patients des autres médecins d'être recensés par ce centre hospitalier. On observe une dépendance négative entre la source « médecins » et la source « centre hospitalier ».

La dernière situation possible serait celle où le groupe de médecins n'ait pas d'avis ou d'habitude particulière en ce qui concerne le centre hospitalier, et réciproquement. Dans ce cas, les patients traités par le groupe de médecins présentent la même probabilité que les patients des autres médecins d'être recensés par le centre hospitalier. Les sources sont alors indépendantes.

I.2.2) Estimation du nombre total d'événements avec deux sources

I.2.2.1) Méthode

Le croisement des événements rapportés par deux sources est illustré par un tableau de contingence 2x2. Les événements sont divisés selon leur présence (1) ou absence (2) dans les deux bases de données (tableau 1).

Tableau 1 : Tableau de contingence pour deux sources

		Evénements rapportés par B		
		OUI	NO	TOTAL
Evénements rapportés par A	OUI	X_{11}	X_{10}	N_A
	NON	X_{01}	X_{00}	$N - N_A$
	TOTAL	N_B	$N - N_B$	N

Sous l'hypothèse de l'indépendance des sources, la probabilité d'être détecté par les deux sources à la fois est égale au produit des probabilités d'être détecté par chacune des sources, ce qui se traduit par :

$$X_{11}/N = N_A/N \times N_B/N$$

On peut alors estimer le nombre total d'événements :

$$\text{Nombre total d'événements: } N = (N_B \times N_A) / X_{11}$$

Les autres estimateurs de Sekar et Deming (1949) permettent d'estimer X_{00} et sa variance.

Événements identifiés par aucune des deux sources: $X_{00} = (X_{10} \times X_{01}) / X_{11}$

Variance du nombre total d'événements: $\text{Var}(N) = (N_A \times N_B \times X_{10} \times X_{01}) / (X_{11})^3$

Lorsque les effectifs sont faibles, Chapman (1951) a proposé d'autres estimateurs, moins biaisés :

Nombre total d'événements: $N = [(N_A + 1) \times (N_B + 1) / (X_{11} + 1)] - 1$

Variance du nombre total d'événements:

$\text{Var}(N) = [(N_A + 1) (N_B + 1) \times X_{10} \times X_{01}] / ((X_{11} + 1)^2 \times (X_{11} + 2))$

Pour les deux estimateurs du nombre total d'événements, l'intervalle de confiance, et les taux d'exhaustivité des sources se calculent avec les formules suivantes :

Intervalle de confiance à 95% de N: $IC_{95\%} = N \pm 1,96 \times \sqrt{\text{var}(N)}$

Taux d'exhaustivité de la source A: $E(A) = N_A / N$

Taux d'exhaustivité de la source B: $E(B) = N_B / N$

L'intervalle de confiance à 95% pour les taux d'exhaustivité est calculé en divisant le nombre d'événements rapportés par une source par les bornes de l'intervalle de confiance à 95% du nombre total d'événements.

I.2.1.2) Conditions pour l'application de la méthode

La véracité des résultats dépend du respect de différentes conditions :

- **L'identification des vrais événements** : il est nécessaire de n'inclure dans la base de données que des vrais événements. En effet, le rapport de faux événements par une ou plusieurs sources causerait une surestimation du nombre total d'événements, et donc une sous-estimation des taux d'exhaustivité des sources. L'utilisation de définitions différentes pour les sources entraînerait également une surestimation du nombre total d'événements.
- **L'identification de tous les événements communs à deux des sources**: la surestimation du nombre d'événements communs aux deux sources causerait la sous-estimation du nombre total d'événements et inversement pour la sous-estimation du nombre d'événements communs.
- **Unité de temps et de lieu** : si l'une des sources se rapportait à une zone géographique ou une période de temps différente des autres sources, les résultats seraient biaisés.

- **Homogénéité de capture :** l'hétérogénéité de capture au sein des sources est génératrice de biais potentiel. En effet, si les valeurs fournies par les deux sources sont fortement liées à des caractéristiques individuelles (ex : consommation de tabac et âge), on peut s'attendre à un biais dans l'estimation.

On préférera donc des sources présentant une homogénéité de capture, et une stratification sur les variables sources d'hétérogénéité si tel est le cas.

Cependant, cette hypothèse reste discutée, car il est possible qu'aucun biais ne soit généré même en cas d'hétérogénéité, si une source seulement parmi les deux est hétérogène et l'autre ne l'est pas, ou bien si chacune des sources est liée à une caractéristique individuelle, sans que ces caractéristiques soient liées entre elles (par exemple, si une source est homogène sur l'âge mais hétérogène sur le sexe, et l'autre source est homogène sur le sexe des individus mais hétérogène sur l'âge) (Hook et Regal, 1993).

- **Pour la méthode à deux sources, indépendance entre les sources:** cette condition implique que l'identification des événements par une source ne doit pas dépendre du rapport de cet événement par une autre source.

I.2.3) Estimation du nombre total d'événements avec trois sources ou plus

A partir de trois sources, il existe, pour un individu donné, huit possibilités de présence ou d'absence (tableau 2, figure 1) : présence simultanée dans les trois sources (X_{111}) présence simultanée dans deux des trois sources (X_{101} , X_{011} , X_{110}), présence dans une seule des trois sources (X_{001} , X_{100} , X_{010}) et enfin absence dans les trois sources (X_{000}).

À partir des données recueillies, il est possible de savoir combien de personnes répondent aux différentes possibilités, sauf celle de l'absence de toutes les sources (X_{000}). Si l'on dispose de trois sources, il est possible de réaliser des estimations.

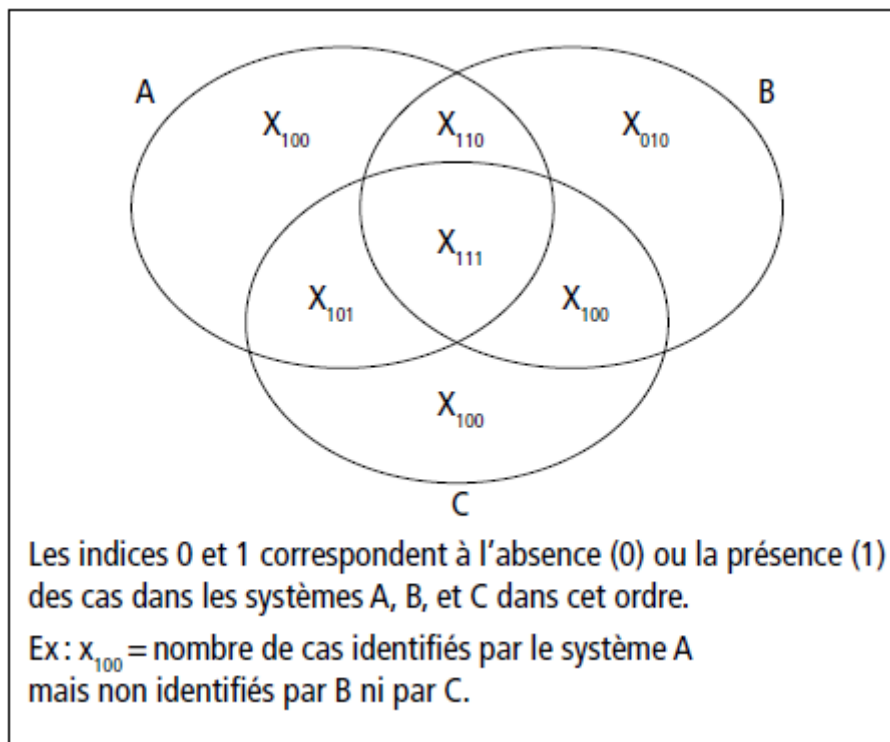
Les conditions d'application de la méthode capture-recapture à trois sources ou plus sont les mêmes que celles pour la méthode à deux sources, à l'exception de l'hypothèse d'indépendance entre les sources dont on peut alors s'affranchir. En effet, la dépendance entre les sources peut alors être estimée et prise en compte dans les r résultats.

Tableau 2: Tableau de contingence à trois sources

		A			
		OUI		NON	
		B		B	
		OUI	NON	OUI	NON
C	OUI	X_{111}	X_{101}	X_{011}	X_{001}
	NON	X_{110}	X_{100}	X_{010}	?

1 = présence, 0 = absence des événements dans les sources A, B, C dans cet ordre

Figure 1: Répartition des événements notifiés par trois systèmes de surveillance A, B et C



I.2.3.1) Estimation de la dépendance entre les sources

I.2.3.1.1) Dépendance statistique entre les sources

Il est possible de suspecter l'existence d'une dépendance entre deux sources. Par exemple, la présence d'interlocuteurs communs au sein de deux sources (un médecin biologiste participant à deux réseaux de surveillance par exemple) est susceptible d'entraîner une dépendance statistique positive entre ces deux sources, ce qui conduit à une augmentation de la probabilité de notification d'un événement par une source lorsque cet événement est rapporté par la deuxième source. À l'inverse, si les événements rapportés par un réseau sont systématiquement écartés par un autre réseau, on observera une dépendance statistique négative.

I.2.3.1.2) Evaluation de la dépendance en croisant les sources deux à deux

La méthode capture-recapture à deux sources ne permet pas d'évaluer statistiquement la dépendance entre les sources. Seule la méthode capture-recapture à plus de deux sources le permet, conformément à la technique développée par Wittes et Sidel (1968).

Pour plus de deux sources, Wittes (Wittes et Sidel, 1968 ; Wittes *et al.*, 1974) a proposé d'estimer N pour chaque couple de sources afin d'évaluer leurs degrés de dépendance respectifs. Si l'un d'eux donne une estimation très différente des autres couples, on peut suspecter l'existence d'une dépendance entre ces sources.

Une étude qualitative du fonctionnement des réseaux a par ailleurs permis d'identifier la nature des dépendances entre les sources.

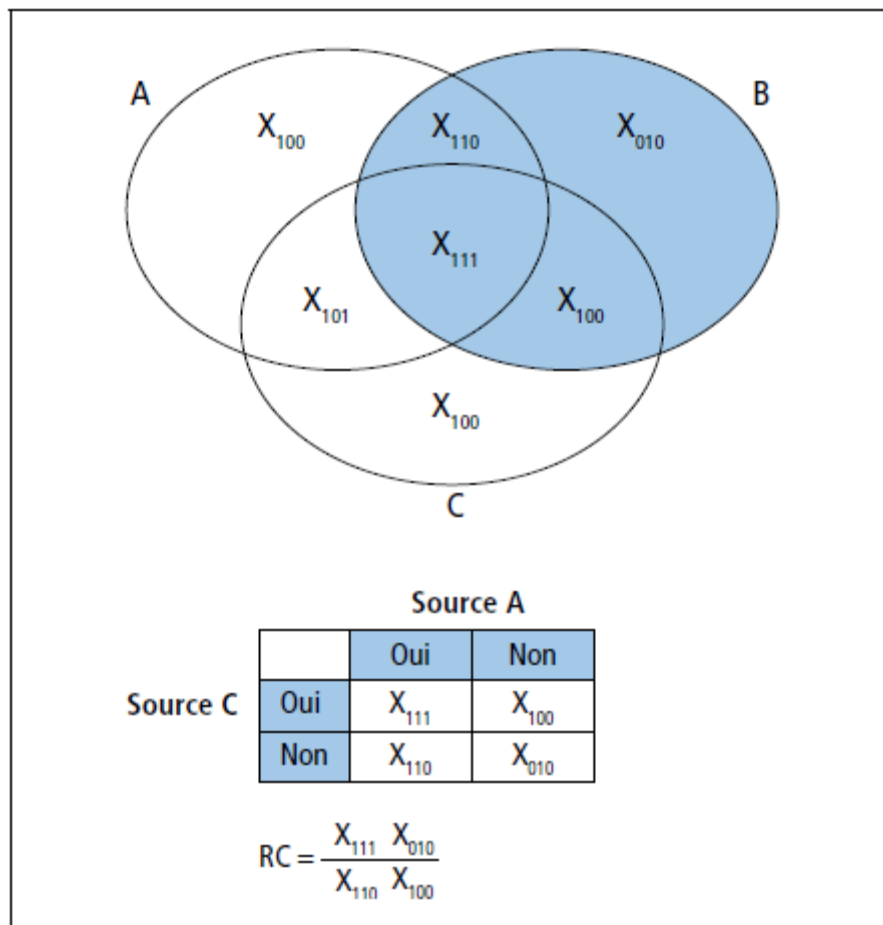
La dépendance entre deux sources reflète la relation existante entre ces deux sources. Cette relation peut être à l'origine d'une dépendance positive, en raison de communication entre les deux sources Ou à l'inverse d'une dépendance négative.

I.2.3.1.3) Tests d'indépendance des sources avec plus de deux sources

Pour plus de deux sources, l'indépendance entre deux sources peut également être testée avec un test du χ^2 appliqué sur un tableau de contingence 2×2 à l'intérieur d'une 3^{ème} source (figure 2). En outre, le calcul des rapports de cote (RC) permet d'indiquer le sens et la force des dépendances éventuelles. Si le RC est inférieur à 1, il existe une dépendance négative entre les sources, d'où une surestimation de N (lorsque N est estimé à l'aide d'un modèle qui suppose l'indépendance). Si le RC est supérieur à 1, il existe une dépendance positive entre les sources, d'où une sous-estimation de N .

La figure 2 représente la distribution des cas identifiés par les sources A, B et C. La dépendance entre les sources A et C peut être évaluée en calculant le RC à partir des cas identifiés par la source B. Les cas X_{111} ont été identifiés à la fois par la source A et C, les cas X_{110} et X_{100} ont été respectivement et uniquement identifiés par la source A et par la source C, les cas X_{010} n'ont été identifiés ni par A ni par C.

Figure 2 : Évaluation de la dépendance par estimation du rapport des cotes (RC)



On peut estimer le nombre total de cas en regroupant les sources dépendantes en une source unique. L'analyse est alors réalisée en considérant deux sources indépendantes, soient les deux sources fusionnées et la troisième source (Rice, 1992).

I.2.3.2) Estimation du nombre total d'événements à l'aide des modèles log-linéaires, avec plus de deux sources

I.2.3.2.1) Principe

Les modèles log-linéaires permettent de calculer des estimations prenant en compte les dépendances entre les sources (Cormack, 1968 ; Rice, 1992). Ces modèles permettent d'étudier les relations entre k variables qualitatives croisées dans un tableau de contingence. Ils estiment le logarithme népérien de la fréquence attendue (cas recensés par aucune des sources) en fonction des fréquences obtenues par chacune des sources mais également de leurs interactions (Rice, 1992).

I.2.3.2.2) Analyse globale

En absence de variable d'hétérogénéité, le tableau de contingence présente une cellule structurellement vide correspondant à l'absence d'identification de cas par les sources. Pour estimer les effectifs attendus, le modèle utilise toutes les cellules du tableau, sauf celle définie comme étant structurellement vide et pour laquelle on attend une estimation (tableau 2). Les interactions des sources entre elles deux à deux sont évaluées, mais il est impossible de prendre en compte l'interaction entre les trois sources simultanément (interaction d'ordre maximum), en raison de la cellule structurellement vide. (Bishop *et al*, 1975)

L'analyse globale consiste à ajuster un modèle log-linéaire aux sept données observées (en considérant la cellule vide comme une donnée manquante) ; huit modèles peuvent être ajustés aux données :

- le modèle supposant l'indépendance entre les trois sources :

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k$$

- trois modèles intégrant une interaction entre deux sources :

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{AB}^{ij}$$

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{AC}^{ik}$$

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{BC}^{jk}$$

- trois modèles intégrant deux interactions entre deux sources :

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{AB}^{ij} + u_{AC}^{ik}$$

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{BC}^{jk} + u_{AC}^{ik}$$

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{AC}^{ik} + u_{BC}^{jk}$$

- le modèle complet (ou saturé) intégrant toutes les interactions d'ordre 2 :

$$\ln m_{ijk} = u + u_A^i + u_B^j + u_C^k + u_{AB}^{ij} + u_{AC}^{ik} + u_{BC}^{jk}$$

Où

- m_{ijk} est le nombre de cas attendu pour la cellule ijk ($0 \leq i \leq 1, 0 \leq j \leq 1, 0 \leq k \leq 1$) sous le modèle considéré

- u_A, u_B et u_C sont les effets principaux correspondant à la présence dans chaque source (par exemple $u_A^1 = u_A$, et $u_A^0 = 0$)

- u_{AB}, u_{AC} et u_{BC} sont les termes d'interaction d'ordre 2 correspondant à la présence dans les deux sources indexées.

Le modèle complet est dit saturé car il comporte le même nombre de paramètres qu'il y a de données à ajuster. Ce modèle prédit parfaitement les observations. Tous les autres modèles sont emboîtés dans celui-ci (un modèle est emboîté dans un autre lorsqu'il est un cas particulier du second modèle plus général).

I.2.3.2.3) Adéquation du modèle aux données

L'adéquation (ou ajustement) d'un modèle M aux données peut être évaluée à l'aide de la statistique de la déviance G^2_M qui fournit une mesure de l'écart entre les données observées x_{ijk} et les données prédites m_{ijk} par le modèle ajusté :

$$G^2_M = 2 \sum_{\substack{0 \leq i \leq 1, \\ 0 \leq j \leq 1, \\ 0 \leq k \leq 1,}} x_{ijk} \ln(x_{ijk}/m_{ijk})$$

La déviance du modèle saturé est toujours nulle puisque les prédictions obtenues, après ajustement de ce modèle, sont égales aux observations. La déviance suit asymptotiquement une loi du Chi 2 à $n-p$ degrés de liberté (où n est le nombre de données observées dans le tableau de contingence et p le nombre de paramètres du modèle). L'hypothèse nulle d'un test d'adéquation est que le modèle présente une bonne adéquation. En pratique, on ne conservera pas un modèle pour lequel le test d'adéquation est significatif.

I.2.3.2.4) Sélection de modèle

En règle générale, un plus grand nombre de paramètres conduit à un meilleur ajustement aux données mais à une moins bonne précision des prédictions. Ainsi, les procédures de sélection

de modèle visent à trouver un compromis entre qualité d'ajustement et principe de parcimonie.

Dans les premiers temps de développement de la méthode capture-recapture, très peu de modèles étaient proposés et le choix du modèle le plus approprié était facilement identifié. Cependant, les travaux d'Otis (Otis *et al.*, 1978) et Cormack (1989) ont généré un grand nombre de modèles potentiels. Dans les études épidémiologiques en particulier, ce choix est nécessaire pour prendre en compte la dépendance entre les sources et l'hétérogénéité que l'on observe entre les événements. La sélection du modèle le plus approprié fait donc partie intégrante de l'estimation, et doit être consciencieusement réalisée.

➤ *Comparaison de modèles à l'aide de critères d'information*

Des critères ont été proposés pour le choix de modèle (Hook et Regal, 1997 ; Hook *et al.*, 1993). Ce sont des fonctions de la déviance G^2 et du nombre de degrés de liberté du modèle ($ddl = n - p$, où n est le nombre de cellules du tableau de contingence pour lesquelles on dispose d'observations et p le nombre de paramètres inclus dans le modèle), avec notamment le critère d'information d'Akaike (AIC) (Akaike, 1974).

$$AIC = G^2 - 2(ddl)$$

On privilégiera un modèle pour lequel la valeur associée est la plus basse.

➤ *Calcul de la taille de la population totale et de l'intervalle de confiance associé*

Une fois que l'ensemble des paramètres du modèle sélectionné ont été estimés, on peut remonter à la taille totale de la population en ajoutant l'estimation du nombre d'unités qui n'ont pas été détectées (m_{000}) au nombre d'unités détectées. En effet, selon l'approche log-linéaire, $\ln(m_{000}) = u$, donc $m_{000} = \exp(u)$. On peut en déduire N .

Il est possible de calculer l'intervalle de confiance associé à la taille de la population en considérant un critère de qualité d'ajustement (la déviance) (Regal et Hook, 1984 ; Cormack, 1992) ; cette méthode garantit l'estimation d'une borne inférieure de l'intervalle de confiance de la taille de la population totale toujours supérieure ou égale au nombre total de cas observés.

I.2.4) Historique de la méthode capture-recapture

La méthode capture-recapture fut initialement développée en écologie afin d'estimer la taille de populations sauvages (Cormack, 1968 ; Seber, 1982). Dans les études écologiques classiques, le but consistait à étudier les caractéristiques démographiques d'une population animale. Des animaux de cette population étaient alors capturés, marqués puis libérés. Cette opération était répétée plusieurs fois, et chaque animal était associé à un historique de capture, représenté par un vecteur de « zéros » et de « uns », traduisant le statut de l'animal à chaque occasion de capture. « Un » correspondait à une prise, et « zéro » à un échec de capture. Les fréquences des captures observables formaient l'ensemble des données à analyser. En écologie, cette méthode est généralement appelée la « méthode Petersen », en raison du travail de Petersen en 1894 sur le marquage de poisson, bien que la première utilisation de la méthode sur les populations de poissons fut le fruit de Dahl en 1917. La méthode fut également utilisée par Lincoln en 1930 pour estimer la taille d'une population de canards (Le Cren, 1965).

Cette méthode est maintenant utilisée dans une variété d'applications, y compris en épidémiologie (Abeni *et al*, 1994 ; Hook *et al*, 1995 ; International working group for disease monitoring, 1995b ; Gallay *et al*, 2002), dans le cadre d'études démographiques et de recensement humaines (Fienberg, 1992 ; Darroch *et al*, 1993) et le test de logiciels (Wohlin *et al*, 1995). Par conséquent, les unités capturées ne sont plus seulement les animaux. Par exemple, en santé publique, les unités sont les individus atteints d'une maladie donnée et les occasions de capture sont les listes de surveillance.

L'application de cette méthode à l'étude des problèmes épidémiologiques vint relativement tard, et put ainsi s'appuyer sur les progrès dans les autres domaines, notamment sur les progrès des méthodes statistiques.

Sekar et Deming (1949) utilisèrent la méthode capture-recapture pour estimer les taux de naissance et de décès en 1949. Cette étude peut être considérée comme la première application sérieuse de ladite méthode en santé humaine, et propose une discussion intéressante sur les problèmes pratiques associés à son utilisation. L'attention du lecteur est notamment portée sur le fait qu'il est peu probable d'observer une indépendance totale entre deux sources de recensement. L'effet de la dépendance entre les sources peut alors être réduit, selon l'article, par la subdivision de l'échantillon observé en petits groupes homogènes, constitués sur la base de la zone géographique, le sexe, ou les classes d'âges, puis en appliquant la méthode sur chacun de ses sous-groupes séparément, avant d'additionner les résultats pour obtenir un nombre estimé total. Un exemple est alors proposé avec des données d'une étude démographique datant de 1947, et le nombre total de naissance et de décès estimés est plus important en additionnant les résultats des sous-groupes qu'en menant l'analyse sur l'échantillon total traité en une seule fois. Ce résultat est interprété comme le témoin d'une dépendance positive existante entre les deux sources. Dans l'article, la méthode

est proposée pour compléter les données des registres de recensement nationaux, supposés incomplets.

On retrouve des études datant des années 1930 (Tracy, 1931), qui parlaient de « systèmes d'enregistrement doubles » ou d' « estimateurs à double système », qui portaient en réalité sur l'application de la méthode à deux sources aux données de recensement. En utilisant une démarche similaire, Shapiro (1949) appliqua la technique au registre des naissances aux Etats-Unis d'Amérique en utilisant les données de recensement.

La controverse qui entourait son application au recensement des Etats-Unis d'Amérique fut décrite par Hogan (1993). Il releva dans cet article deux critiques majeures de la méthode à deux sources :

- 1) la stratification des données en sous-groupes géographiques, utilisée pour diminuer l'effet de la dépendance entre les sources, pouvait induire des résultats non satisfaisants lorsque l'étude utilisait des divisions géographiques politiques qui ne correspondaient pas à la réalité de l'hétérogénéité de comportement de la population,
- 2) Les fausses déclaration de domiciliation étaient peu susceptibles d'être détectées et corrigées avant l'étude, et induisaient un biais dans l'estimation des résultats.

Suite à ces critiques, les autorités mirent en place de nouvelles subdivisions géographiques reflétant mieux les hétérogénéités de comportement dans la population, et les déclarations de domicile furent mieux documentées afin de réduire le nombre de fausses déclarations, comme l'explique l'auteur.

La méthode à deux sources peut, en principe, être appliquée à n'importe quelle situation où on retrouve deux listes incomplètes. C'est le cas en épidémiologie, où les listes peuvent être construites à partir d'une variété de sources, telles que les enregistrements hospitaliers, les dossiers médicaux ou les prescriptions médicales. Ces listes sont alors incomplètes et le problème est d'estimer les cas manquants sur ces deux listes. À l'inverse de l'application de la méthode capture-recapture au recensement développé assez tôt, de telles applications en épidémiologie furent mises en place relativement tard, avec Wittes et ses collaborateurs (Wittes et Sidel, 1968 ; Wittes *et al*, 1974) à la fin des années 1960.

L'adaptation des conditions d'applications de la méthode en épidémiologie supposait que l'étude :

- 1) soit menée avec des vrais cas,
- 2) l'identification de cas communs soit possible, ce qui impliquait un code unique pour chaque patient dans les deux sources ou bien des informations de qualité permettant l'identification précise et le recouplement des patients,

- 3) que chaque individu présente la même probabilité de figurer sur une liste donnée (ce qui n'est généralement pas le cas) et
- 4) que les listes soient indépendantes.

Des méthodes permettant de minimiser l'hétérogénéité de capture furent décrites plus tard. Malgré ces progrès permettant de respecter la condition 3, c'est la condition 4 qui posait le plus souvent problème. Par exemple, si des médecins référaient leur patients à certains hôpitaux, les listes constituées par la clientèle d'un médecin et celle d'un hôpital ne pouvaient pas être indépendantes. Cette question de dépendance fut discutée en détail par Sekar et Deming (1949) et Wolter (1986). Dans ce dernier article, une distinction est proposée entre les erreurs d'échantillonnages (fausses déclarations) et les erreurs associées au modèle d'analyse.

Parallèlement, pour les études écologiques sur les populations animales, la méthode à deux sources fut étendue à la méthode à K sources. Le premier développement de la méthode à K sources fut l'étude de Schnabel (1938) sur une population de poissons dans un lac. La théorie de ce modèle fut développée plus longuement par Chapman (1951). Cependant ce modèle posait toujours des problèmes pour son application, notamment en ce qui concerne la question d'hétérogénéité de capture. Afin de répondre à ces problèmes, une variété de modèles fut introduite dans les années 1970 (Otis *et al*, 1978 ; White *et al*, 1982). Ces modèles furent depuis reconsidérés, ce qui aboutit à une liste de huit modèles (Pollock et Otto, 1983). Dans cet article, les auteurs proposent une gamme de nouveaux estimateurs pour prendre en compte l'hétérogénéité de capture, et discute de l'intérêt de chacun selon les différents cas possibles. Ils soulèvent également les limites de la méthode, en précisant qu'aucun estimateur ne serait satisfaisant dans le cas extrême où les événements auraient une probabilité de capture très proche de zéro. Ainsi, des événements pour lesquels la probabilité de capture serait égale ou inférieure à 1 % seraient quasiment « invisibles » et induiraient systématiquement un biais négatif important.

La méthode capture-recapture à K sources fut également appliquée à des populations en prenant en compte les migrations, naissances et décès pendant la période d'étude (la population était alors considérée comme « ouverte ») (Pollock, 1991 ; Seber, 1992 ; Agresti 1994 ; Norris *et al*, 1996). Cependant, ces modèles dépendaient de l'hypothèse que les sources soient indépendantes. Etant donné que c'est rarement le cas en santé humaine ou animale, il est peu probable que ces modèles soient appliqués en épidémiologie.

Une autre méthode a été développée ultérieurement pour contourner ces conditions d'applications : il s'agit du modèle log-linéaire, développée par Fienberg (1972) pour les données de capture-recapture. En effet, les modèles log-linéaires permettent l'application de la méthode pour K sources, ainsi que l'application de la méthode aux populations ouvertes (Cormack, 1981).

I.2.5) Utilisation de la méthode capture-recapture en épidémiologie vétérinaire

En épidémiologie, la méthode fut appliquée afin d'estimer le nombre d'individus affectés par une maladie donnée et non détectés par les systèmes de surveillance. C'est en 1977 qu'elle fut utilisée pour la première fois en épidémiologie humaine (El Khorazaty *et al*, 1977), et ce n'est que beaucoup plus tard, que les premières applications en épidémiologie vétérinaire sont apparues (Del Rio Vilas *et al*, 2005). En santé humaine ou animale, les cas « capturés » par des systèmes de surveillance indépendants permettent d'estimer le nombre réel de cas dans une population. L'utilisation de cette méthode en épidémiologie est intéressante pour les études d'incidence (Laporte *et al*, 1992), de prévalence (Hooket *al*, 1980) et pour estimer l'exhaustivité d'un système de surveillance (Bernillon *et al*, 1997 ; Reintjes *et al*, 1999 ; Hubert et Desenclos, 1993 ; Gallay *et al*, 2000).

Une revue de l'utilisation de la méthode capture-recapture en épidémiologie animale est proposée ci-dessous.

Dans un article paru en 2005, la méthode fut appliquée aux données de trois sources de surveillance au Royaume-Uni pour la tremblante du mouton (notification légale des cas par les éleveurs et les vétérinaires, diagnostics d'abattoir, et animaux trouvés morts par les éleveurs) entre 2002 et 2003 pour estimer le nombre d'exploitations infectées au Royaume-Uni et évaluer la sensibilité des réseaux de surveillance nationaux (Del Rio *et al*, 2005). Cette étude a démontré une dépendance positive entre deux des sources : la notification légale des cas de tremblante par les professionnels de l'élevage et les animaux trouvés morts par les éleveurs, ce qui pouvait être attendu. Elle a également permis une meilleure compréhension des interactions au sein du réseau de surveillance national. Cependant, peu de données ont pu être analysées et le nombre de cas communs était très réduit, ce qui a conduit à un nombre estimé de foyers infectés de tremblante assez imprécis. Les résultats de cette étude devaient donc être interprétés avec prudence. Les auteurs ont recommandé la mise en place de plans de surveillance plus soutenus pour améliorer la qualité des données pour une possible analyse ultérieure.

Dans un deuxième article paru en 2008, la méthode fut appliquée dans le même but mais sur une période différente : estimer le nombre d'exploitations touchées par la tremblante du mouton au Royaume-Uni entre 2005 et 2006. Les sources utilisées comportaient le programme obligatoire de surveillance de la tremblante en plus des trois mêmes sources que précédemment (notification légale des cas par les éleveurs et les vétérinaires, diagnostics d'abattoir, et animaux trouvés morts par les éleveurs). Ainsi, le nombre de sources a été étendu par rapport à l'étude précédente, pour un nombre de données plus important ; toutes les présentations cliniques ou lésionnelles de la maladie ont alors été prises en compte. L'estimation n'a porté que sur les foyers infectés avec des signes cliniques (alors que l'étude précédente visait les foyers infectés avec ou sans signes cliniques), et a abouti à un résultat de 350 foyers environ. La stratification sur deux variables (taille des exploitations et pays

d'origine des animaux) ne mit en évidence aucune hétérogénéité (Del Rio *et al*, 2008). Cette deuxième étude peut être considérée comme plus précise que la première étude publiée en 2005.

Dans un article paru en 2010, la méthode fut appliquée aux données françaises de tremblante classique. Cet article avait pour objectif d'appliquer la méthode capture-recapture aux données françaises de surveillance de la tremblante ovine classique en 2006 et 2007 afin d'estimer, pour chaque année, le nombre d'élevages ovins qui, bien qu'infectés par l'agent de la tremblante, ne furent pas détectés par le dispositif de surveillance. L'accent fut mis principalement sur l'importance du choix des données destinées aux analyses. L'article concluait que, dans l'état actuel des connaissances et du fait des caractères rare et peu contagieux de la maladie, il s'avérait que ces méthodes ne semblaient pas encore entièrement adaptées à la tremblante (Vergne *et al*, 2010).

Dans un article paru en 2010, la méthode fut appliquée en Tanzanie pour estimer la prévalence et le taux de létalité due à la theilériose dans une région particulière (Dar Es Salaam), entre 2003 et 2005. Cet article avait pour objectif d'appliquer la méthode capture-recapture aux données issues des dossiers de ferme de cette région et des réponses à un questionnaire portant sur les mammites bovines (Kivaria et Noordhuizen, 2010). Les estimations obtenues par cette étude ont été plus élevées que celles obtenues par les études transversales traditionnelles menées dans la même zone d'étude. Ces résultats peuvent être considérés comme plus précis. On notera que la theilériose est une maladie très fréquente et contagieuse en Tanzanie, ce qui a permis une bonne application de la méthode capture-recapture, à l'inverse de l'étude sur la tremblante du mouton en France publiée en 2010.

Il ressort de cette revue bibliographique que le nombre d'utilisations de la méthode capture-recapture en épidémiologie animale reste très réduit. La méthode semble également fournir de moins bon résultats dans le cas des maladies rares et peu contagieuses que dans le cas des maladies fréquentes et fortement contagieuses.

I.3) Systèmes de surveillance vétérinaires mondiaux : WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i

Dans cette étude, la méthode capture recapture a été appliquée aux trois réseaux WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i, afin d'évaluer l'exhaustivité de leur surveillance pour les événements épidémiologiques exceptionnels se rapportant à une liste définie de maladies animales. Ces systèmes de surveillance visent tous trois à recenser les événements de santé animale au niveau mondial, mais présentent cependant des différences notables de fonctionnement.

I.3.1) WAHIS/WAHID

La nécessité de combattre les maladies animales au niveau mondial a conduit à la création de l'Office international des épizooties par l'Accord international signé le 25 janvier 1924. En mai 2003, l'Office est devenu l'Organisation Mondiale de la Santé Animale mais a gardé son acronyme historique OIE. C'est l'organisation intergouvernementale chargée d'améliorer la santé animale dans le monde.

Les normes établies par l'Organisation sont reconnues comme références mondiales par l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC). En 2011, l'OIE compte 178 pays membres, entretient des contacts permanents avec 45 autres organisations internationales et régionales et dispose de représentations régionales et sous-régionales sur tous les continents (OIE, 2011a).

L'une des missions de l'OIE est de garantir la transparence et d'améliorer la connaissance de la situation sanitaire mondiale, y compris des zoonoses. Parmi les obligations formelles des membres de l'OIE, figure la nécessité de soumettre des informations sur la situation relative aux maladies animales dans les meilleurs délais. Afin de remplir le mandat qui lui a été assigné à cet égard, l'OIE a créé et gère le Système mondial d'information sanitaire (WAHIS) qui est couplé à une base de données.

L'interface WAHID permet au grand public d'accéder à toutes les données contenues dans la base de données WAHIS dès leur validation par l'OIE (OIE, 2011c).

WAHIS est un système informatique accessible par Internet permettant d'intégrer en temps réel les données sur les maladies animales afin d'informer ensuite la communauté internationale. L'accès à ce site est réservé aux utilisateurs autorisés par l'OIE, notamment les délégués des membres de l'OIE et leurs représentants, lesquels, sous leur autorisation, notifient les informations sanitaires appropriées à l'OIE grâce au système WAHIS.

Le système comporte deux composantes (OIE, 2011d):

- un système d'alerte précoce destiné à informer la communauté internationale sur les événements épidémiologiques pertinents survenus chez les membres de l'OIE, au travers de « messages d'alerte » et
- un système de surveillance afin de suivre au fil du temps les maladies de la liste de l'OIE (présence ou absence).

I.3.1.1) Le système d'alerte précoce

Lorsqu'un événement épidémiologique important survient dans un Pays Membre, les autorités de ce pays doivent en informer l'OIE en envoyant une notification immédiate laquelle

comprend, entre autres, des informations sur la raison de cette notification, la maladie et la ou les espèces atteintes, la zone géographique en cause, les mesures de lutte appliquées et les examens de laboratoire réalisés ou en cours.

Afin d'améliorer la portée et l'efficacité du système d'alerte précoce de l'OIE, les événements épidémiologiques importants que les membres doivent notifier immédiatement au siège de l'OIE répondent aux critères suivants :

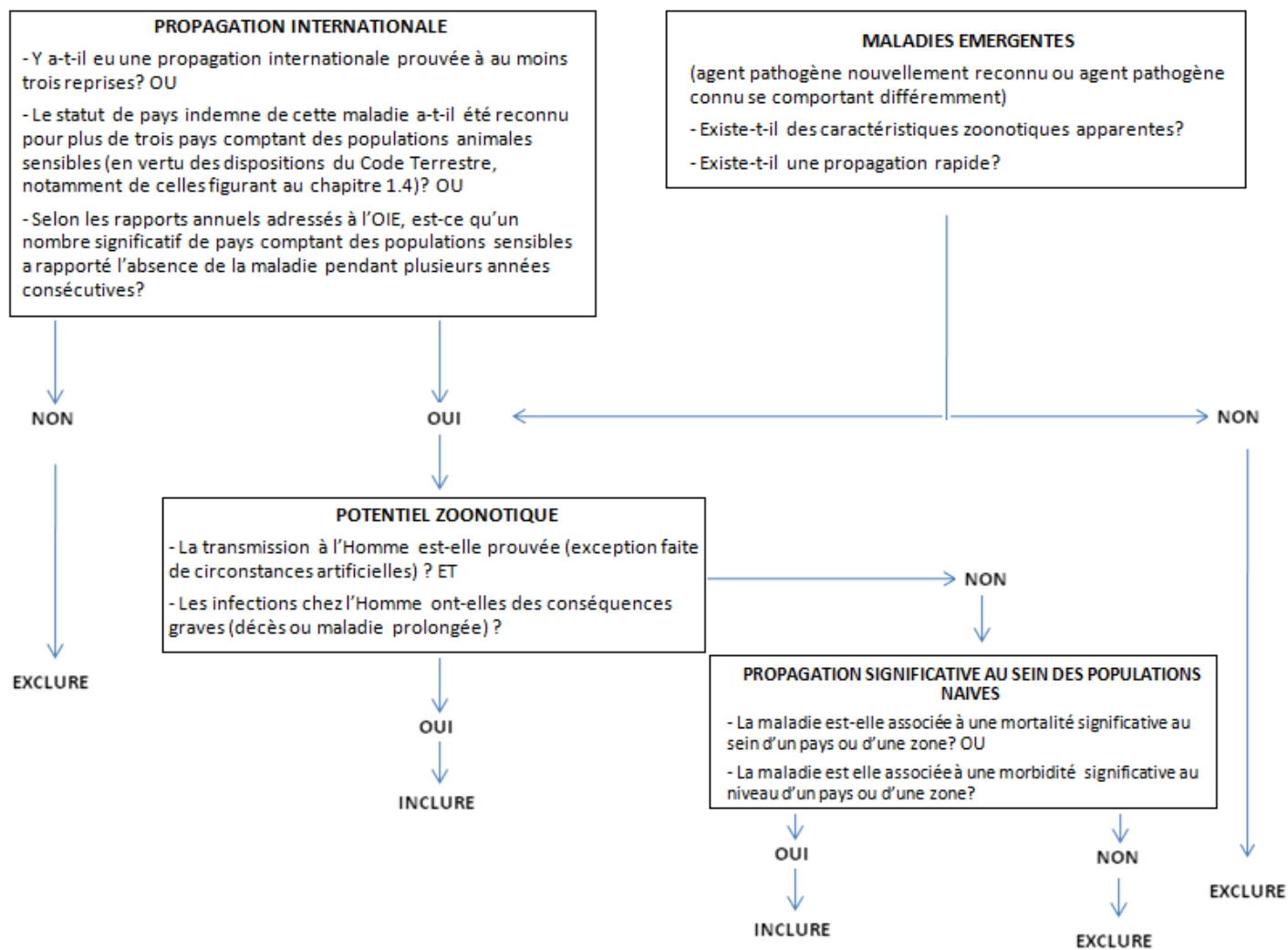
1. l'apparition pour la première fois d'une des maladies inscrites sur la liste de l'OIE dans un pays ou une zone géographique déterminée ;
2. la réapparition d'une des maladies inscrites sur la liste de l'OIE dans un pays ou une zone¹ faisant suite à la notification de l'extinction du foyer de ladite maladie ;
3. l'apparition pour la première fois de toute nouvelle souche d'un agent pathogène inscrit sur la liste de l'OIE dans un pays ou une zone ;
4. l'augmentation, soudaine et inattendue, de la distribution, de l'incidence, de la morbidité ou de la mortalité caractérisant une maladie de la liste de l'OIE prévalant dans un pays ou une zone ;
5. l'apparition de toute maladie émergente présentant un taux de morbidité ou de mortalité significatif, ou un potentiel zoonotique ;
6. toute constatation de modifications dans l'épidémiologie d'une des maladies de la liste de l'OIE (y compris dans le type de l'hôte, le pouvoir pathogène et la souche de l'agent pathogène), en particulier si cette constatation a des implications zoonotiques.

Quatre-vingt-dix maladies sont inscrites sur la liste de l'OIE. Les critères pour l'inscription d'une maladie sur la liste de l'OIE sont présentés dans la figure 3 (OIE, 2011b).

Annexe 1 : liste des maladies notifiables à l'OIE

¹ Le terme de zone désigne ici une partie clairement délimitée du territoire d'un pays, qui détient une sous-population animale caractérisée par un statut sanitaire distinct au regard d'une maladie particulière contre laquelle sont appliquées les mesures de surveillance, de contrôle et de sécurité biologique requises aux fins des échanges internationaux.

Figure 3 : Arbre de décision pour l'inclusion d'une maladie dans la liste de l'OIE (OIE, 2010)

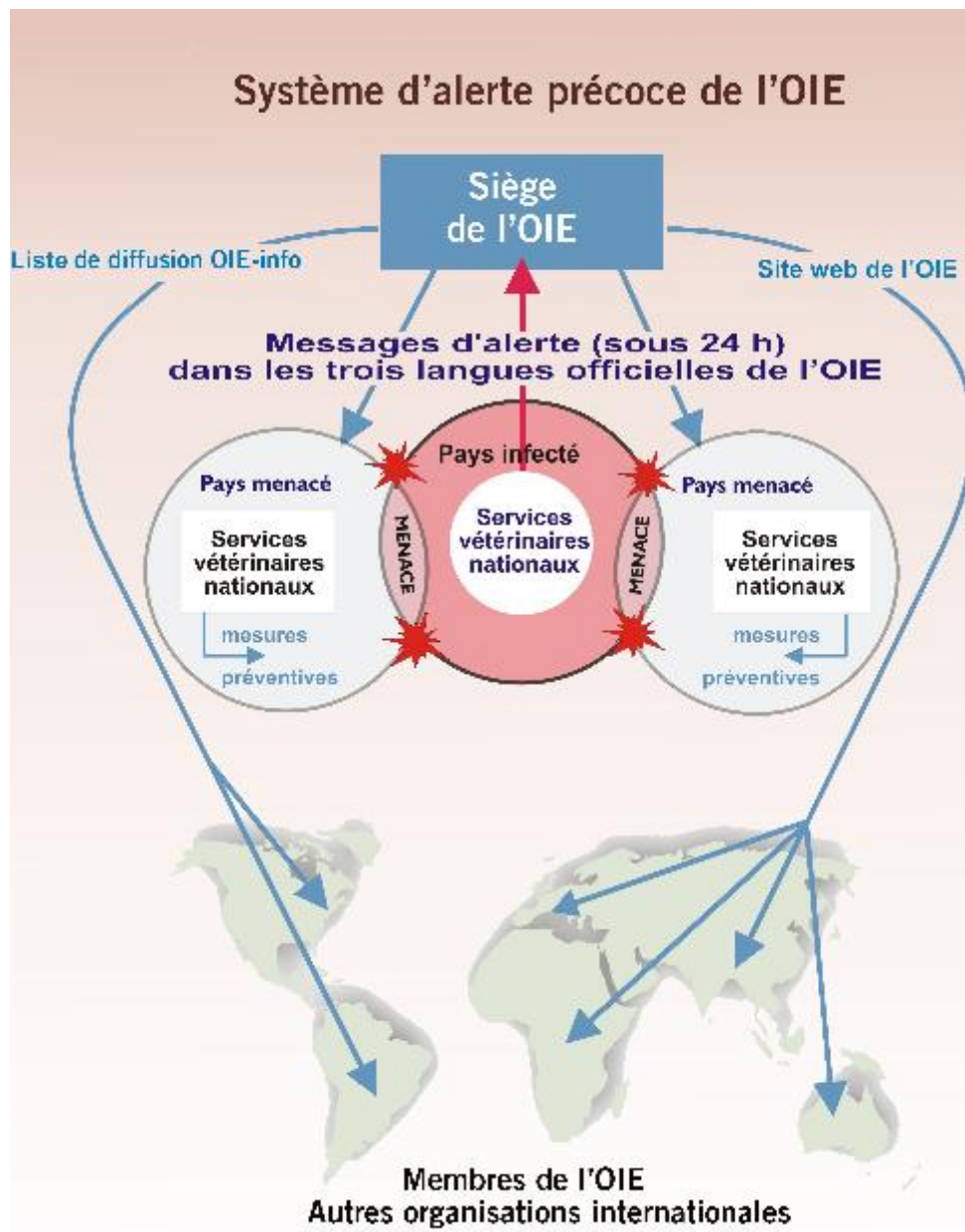


Après leur réception, vérification et validation par l'OIE, les notifications immédiates sont publiées sous la rubrique « Alertes » et distribuées à travers la liste de diffusion électronique pour faciliter et élargir la diffusion immédiate des informations sanitaires. Cette liste s'adresse non seulement aux délégués des Pays Membres, aux Centres de référence de l'OIE et aux Organisations internationales et régionales, mais aussi, après abonnement, à toute institution ou personne désirant recevoir directement ces informations.

Après avoir informé l'OIE d'un événement épidémiologique exceptionnel moyennant un rapport de notification immédiate, le Pays Membre doit envoyer des rapports de suivi de façon hebdomadaire, qui permettront de suivre l'évolution de cet événement dans le temps. Un rapport final doit être dans tous les cas soumis par le pays concerné pour informer sur la résolution de l'évènement ou sur son passage à un état endémique, auquel cas, le pays continuera de donner des informations dans ses rapports semestriels, s'il s'agit d'une maladie de la liste de l'OIE.

Le fonctionnement de la procédure d'alerte précoce de l'OIE est synthétisé par la figure 4.

Figure 4 : Procédure d'alerte précoce de l'OIE (OIE, 2011d)



I.3.1.2) Le système de surveillance

Les **Rapports semestriels** renferment des informations concernant la présence et l'absence des maladies de la liste de l'OIE dans le pays ainsi que les mesures de prévention et de lutte appliquées. En 2009, une nouvelle fonctionnalité a été ajoutée permettant de distinguer, si nécessaire, les espèces domestiques des espèces sauvages, en utilisant des codes de fréquence différents, afin d'éviter d'imposer des barrières commerciales injustifiées à des pays notifiant des maladies uniquement chez des animaux sauvages. En ce qui concerne les maladies

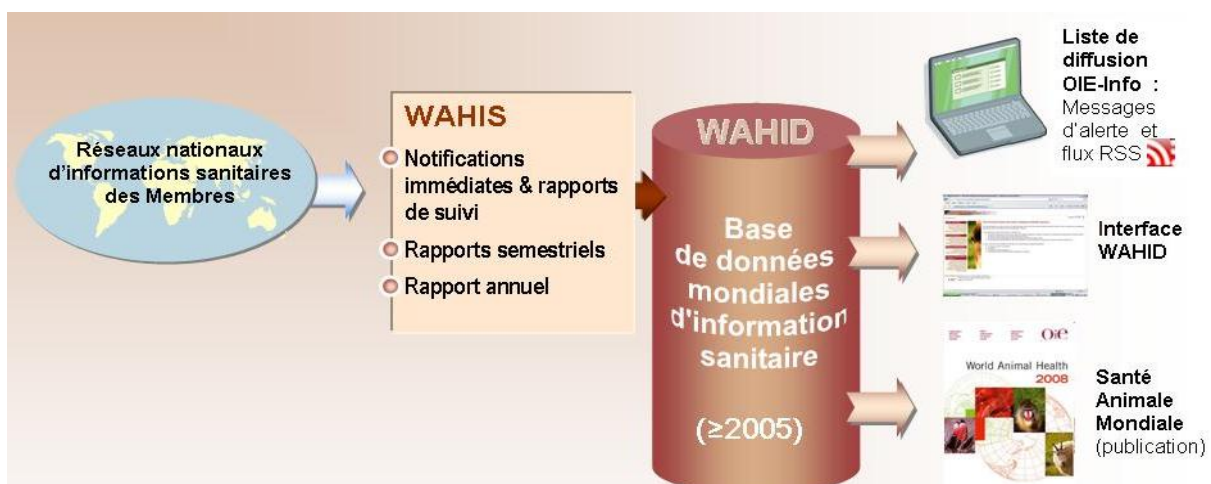
signalées comme présentes dans un pays au cours d'une période de six mois déterminée, le pays concerné doit fournir des données quantitatives relatives au nombre de foyers, d'animaux sensibles, de cas, de morts, d'animaux détruits et d'animaux vaccinés. L'OIE recommande aux pays, pour les maladies qui sont présentes et considérées comme notifiables au sein de ces pays, de fournir des données quantitatives répertoriées par mois et par division géographique administrative.

Pour la production des **Rapports annuels**, les deux rapports semestriels d'une année sont agrégés pour la partie concernant les maladies de la liste de l'OIE. En outre, et en collaboration avec l'OMS et la FAO, les Pays Membres sont invités à le compléter une fois par an par l'envoi d'informations portant sur des maladies ne faisant pas partie de la liste de l'OIE, sur l'impact des zoonoses sur l'homme, sur les populations animales, sur les personnels des services vétérinaires, sur les laboratoires de référence nationaux et les épreuves de diagnostic réalisées et, le cas échéant sur les fabricants de vaccins et sur la production de vaccins.

En complément de ce dispositif de déclaration en ligne du Système mondial d'information sanitaire (WAHID), les données et informations fournies par les Membres sont accessibles à partir de l'interface web WAHID et accessible au grand public à partir du site web de l'OIE (OIE, 2011d)

Le fonctionnement du Système mondial d'information sanitaire est synthétisé par la figure 5.

Figure 5 : Fonctionnement du Système mondial d'information sanitaire (OIE, 2011d)



I.3.2) EMPRES-i

EMPRES-i est un système de surveillance des maladies animales, qui est géré par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

La FAO est une organisation intergouvernementale qui compte aujourd'hui 191 Etats Membres. Elle est née de la volonté de quarante-quatre chefs de gouvernements, réunis à Hot Springs en 1943, en Virginie (Etats-Unis d'Amérique), pour s'engager à fonder une organisation permanente consacrée à l'alimentation et à l'agriculture. Le mandat de la FAO consiste à améliorer les niveaux de nutrition, la productivité agricole et la qualité de vie des populations rurales et contribuer à l'essor de l'économie mondiale (FAOa, 2011).

Le Système de prévention et de réponse rapide contre les ravageurs et les maladies transfrontalières des animaux et des plantes (EMPRES) a été mis en place par le Directeur général de la FAO en 1994. La Division AGA est chargée de la composante « maladies animales » d'EMPRES, qui fournit des informations, des formations et une aide d'urgence aux pays afin de prévenir, confiner et maîtriser les maladies animales les plus graves dans le monde tout en surveillant l'apparition de nouveaux agents pathogènes (FAO, 2011d).

La stratégie EMPRES-i consiste à prévenir et enrayer les maladies à leur source. La prévention est au centre de l'action EMPRES-i: alerte rapide, détection précoce, réaction rapide, coordination et communication.

Le Cadre mondial pour la maîtrise progressive des maladies animales transfrontalières est une initiative d'EMPRES-iet de l'OIE, qui a pour objectif d'établir un système mondial d'alerte rapide pour les maladies animales transfrontalières et les zoonoses majeures, complété, en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS), par des unités régionales d'appui réparties un peu partout dans le monde et par un mécanisme destiné à apporter une assistance technique d'urgence et à concourir à l'élaboration et à la gestion de projets (FAO, 2011b).

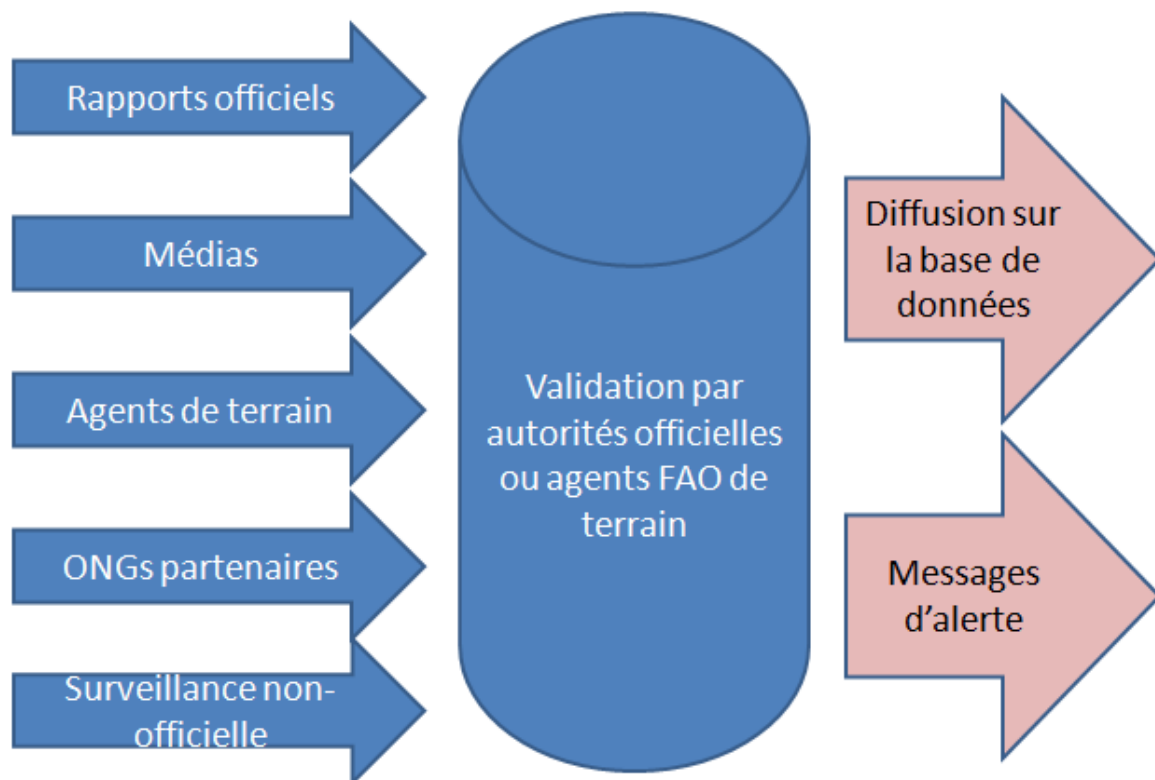
Le Système mondial d'information sur les maladies animales (EMPRES-i) est une application web qui a été conçue pour appuyer les services vétérinaires en facilitant l'accès à l'information sanitaire sur les maladies de distribution régionale et mondiale. La rapidité et la fiabilité de ces informations vise à améliorer le contrôle et l'éradication des maladies animales transfrontalières.

EMPRES-i vise à améliorer la transparence sur la distribution des maladies animales dans le monde, par l'étude de différentes sources de notifications : à l'instar de l'OIE, les rapports officiels nationaux sont utilisés comme sources, mais également les sources informelles telles que les rapports des organisations régionales, des agents de la FAO sur le terrain, des

Organisations Non Gouvernementales partenaires, des medias, et des systèmes de surveillance non-officiels.

Avant qu'EMPRES-i ne diffuse l'information, celle-ci doit être confirmée soit par les autorités officielles, soit par les agents de la FAO sur le terrain. L'information validée est diffusée par des messages d'alerte et introduite dans la base de données d'EMPRES-i. Le fonctionnement d'EMPRES-i est présenté sur la figure 6.

Figure 6 : Fonctionnement d'EMPRES-I



La plateforme EMPRES-i a été créée à l'initiative d'EMPRES-i pour répondre au besoin d'information en santé animale dans le monde, pour une liste de maladies prédéfinies. Le grand public peut accéder, entre autres, à une base de données des événements de santé animale dans le monde (FAO, 2011b).

Soixante-quinze maladies font partie de la liste des maladies surveillées par EMPRES-i. Le réseau compte également une rubrique de surveillance pour les maladies non diagnostiquées (FAO, 2011c). Les maladies sont inscrites sur la liste, en fonction de leur importance, mais sans critère de sélection explicite (comme l'arbre de décision de l'OIE par exemple).

Annexe 2 : liste des maladies animales surveillées par EMPRES-i

Soixante-trois maladies parmi les 75 surveillées par EMPRES-i sont également surveillées par l'OIE. Elles concernent uniquement les animaux terrestres. Les maladies les plus rapportées au niveau mondial sont communes aux deux systèmes de surveillance.

I.3.3) ProMed-mail

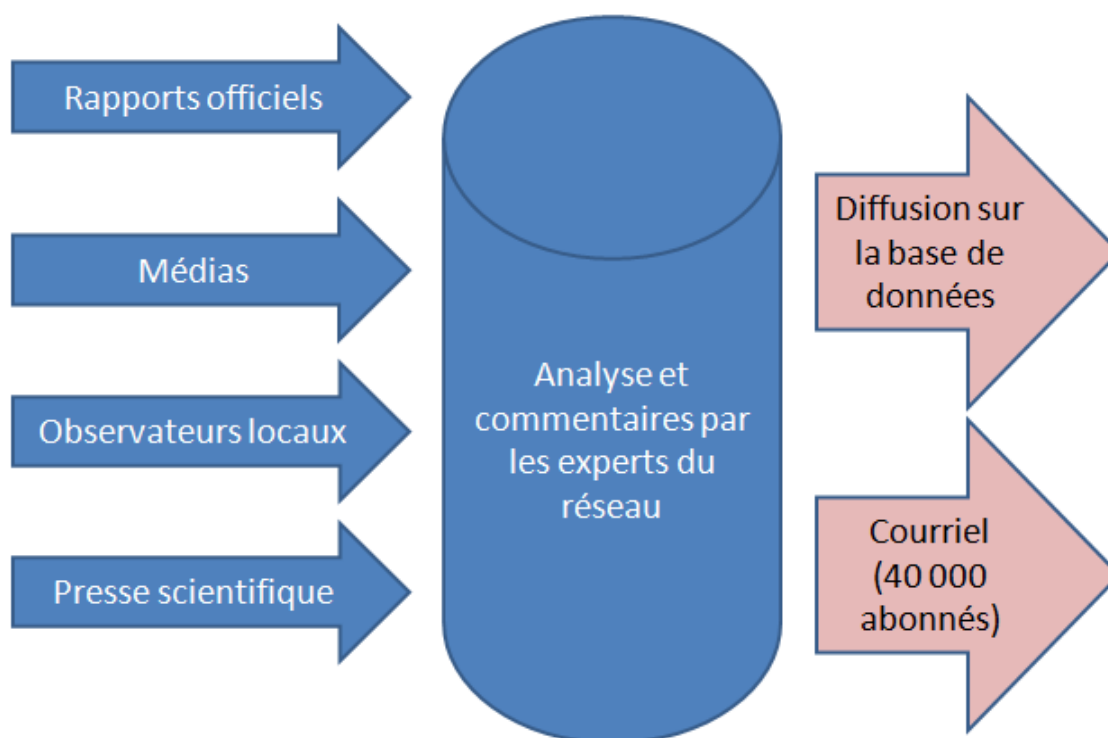
Le Programme de Surveillance des maladies émergentes (ProMED-mail) a été créé en 1994 avec le soutien de la Fédération des scientifiques américains et SatelLife. Depuis octobre 1999, le réseau est affilié à la Société Internationale pour les Maladies Infectieuses, une organisation américaine à but non lucratif, comptant 20 000 membres dans le monde.

ProMED-mail est un système de notification électronique dédié à la diffusion mondiale de l'information concernant les événements de maladies infectieuses et les expositions aux toxines, qui affectent la santé humaine, animale, ou bien celle des plantes cultivées pour l'alimentation. La nature électronique du réseau permet une mise à jour rapide des notifications. Il permet notamment d'alerter précocement les lecteurs des nouveaux cas de maladies émergentes ou ré-émergentes, pour permettre la mise en place rapide des mesures et précautions de santé publiques, à différents niveaux, pour enrayer la propagation des épidémies ou épizooties.

ProMED-mail diffuse l'information fournie par toutes les sources, officielles et non-officielles, sans critère de sélection ni contrainte politique. Ces sources d'information comprennent, entre autres, les médias, les rapports officiels, la presse scientifique et les agents de terrains et observateurs locaux. Une équipe d'experts en santé humaine, animale et végétale analysent et commentent l'information. Les notifications commentées sont alors diffusées par courriel aux abonnés du réseau, et sont également affichées immédiatement sur le site web de ProMED-mail. Ce réseau compte actuellement plus de 40 000 abonnés dans plus de 185 pays.

Le fonctionnement de ProMED-mail est présenté par la figure 7.

Figure 7 : Fonctionnement de ProMED-mail



Un objectif primordial de ProMED-mail consiste à promouvoir la communication au sein de la communauté scientifique internationale, comprenant les médecins, épidémiologistes, vétérinaires, et autres professionnels de santé. Le réseau encourage les abonnées à participer aux discussions, à réagir aux notifications et à fournir des renseignements complémentaires, si possible(ProMED-mail, 2011).

13.4) Comparaison des trois systèmes de surveillance

Les trois systèmes diffèrent d'abord par le nombre de maladies concernées par la surveillance. L'OIE et EMPRES-i ont établi une liste précise des maladies surveillées, à l'inverse de ProMed-mail qui diffuse des informations pour un grand nombre de maladies sans liste établie.

Les trois systèmes diffèrent également par leur nature plus ou moins formelle. L'OIE ne diffuse que l'information officiellement validée par les autorités nationales, et sans cette approbation, les informations ne peuvent être publiées. A l'inverse, EMPRES-i et ProMed-mail diffusent également l'information non officielle, provenant des média, ou des observateurs locaux.

Enfin, les trois systèmes diffèrent par la pratique de la vérification de l'information. L'OIE reste très vigilante sur la confirmation des informations par les services vétérinaires nationaux ; EMPRES-i demande également confirmation des informations par les autorités

nationales ou aux agents de la FAO présents sur place. En revanche, ProMed-mail ne pratique pas vraiment de vérification de l'information, celle-ci est simplement commentée par les experts modérateurs du réseau (tableau 3).

En résumé, l'OIE est un réseau de surveillance uniquement basé sur les informations officielles, ProMed-mail est un réseau diffusant toute l'information sans distinction ni vérification, et EMPRES-i diffuse l'information officielle et l'information validée par les agents FAO de terrains.

Tableau 3: Tableau récapitulatif du fonctionnement des trois réseaux OIE, EMPRES-i et ProMed-mail

	MALADIES SURVEILLEES	SOURCES UTILISEES			VERIFICATION DES INFORMATIONS	
		sources officielles	sources non-officielles	agents de terrains	oui	non
OIE	90 maladies listées et sélectionnées selon des critères précis	X			confirmation par les autorités nationales	
EMPRES-i	75 maladies listées mais sans utilisation de critères précis pour la sélection	X	X	X	confirmation par les autorités nationales ou confirmation par les agents FAO de terrains	
ProMed-mail	pas de liste de maladies établie	X	X			non, commentaires par les experts modérateurs du système

DEUXIEME PARTIE

Cette étude a été conduite pour estimer le nombre réel d'« événements épidémiologiques exceptionnels » relatifs aux maladies animales rapportées à la fois par WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i, dans les pays qui soumettent des rapports à l'OIE, entre 2005 et 2010 et à estimer l'exhaustivité de la surveillance des trois réseaux pour ces événements, par la méthode capture-recapture à trois sources.

Un autre objectif de cette étude était de clarifier la nature des échanges d'informations entre ProMed-mail, WAHID et EMPRES-i pour les « événements exceptionnels », et d'identifier les facteurs influençant l'exhaustivité des trois systèmes de surveillance pour ces « événements exceptionnels ».

II.1) Matériel et méthodes

Le travail consistait en une étude rétrospective, utilisant la méthode capture-recapture pour les événements exceptionnels relatifs aux maladies listées à la fois par l'OIE, ProMed-mail et EMPRES-i pour la surveillance, survenus entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2010, à partir de trois sources distinctes, dans les pays rapportant à l'OIE.

Annexe 1 : liste des maladies notifiables à l'OIE

Annexe 2 : liste des maladies animales surveillées par EMPRES-i

Annexe 3 : maladies communes à la liste de surveillance de l'OIE et d'EMPRES-i

II.1.1) Choix des sources

Un aspect essentiel de l'étude de capture-recapture consistait en la sélection des sources dont les données seraient extraites. Avant de commencer l'étude, une étude des sources comparables à WAHID a été menée, par la discussion avec des professionnels de santé animale et par des recherches bibliographiques.

Les sources envisagées ont été ProMed-mail et EMPRES-i, pour leur qualité de réseaux de surveillance épidémiologique mondiaux, qui présentaient un certain nombre de maladies surveillées en commun avec WAHID. Il aurait également été possible de créer une source à partir des différents réseaux nationaux et/ou régionaux et les données bibliographiques.

Tous les événements sur lesquels l'étude se portait pouvaient être notifiés par chacune de ces sources, sans pour autant que ces sources soient complémentaires ni mutuellement exclusives. Toutes ces sources présentaient la même couverture géographique et période de temps.

Le choix s'est finalement porté sur WAHID, EMPRES-i et ProMed-mail, qui étaient des sources facile d'accès et complètes, à l'inverse d'une possible mise en commun des données issues des réseaux nationaux/régionaux et des données de littérature, qu'il aurait fallu créer de toute pièce.

II.1.2) Définition d'un "événement exceptionnel"

La première étape pour l'application de la méthode capture-recapture a été la définition de « l'événement exceptionnel », qui devait être appliquée à toutes les sources incluses dans l'analyse et qui ne pouvait pas être modifiée pendant l'étude. Les paramètres géographiques, temporels et la définition de la population devaient également être soigneusement définis. Cette définition s'est basée sur celle fournie dans le Code Terrestre de l'OIE(OIE, 2010), à laquelle quelques modifications ont été apportées. Pour l'analyse, un « événement exceptionnel » a été défini comme :

- un événement survenu pour une maladie de la liste des maladies rapportées à la fois par l'OIE, EMPRES-i et ProMed-mail (Annexe 3)
- une première occurrence, une ré-occurrence ou un changement de sérotype pour une telle maladie.

Un événement exceptionnel a été défini selon 4 variables : pays, maladies, mois et année de survenue de l'événement. Seule la date du premier foyer a été enregistrée pour chacun des événements épidémiologiques.

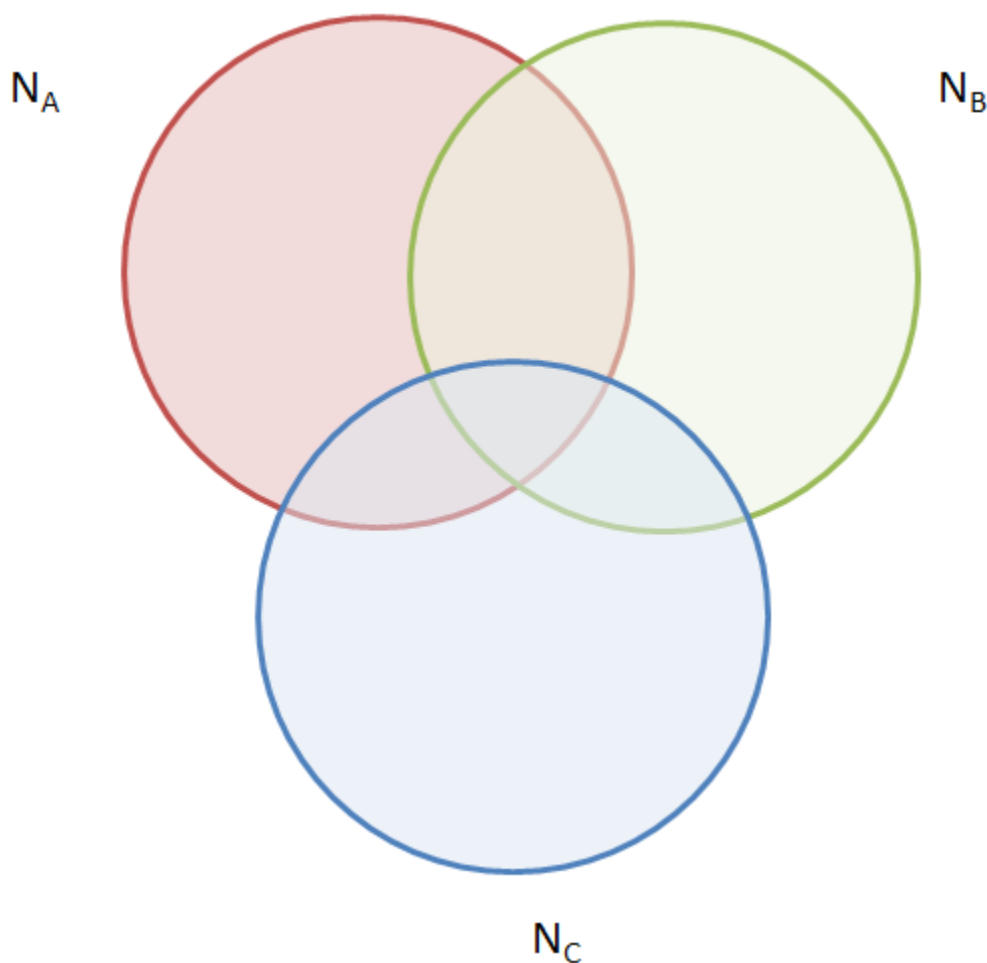
La définition de l'OIE (OIE, 2010) pour un « événement exceptionnel » incluait également « une augmentation soudaine et inattendue de la morbidité ou de la morbidité provoquée par une maladie listée par l'OIE » et « un changement d'hôte ». Ces derniers points n'ont pas été inclus dans la définition d' « événement exceptionnel » pour cette analyse, car l'estimation de ces paramètres était difficile. Treize événements notifiés par WAHID pour ces raisons ont été supprimés de la base de données pour cette étude.

ProMed-mail et EMPRES-i n'utilisaient pas de définition spécifique pour les « événements exceptionnels ». Ces réseaux diffusaient les événements sans critères précis. Un tri a donc été nécessaire pour identifier les événements correspondant à la définition de cette étude. Les rapports ProMed-mail et EMPRES-i ont été croisés avec les rapports semestriels de l'OIE afin de déterminer le statut (endémique ou indemne) du pays concernant la maladie et le sérotype. Les événements également reportés dans les messages d'alerte de WAHID ou rapportés pour un pays notifié indemne par l'OIE, ou bien encore reportés pour un sérotype différent de celui présent dans le pays, ont été enregistrés dans les bases de données d'événements exceptionnels rapportés par ProMed-mail ou EMPRES-i.

II.1.3) Sources

Pour notre étude, la population d'étude de taille inconnue N était constituée de tous les événements exceptionnels pour les maladies surveillées par les trois systèmes WAHID, EMPRES-i et ProMed-mail, survenus entre 2005 et 2010, dans les pays envoyant des rapports à l'OIE. N_A représentait les événements rapportés par WAHID, N_B les événements rapportés par ProMed-mail et N_C les événements rapportés par EMPRES-i (figure 8).

Figure 8: Répartition des événements notifiés par l'OIE, EMPRES-i et ProMed-mail



II.1.4) Collecte des données et harmonisation des bases de données

Les données de la surveillance OIE étaient disponibles sur le site internet de WAHID (<http://web.oie.int/wahis/public.php?page=home>). Les données de la surveillance ProMed-

mail étaient récupérables sur le site internet de ProMed-mail (<http://www.promedmail.org/pls/apex/f?p=2400:1000>). Les données de la surveillance EMPRES-ipouvaient être consultées sur le site internet d'EMPRES-i (<http://empres-i.fao.org/empres-i/home>).

Les variables prises en compte pour la création de la base de données étaient les suivantes : « maladie », « pays », « mois » et « année de survenue », « région » (Europe, Asie, Amériques, Afrique ou Moyen-Orient, selon la division de l'OIE, annexe 4), « caractère zoonotique ou non-zoonotique » de la maladie, et « niveau de développement du pays » (développé ou en développement, selon la division des Nations Unies, annexe 5).

Pour la base de données de l'OIE, la source originale de l'information a été spécifiée lorsqu'il s'agissait de ProMed-mail. Pour celle de ProMed-mail, la source originale de l'information a été spécifiée lorsqu'il s'agissait de l'OIE. La base de données a été créée sur Access 2010©.

II.1.5) Identification des doublons et des événements communs

Pour la recherche des doublons au sein d'une même source, la requête Access « trouver les doublons » a été utilisée. La recherche s'est appuyée sur les variables « pays », « maladie », « mois » et « année de survenue ». Ces doublons ont ensuite été retirés de la base de données.

Pour l'identification des événements communs entre les deux sources, une requête Access « sélection » a été utilisée. La recherche s'est appuyée sur les mêmes variables. Une vérification manuelle a ensuite été menée, afin de confirmer précisément tous les cas communs.

Les données ont ensuite été présentées sous un format compatible avec le logiciel d'analyse. Dans ce cas, pour chaque individu, l'historique de capture a été exprimé sous forme d'un enchaînement de 3 chiffres, correspondant à des 1 et des 0, correspondant respectivement à une capture et à une non-capture de l'événement par chacune des trois sources. L'ordre des sources a été défini arbitrairement et a été conservé pour tous les événements. Cet ordre n'a pas eu d'impact sur les résultats.

II.1.6) Etude des caractéristiques des événements déclarés, par source

La distribution des événements épidémiologiques exceptionnels a été comparée entre les trois sources, selon les années, les régions du monde (annexe 4), les types de maladies

(zoonotiques ou non-zoonotiques, annexe 3) et le niveau de développement des pays de survenue (annexe 5).

Des tests de Chi 2 de Pearson ont été utilisés pour comparer les différents pourcentages d'événements dans les différentes strates, entre les trois réseaux, avec un seuil de significativité fixé à 5%.

II.1.7) Etude de la dépendance entre les sources

Une étude qualitative a d'abord été menée pour essayer de comprendre les liens entre les trois sources, et les sens des flux d'information.

Ensuite, une étude quantitative a été menée : parmi les événements exceptionnels disséminés par EMPRES-i, ceux qui étaient reportés par WAHID d'une part, et ProMed-mail d'autre part, ont été identifiés. Un odds ratio a ensuite été calculé pour évaluer l'impact de WAHID sur les notifications de ProMed-mail et l'impact de ProMed-mail sur les notifications de WAHID.

Le même processus a ensuite été appliqué pour les événements rapportés par EMPRES-i et WAHID parmi ceux rapportés par ProMed-mail, puis pour les événements rapportés par EMPRES-i et ProMed-mail parmi ceux rapportés par WAHID.

II.1.8) Stratification des taux d'exhaustivité selon les variables d'hétérogénéité

L'effet de l'hétérogénéité d'un facteur qui peut biaiser les résultats peut être réduit par la stratification de la population par ce facteur. On estime alors N pour chaque strate, puis on additionne les estimations pour obtenir une estimation de la taille de la population totale. La méthode a été développée par Doscher et Woodward (1983), puis discutée par d'autres auteurs (Seber, 1982 ; Regal et Hook, 1984).

Plusieurs variables potentiellement sources d'hétérogénéité dans les résultats ont été proposées :

- **L'année de survenue de l'événement**, avec l'hypothèse que le rapport des événements soit meilleur avec les années, de par les sollicitations des trois systèmes,

- **Le caractère zoonotique de certaines maladies**, avec l'hypothèse que les rapporteurs soient plus concernés par la surveillance des maladies zoonotiques que non-zoonotiques,
- **La région de survenue de l'événement**, avec l'hypothèse que la surveillance des trois réseaux diffère selon les différentes régions du monde (annexe 4) et
- **Le niveau de développement du pays de survenue de l'événement**, avec l'hypothèse que la surveillance soit meilleure dans les pays développés que dans les pays en développement (annexe 5).

L'exhaustivité des trois réseaux a été stratifiée selon ces variables, en estimant le nombre total d'événements pour chaque strate afin d'identifier les hétérogénéités qu'elles pourraient avoir générées.

II.1.9) Outils d'analyse statistiques

La recherche des cas communs, l'estimation du nombre total de cas avec les sources croisées deux à deux et les tests d'indépendance entre deux sources ont été réalisés avec les logiciels MS Excel® et Access. Epi-info a été utilisé pour le calcul des odds-ratio.

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R version 2.13.2, en utilisant le package Rcapture développé spécifiquement pour l'application de la méthode capture-recapture.

II.2) Résultats

II.2.1) Collecte des données et événements retenus pour l'analyse

Après élimination des doublons au sein de chacune des deux bases de données, nous avons compté 770 événements exceptionnels rapportés par WAHID, 477 événements exceptionnels rapportés par ProMed-mail et 433 événements exceptionnels rapportés par EMPRES-i pour les maladies rapportés à la fois par les trois systèmes de surveillance, entre 2005 et 2010, dans les pays rapportant à l'OIE.

II.2.2) Caractéristiques des événements déclarés, par source

II.2.2.1) Rapport des événements exceptionnels par année

La distribution des événements survenus selon les années (tableau 4) ne différait pas significativement entre WAHID et ProMed-mail. Seul EMPRES-i présente une distribution différente, avec une proportion d'événements rapportés en 2005 faible par rapport aux autres sources ($p < 0,01$), mais élevée par rapport aux autres sources pour 2010 ($p < 0,01$).

Tableau 4 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon l'année de survenue

Années	Combinaison des 3 sources		WAHID		EMPRES-i		ProMed-mail	
	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%
2010	145	18	137	18	139	32	91	19
2009	135	17	129	17	86	20	77	16
2008	139	17	134	17	53	12	67	14
2007	150	19	147	19	60	14	100	21
2006	153	19	146	19	78	18	86	18
2005	83	10	77	10	17	4	56	12
Total	805	100	770	100	433	100	477	100

II.2.2.2) Rapport des événements exceptionnels par région

La distribution des événements survenus dans les différentes régions spécifiées (tableau 5) différait significativement entre EMPRES-i et l'ensemble des trois sources. Les taux de distribution des événements étaient significativement plus élevés pour EMPRES-i que pour les autres sources en Asie ($p < 0,01$) et en Afrique ($p < 0,01$). En revanche, les taux de distribution des événements étaient significativement plus faibles que pour les autres sources en Europe ($p < 0,01$), et en Amériques ($p = 0,03$). Les taux de distributions étaient proches entre les trois réseaux pour le Moyen-Orient.

Tableau 5 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon la région mondiale

Régions	Combinaison des 3 sources		WAHID		EMPRES-i		ProMed-mail	
	effectif	%	effectif	%	Effectif	%	effectif	%
Asie	177	22	175	23	130	30	131	27
Afrique	117	15	100	13	85	20	58	12
Europe	327	41	326	42	135	31	200	42
Moyen-Orient	66	8	54	7	39	9	31	7
Amériques	119	15	115	15	44	10	57	12
Total	805	100	770	100	433	100	477	100

II.2.2.3) Rapport des événements exceptionnels par type de maladie

La distribution des événements concernant des maladies zoonotiques (tableau 6) différait significativement entre EMPRES-i et l'ensemble des événements notifiés ($p=0,03$). La proportion des événements zoonotiques rapportés par EMPRES-i était supérieure à celle de l'ensemble des événements zoonotiques rapportés par les autres sources.

Tableau 6 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon le caractère zoonotique des maladies

Zoonose	Combinaison des 3 sources		WAHID		EMPRES-i		ProMed-mail	
	effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	effectif	%
oui	370	46	344	45	228	53	221	46
non	435	54	426	55	205	47	256	54
Total	805	100	770	100	433	100	477	100

II.2.2.4) Rapport des événements exceptionnels par niveau de développement du pays de survenue

La distribution des événements survenus dans les pays développés (tableau 7) différait significativement entre EMPRES-i et l'ensemble des événements notifiés ($p<0,01$). La proportion des événements survenus dans les pays développés rapportés par EMPRES-i était inférieure à celle de l'ensemble des événements survenus dans les pays développés rapportés par les autres sources.

Annexe 5 : distribution des pays selon leur niveau de développement (liste de l'ONU)

Tableau 7 : Distribution des événements exceptionnels notifiés par les trois sources, selon le niveau de développement des pays

Pays développés	Combinaison des 3 sources		WAHID		EMPRES-i		ProMed-mail	
	effectif	%	effectif	%	Effectif	%	effectif	%
Oui	331	41	317	41	143	33	193	41
Non	474	59	453	59	290	67	284	59
Total	805	100	770	100	433	100	477	100

II.2.3) Identification des événements communs et distribution des événements selon leur source d'appartenance

Les événements communs ont été identifiés entre les bases de données, selon les critères suivants : « pays », « maladie », « mois » et « années de survenue ». Deux-cent-soixante-quatre événements communs ont été rapportés par les trois systèmes, 75,9% (611/805) des événements étaient communs à au moins deux sources, 32,8% (264/805) étaient communs aux trois sources et 24,1% (194/805) des événements n'ont été déclarés que par une seule source, comme présenté dans le tableau 8 et la figure 9. Parmi ces 194 événements, 160 événements soit 82,5% ont été déclarés par WAHID.

Figure 9 : Distribution des 805 événements selon leur(s) source(s) de déclaration

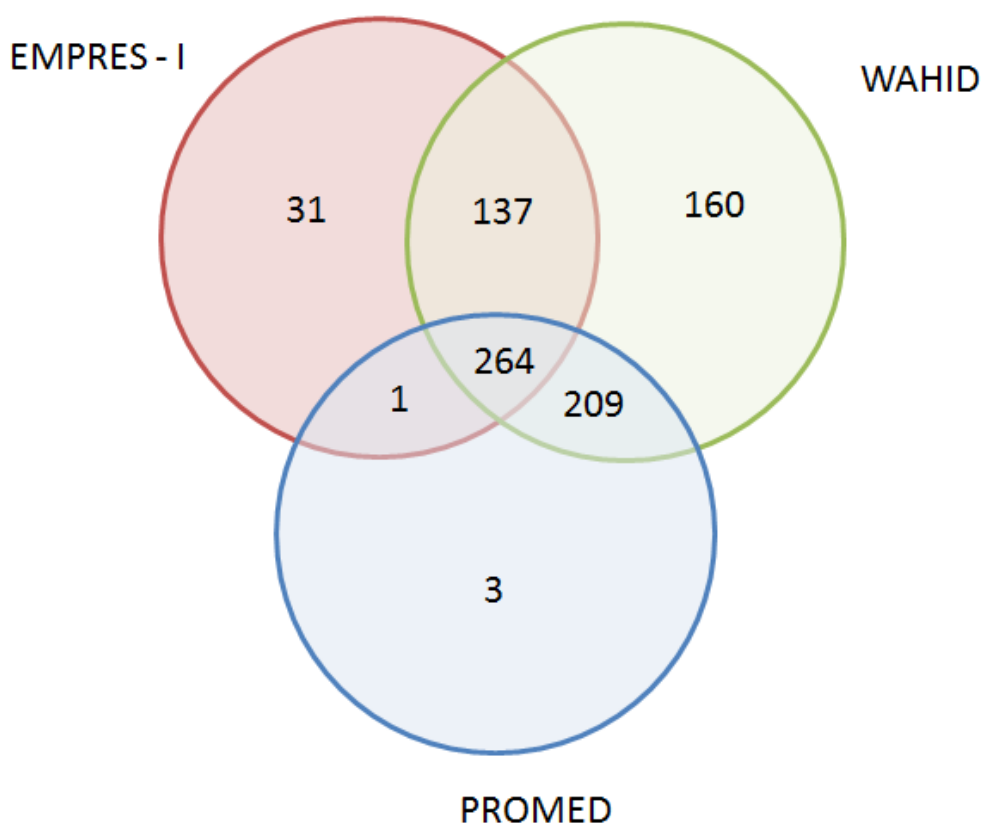


Tableau 8: Tableau de contingence pour les trois sources WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i

		EMPRES-i			
		OUI		NON	
		ProMed-mail		ProMed-mail	
		OUI	NON	OUI	NON
WAHID	OUI	264	137	209	160
	NON	1	31	3	?

II.2.4) Étude de la dépendance entre les sources

II.2.4.1) Étude qualitatives des connexions entre les sources

L'activité de recherche active de l'OIE consiste à suivre l'information délivrée par les autres réseaux de surveillance, tels que ProMed-mail, afin de demander aux Pays Membres de la

confirmer ou de l'infirmer (<http://www.oie.int/fr/sante-animale-dans-le-monde/le-systeme-mondial-dinformation-sanitaire/recherche-active/>). Par cette activité, et du fait que WAHID constitue une source majeure de ProMed-mail, une dépendance statistique positive existait entre les deux sources. De plus, ProMed-mail diffusait largement les notifications émises par l'OIE.

Pour mesurer la dépendance positive entre les deux réseaux, les événements notifiés par ProMed-mail suite à une alerte OIE, ainsi que les événements rapportés par l'OIE suite à une notification par ProMed-mail, ont été marqués.

La source de l'information étant indiquée par ProMed-mail, il a été facile de réaliser la première étape. Une demande d'information spécifique au département de l'information sanitaire de l'OIE a été nécessaire pour la deuxième étape.

Il en ressort que 47 événements ont été notifiés par l'OIE après vérification des informations de ProMed-mail, et que 207 événements ont été notifiés par ProMed-mail à partir d'une alerte de l'OIE. La dépendance entre ces deux systèmes était donc assurément très forte.

De même, EMPRES-i diffusait largement les notifications émises par ProMed-mail et l'OIE, ce qui créait une dépendance positive entre EMPRES-i et ProMed-mail d'une part, et entre EMPRES-i et WAHID d'autre part. La source de l'information n'était cependant pas indiquée sur le site internet d'EMPRES-i, et il n'est donc pas possible d'évaluer directement la dépendance entre les réseaux due à la diffusion d'information par EMPRES-i.

En revanche, EMPRES-i n'était pas citée dans les sources de l'OIE et de ProMed-mail.

II.2.4.2) Étude des sources deux à deux (méthode de Wittes)

En croisant les sources 2 à 2, des estimations du nombre total d'événements variant de 776 à 830 ont été obtenues (tableau 9). Le nombre d'événements estimés était inférieur en croisant les sources WAHID et ProMed-mail d'une part, et EMPRES-i et ProMed-mail d'autre part, par rapport à WAHID-EMPRES-i, suggérant une dépendance positive entre ces sources deux à deux (sous-estimation du nombre de cas par rapport aux deux autres estimations).

Tableau 9: Estimation du nombre total de cas en croisant les sources 2 à 2, exhaustivité et intervalle de confiance

source 1, source 2	n1	n2	n12	n
WAHID, ProMed-mail	770	477	473	773
WAHID, EMPRES-i	770	433	401	801
EMPRES-i, ProMed-mail	433	477	265	644

source 1, source 2	NE	IC 95 %	Exh1 (%)	IC 95 %	Exh2 (%)	IC 95 %
WAHID, ProMed-mail	776	[773 - 779]	99%	[99 - 100]	61%	[61 - 62]
WAHID, EMPRES-i	830	[815 - 845]	93%	[91 - 94]	52%	[51 - 53]
EMPRES-i, ProMed-mail	779	[740 - 818]	61%	[58 - 64]	55%	[53 - 58]

n1 : nombre de cas dans la source 1 ; *n2* : nombre de cas source 2 ; *n12* : nombre de cas communs aux 2 sources ; *n* : nombre de cas observés dans les deux sources ; *NE* : nombre de cas estimés en croisant les deux sources ; *Exh1* : taux d'exhaustivité de la source 1 ; *Exh2* : taux d'exhaustivité de la source 2.

II.2.4.3) Estimation de la dépendance par le rapport de cote (méthode de Wittes)

La recherche de la dépendance entre deux sources a pu être effectuée à partir de la troisième source en calculant le rapport de cote. Il existait une dépendance positive entre EMPRES-i et ProMed-mail et entre WAHID et ProMed-mail. La cote n'était pas significativement différente de 1 pour le couple EMPRES-i-WAHID, mais les chiffres du tableau 10 laissent penser à une dépendance positive entre les sources de ce dernier couple.

Tableau 10 : Rapport de cote de la répartition entre deux sources des cas présents dans la troisième source. Tests d'indépendance des sources, méthode de Wittes.

sources étudiées	Système dans lequel sont faites les observations	RC	IC95%	Dépendance
EMPRES-i -ProMed-mail	WAHID	1,48	[1,11 - 1,98]	dépendance positive
EMPRES-i -WAHID	ProMed-mail	3,79	[0,39 – 36,7]	indépendance
WAHID-ProMed-mail	EMPRES-i	59,7	[8,07 – 442,32]	dépendance positive

II.2.5) Analyse globale selon les modèles log-linéaires

II.2.5.1) Adéquation du modèle aux données et sélection du modèle

Les résultats de l'analyse globale (ajustement des huit modèles log-linéaires aux données globales) sont présentés dans le tableau 11. En se basant sur la déviance, seuls quatre modèles présentaient une bonne adéquation aux données observées : le modèle saturé, le modèle prenant en compte les deux dépendances WAHID*ProMed-mail et ProMed-mail *EMPRES-i, le modèle prenant en compte les deux dépendances WAHID*ProMed-mail et WAHID*EMPRES-i, et le modèle prenant en compte uniquement l'interaction entre WAHID et ProMed-mail. Ces modèles conduisaient à des estimations du nombre total d'événements exceptionnels entre 806 et 1724.

Tableau 11 : Résultats de l'analyse globale par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	69,3	115,8
WAHID-ProMed-mail	2	8,1	56,6
WAHID-EMPRES-i	2	56,2	104,7
ProMed-mail -EMPRES-i	2	66,7	115,2
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	6,8	57,4
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	1,6	52,1
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	54,5	105,0
Modèle saturé	0	0,0	52,5

ddl : degrés de liberté ; G2 : déviance ; AIC : critère d'information d'Akaike

Modèles	NE	IC95% BI	IC95% BS
aucune interaction	813	811	817
WAHID-ProMed-mail	834	825	847
WAHID-EMPRES-i	807	806	811
ProMed-mail -EMPRES-i	814	811	818
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	898	814	1724
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	841	829	860
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	807	806	812
Modèle saturé	942	819	2186

NE : taille totale de la population estimée ; IC95% BI : borne inférieure de l'intervalle de confiance à 95% ; IC95% BS : borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95%

II.2.5.2) Estimation du nombre total d'événements exceptionnels

Le modèle retenu (valeur AIC la plus basse) était celui considérant deux dépendances entre les sources, WAHID*ProMed-mail et ProMed-mail *EMPRES-i, le nombre total d'événements exceptionnels estimé était alors de 841 [IC 95 %= 829-860]. L'exhaustivité la plus haute était celle de WAHID était de 92 % [IC 95 % = 86 - 93] (tableau 12).

Tableau 12 : Exhaustivité des trois sources à partir de l'estimation du nombre total d'événements exceptionnels estimé

NE=841	Exhaustivité (%)	IC 95%
WAHID	92 %	86 - 93
ProMed-mail	56 %	55– 58
EMPRES-i	51 %	50– 52

IC95% : intervalle de confiance à 95%

II.2.6) Stratification des résultats selon les variables sources d'hétérogénéité

Annexe 6 : détail des résultats des analyses pour chacune des strates, par modèles log-linéaires

II.2.6.1) Stratification selon l'année de survenue

Les résultats n'étaient pas en faveur d'une hétérogénéité de capture en fonction de l'année de survenue pour le réseau WAHID et pour le réseau ProMed-mail.

En revanche, les résultats étaient en faveur d'une hétérogénéité de capture selon l'année de survenue pour le réseau EMPRES-i, avec un taux d'exhaustivité pour 2005 significativement plus faible que ceux pour 2007 et 2008, eux-mêmes significativement plus faibles que ceux pour 2006, 2009 et 2010 (tableau 13).

Tableau 13 : Distribution des événements selon l'année de survenue

Année	N	WAHID		ProMed-mail		EMPRES-i		
		IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%
2010	151	145-252	90	54-94	60	36-63	93	56-97
2009	138	136-143	94	90-95	55	53-56	62	60-63
2008	151	143-172	89	78-94	44	39-46	35	31-37
2007	157	151-181	93	81-97	64	55-66	37	32-39
2006	160	156-168	91	87-94	54	51-55	49	46-50
2005	119	96-183	65	42-80	47	31-59	14	9-18
Total	876	827-1099	88	70-93	54	43-58	49	39-52

Exh(%) : taux d'exhaustivité ; IC95% : intervalle de confiance à 95%

II.2.6.2) Stratification selon la région

Les résultats sont en faveur d'une hétérogénéité de capture selon la région de survenue pour le réseau WAHID, avec un taux d'exhaustivité pour l'Afrique significativement plus faible que ceux pour les autres régions.

Les résultats sont également en faveur d'une hétérogénéité de capture selon la région de survenue pour le réseau ProMed-mail, avec des taux d'exhaustivité pour l'Afrique, les Amériques et le Moyen Orient significativement plus faibles que celui pour l'Europe, lui-même plus faible que celui pour l'Asie.

Enfin, les résultats sont également en faveur d'une hétérogénéité de capture pour le réseau EMPRES-i selon la région, avec un taux d'exhaustivité pour les Amériques plus faible que celui pour l'Europe, lui-même plus faible que ceux pour l'Afrique et le Moyen-Orient. Enfin, le taux d'exhaustivité pour l'Asie est significativement plus élevé que ceux pour les autres régions (tableau 14).

Tableau 14 : Distribution des événements selon la région de survenue

Région	N	WAHID		ProMed-mail		EMPRES-i		
		IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%
Asie	178	177-179	98	98-99	73	73-73	73	73-73
Afrique	134	130-143	75	70-77	44	41-45	63	59-65
Amériques	121	117-133	95	86-98	46	42-48	36	33-38
Europe	334	331-344	98	95-98	60	58-60	41	40-41
Moyen orient	60	57-66	90	82-95	52	47-54	63	58-67
Total	827	812-865	93	89-95	58	55-59	52	50-53

Exh(%) : taux d'exhaustivité ; IC95% : intervalle de confiance à 95%

II.2.6.3) Stratification selon le niveau de développement des pays

Les résultats ne sont pas en faveur d'une hétérogénéité de capture significative pour les trois réseaux (tableau 15).

Tableau 15 : Distribution des événements selon le niveau de développement du pays de survenue

Niveau de développement	N	WAHID		ProMed-mail		EMPRES-i		
		IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%
oui	350	346-359	91	88-92	55	53-55	41	40-41
non	595	474-1833	76	25-96	48	16-60	49	16-61
Total	945	820-2192	81	35-94	50	22-58	46	20-53

Exh(%) : taux d'exhaustivité ; IC95% : intervalle de confiance à 95%

II.2.6.4) Stratification selon le caractère zoonotique ou non des maladies

Les résultats sont en faveur d'une hétérogénéité de capture pour les trois réseaux avec des taux d'exhaustivité pour maladies zoonotiques significativement moins bon que pour les maladies non-zoonotiques (tableau 16).

Tableau 16 : Distribution des événements selon la nature des maladies (zoonoses et maladies non-zoonotiques)

Zoonose	N	WAHID		ProMed-mail		EMPRES-i		
		IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%	Exh(%)	IC95%
oui	404	392-424	85	81-88	48	46-49	36	34-37
non	437	434-444	97	96-98	65	64-65	66	65-66
Total	841	826-868	92	89-93	58	55-58	51	50-52

Exh(%) : taux d'exhaustivité ; IC95% : intervalle de confiance à 95%

II.2.7) Bénéfices de l'utilisation des notifications ProMed-mail pour l'OIE, et de la diffusion des données OIE par ProMed-mail

Pour WAHID, le taux d'exhaustivité pour les événements exceptionnels aurait été de 86 % (IC95%= [84 % - 88 %]) sans l'activité de vérification de l'information de ProMed-mail. Le taux d'exhaustivité a augmenté de plus de 5 % grâce à l'activité de vérification des notifications de ProMed-mail. Pour ProMed-mail, le taux d'exhaustivité aurait été de 32

%(IC95%= [31 % - 33 %]) sans la diffusion de l'information de l'OIE. Le taux d'exhaustivité a augmenté de près de 20 % grâce à la diffusion de ces données (tableau 17).

Tableau 17 : Taux d'exhaustivité de WAHID et ProMed-mail pour les événements exceptionnels, pour les maladies de la liste de l'OIE, avec et sans vérification/diffusion des données de l'autre réseau

		Nombre d'événements reportés	Nombre total d'événements	Taux d'exhaustivité (%)	IC95%
OIE	Sans l'activité de vérification des données de ProMed-mail	723	841 (95% IC= [824 – 862])	86	[84–88]
	Avec l'activité de vérification des données de ProMed-mail	770		92	[89–93]
ProMed-mail	Sans l'activité de diffusion des données de WAHID	270		32	[31–33]
	Avec l'activité de diffusion des données de WAHID	477		51	[50 - 52]

IC95% : intervalle de confiance à 95%

II.3) Discussion

II.3.1) Méthode

L'approche retenue dans ce travail a été celle des modèles log-linéaires. Plusieurs modèles statistiques prenant en compte toutes les relations entre les différentes sources sont proposés par cette méthode. Pour aider au choix de l'un d'entre eux, il existe des indicateurs clairs qui permettent de comparer les modèles entre eux, comme la déviance et l'AIC utilisé ici. Le choix est basé sur des critères compréhensibles pour l'utilisation et le lecteur. (Pittsburg university, 2011).

Il est également possible d'utiliser le critère d'information Bayésien (BIC) ou le critère d'information de draper (1995) (DIC), qui n'ont pas été choisis pour cette étude mais qui sont également des indicateurs fiables aidant à la décision. Quel que soit le critère, on privilégiera un modèle pour lequel la valeur associée est la plus basse. Les formules de calculs des BIC et DIC sont indiquées ci-dessous :

$$\begin{aligned} \text{BIC} &= G^2 - (\ln N_{\text{obs}})(\text{ddl}) \\ \text{DIC} &= G^2 - (\ln(N_{\text{obs}}/2\pi))(\text{ddl}) \end{aligned}$$

À partir de l'ensemble des données, il a été possible de croiser les événements correspondant à la même définition et issus de trois sources indépendantes de par leur fonctionnement, l'une étant basée principalement sur les notifications officielles des Pays Membres, les deux autres sur des notifications plus informelles.

Certaines hypothèses initiales, qui déterminent la validité de la méthode, ont été respectées. L'identification de tous les événements communs a été vérifiée. La période d'étude 2005-2010 a été la même pour les trois sources. Quatorze pays ne sont pas des Pays Membres de l'OIE et ne rapportent pas à l'OIE (Grenade, Kiribati, Liberia, îles Marshall, Monaco, Nauru, Palaos, Saint Christophe-et-Nieves, Saint-Vincent-et-les-Grenadines, îles Salomon, îles Samoa, îles Tonga, îles Tuvalu, Vatican). Cependant, nous n'avons noté aucun événement exceptionnel notifié par ProMed-mail ou EMPRES-i pour ces pays. L'unité géographique a donc été respectée.

En revanche, d'autres hypothèses n'ont pas été totalement respectées, ce qui a pu causer un biais dans les résultats. Une des conditions implicites de l'analyse capture-recapture est que tous les événements identifiés correspondent à des "vrais" événements, selon la définition retenue, or cette hypothèse n'est complètement vérifiée que pour la base de données de WAHID, étant donné que le réseau repose sur des notifications officielles et que la définition d'événement exceptionnel de l'étude est basée sur celle de l'OIE. Pour les réseaux ProMed-mail et EMPRES-i, il se peut que des événements soient faux, étant donné la nature non-officielle de certaines sources non-officielles des deux réseaux.

De plus, seules quatre variables ont été choisies pour la définition d'événement exceptionnel («pays», «maladie», «mois» et «année de survenue»), en raison de données parfois limitées présentées dans les rapports ProMed-mail et EMPRES-i. En conséquence, certains événements qui seraient survenus dans le même pays, pour la même maladie et le même mois qu'un autre événement, mais dans une région différente, pour un sérotype différent ont pu être ignorés. Cela a pu conduire à une surestimation ou une sous-estimation du nombre total d'événements exceptionnels. En revanche, l'identification de cas communs sur la base de ces variables ne devrait pas avoir généré de biais, étant donné que ces cas ont été vérifiés manuellement par la suite.

Les analyses stratifiées suggèrent des hétérogénéités de capture pour l'année de survenue, la région, la nature des maladies (zoonotiques et non zoonotiques), et le niveau de développement des pays, qui pourraient remettre en cause les résultats de l'analyse globale. Nous avons appliqué la stratification sur des variables préalablement supposées être sources d'hétérogénéité pour l'explorer. Cependant, une autre approche a été développée pour modéliser l'hétérogénéité par régression logistique (Alho, 1990 ; Alho *et al*, 1993). Cette méthode permet une meilleure évaluation du biais lié à l'hétérogénéité de capture des événements par chacune des sources. Cependant, dans notre étude, la somme des estimations par strates est très proche de l'estimation obtenue par le modèle global ce qui minimise le risque que ces hétérogénéités soient sources de biais dans l'estimation globale.

Une autre limite de l'étude réside dans la différence des mandats et des objectifs de ProMed-mail, EMPRES-i et WAHID. En effet, WAHID ne notifie que les événements exceptionnels officiellement confirmés par les Pays Membres, pour des maladies bien définies, afin de fournir des données fiables pour la surveillance des maladies animales à l'échelle mondiale. De façon similaire, EMPRES-i s'efforce de fournir des données vérifiées par les sources officielles ou les agents de terrains de la FAO. ProMed-mail, en revanche, diffuse des informations officieuses aussi bien que les événements confirmés, afin d'informer le plus rapidement possible la communauté scientifique de la progression des maladies d'intérêt, non préalablement listées, dans le monde. C'est pourquoi ProMed-mail, qui en théorie devrait rapporter toutes les maladies listées par l'OIE et EMPRES-i, peut, en pratique, choisir de ne pas en rapporter certaines que les modérateurs ou le public jugeraient sans intérêt. Cette analyse, basée sur la liste croisée des maladies de l'OIE et d'EMPRES-i et sur la définition d'événement exceptionnel de l'OIE, peut alors être biaisée, en défaveur de ProMed-mail.

De plus, les sources basées sur les déclarations volontaires, telles que WAHID, peuvent générer un biais dans l'étude, étant donné l'hétérogénéité de rapport dans la population. Les événements seront plus ou moins bien rapportés pour différentes raisons, que l'on peut tenter d'identifier par une stratification, et en observer l'effet réel. La région a été identifiée comme un facteur d'hétérogénéité (avec une moins bonne exhaustivité estimée pour l'Afrique que pour les autres continents), le niveau de développement des pays aurait pu être également un facteur d'hétérogénéité dans la déclaration volontaire de WAHID, mais il n'a pas été identifié comme tel dans l'étude. De plus, les Pays Membres de l'OIE ont une obligation légale de notification, ce qui diminue le risque d'hétérogénéité de déclaration.

Malgré ces limites, cette étude a pu donner une estimation du nombre total d'événements exceptionnels survenus entre 2005 et 2010 et de l'exhaustivité de WAHID, de ProMed-mail et d'EMPRES-i pour ces événements.

Cette étude n'incluait que trois sources de données. Or il aurait été possible d'inclure des sources de données supplémentaires pour augmenter le nombre d'informations. Cependant, une augmentation du nombre de sources ne garantirait pas l'augmentation de la précision de l'analyse ; une diminution de la précision serait même possible, avec des intervalles de confiance plus larges. Il faut donc considérer avec prudence l'inclusion d'une autre source

dans l'analyse, bien que celle-ci puisse compléter les résultats. Cette quatrième base pourrait être constituée par la combinaison de bases de données nationales ou régionales ou la littérature scientifique. En effet, certains articles relatent des événements épidémiologiques non notifiés par WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i (Napier, *et al*, 2009 ; Rahimi, *et al*, 2010).

II.3.2) Résultats

L'analyse effectuée sur l'ensemble des 805 observations a estimé le nombre total d'événements exceptionnels concernant les maladies animales surveillées communément par les réseaux de surveillance WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i, entre 2005 et 2010, dans les pays rapportant à l'OIE, à 841 événements [IC 95 % = 824-862].

Il faut garder à l'esprit que cette étude concerne les événements exceptionnels diagnostiqués, et non pas tous les cas exceptionnels de maladies survenus dans le monde.

L'exhaustivité de la surveillance du réseau WAHID a été estimée à 92 % [IC 95 % = 89-93], celle par ProMed-mail à 57 % [IC95% = 55 – 58] et celle par le réseau EMPRES-i à 51 % [IC95% = 50 - 52].

Cette étude contribue au développement de l'utilisation de la méthode capture-recapture à l'évaluation de la surveillance en santé animale.

Les résultats obtenus sont très surprenants, mettant clairement en avant la supériorité des résultats de WAHID en comparaison aux autres réseaux, qui sont pourtant soumis à moins de contraintes de vérification de l'information. L'écart d'exhaustivité entre WAHID et ProMed-mail ou EMPRES-i est très important (plus de 30 %) et remet en cause les *a priori* laissant penser que des réseaux plus libres et diffusant toutes les informations fournies par les sources officielles ou officieuses auraient une meilleure sensibilité.

Nous attendions cependant un taux d'exhaustivité élevé pour WAHID, car l'activité de vérification de l'information permet aux animateurs du réseau de passer en revue les événements rapportés par d'autres réseaux. Des animateurs du réseau suivent en effet quotidiennement les notifications émises par d'autres réseaux formels et informels (dont ProMed-mail) et demandent confirmation au pays de survenue en cas de besoin.

Nous attendions également un taux élevé pour ProMed-mail, car ce réseau rapporte les événements sans nécessité de confirmation, ce qui est généralement un facteur limitant important du rapport.

Nos résultats attestent d'une amélioration notable de l'exhaustivité d'EMPRES-i, qui était de 12 % [IC95 % = 4 - 19] en 2005 et 96 % [IC95 % = 95-96] en 2010. Cependant, l'évolution de l'exhaustivité de ProMed-mail est plus fluctuante, entre 40 % en 2005 [IC95 % = 14 - 61], 64 % en 2007 [IC 95%= 58 – 67], 44 en 2008 [IC95 %= 40 – 48] et 63 % en 2010 [IC95 % = 62 – 63]. Enfin l'analyse de l'exhaustivité de WAHID ne montre pas d'évolution notable entre 2005 et 2010.

L'amélioration du taux d'exhaustivité d'EMPRES-i pourrait s'expliquer par l'amélioration du fonctionnement de ce jeune réseau, qui ne recense les événements épidémiologiques que depuis 2004 (FAO, 2011b).

La non-diffusion de certains événements exceptionnels diagnostiqués dans les pays Membres de l'OIE pourrait s'expliquer par le fait que certains pays n'ont pas de réseau national de surveillance suffisamment performant pour transmettre l'information aux autorités gouvernementales, et certains autres pays ne sont pas transparents, pour des raisons politiques. Les pertes économiques liées aux restrictions commerciales dans les pays affectés par les maladies de la liste de l'OIE peuvent conduire à des délais de rapport.

Les analyses stratifiées sur la région ont montré une hétérogénéité de capture. Le continent africain, notamment, livre des taux d'exhaustivité plus faibles que pour les autres régions à partir de WAHID et ProMed-mail. En revanche, l'exhaustivité pour l'Afrique est meilleure que pour les autres régions pour le réseau EMPRES-i, qui semble mieux prendre en compte les régions en développement. L'exhaustivité pour les Amériques, également, était moins bonne que pour les autres régions pour les réseaux EMPRES-I et ProMed-mail. L'Asie, en revanche, est le continent pour lequel l'exhaustivité des trois réseaux est très bonne.

Les analyses stratifiées sur la nature des maladies animales (zoonotiques ou non zoonotiques) ont également montré une hétérogénéité de capture pour les trois réseaux. De façon surprenante, l'exhaustivité de surveillance est moins bonne pour les maladies zoonotiques que pour les maladies non zoonotiques, et ce indépendamment du réseau.

La dépendance observée entre les sources était inattendue dans la mesure où les trois réseaux échangent leurs informations. En effet, ProMed-mail diffuse largement l'information de l'OIE, laquelle suit les événements notifiés par ProMed-mail pour demander des renseignements aux Pays Membres en cas de suspicion ; EMPRES-i, enfin, diffuse également largement les notifications de ProMed-mail et de l'OIE.

La diversification des sources d'informations est importante pour les utilisateurs, afin de se faire une idée du tableau réel de la situation épidémiologique dans le monde. Cependant, il faut être conscient des limites de ces réseaux de surveillance, et des liens forts qui existent entre eux. Cette analyse fournit des éléments importants pour l'interprétation des données de WAHID, de ProMed-mail et d'EMPRES-i, à l'intention de tous les utilisateurs.

CONCLUSION

La surveillance épidémiologique événementielle est un type de surveillance particulièrement bien adapté à la notification de messages d'alertes pour les événements épidémiologiques exceptionnels. Cette surveillance se doit cependant d'être bien organisée, pour que la remontée de l'information depuis les acteurs de terrain jusqu'aux gestionnaires des données se fasse le plus rapidement et le plus fidèlement possible.

WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i sont trois systèmes de surveillance événementielle, visant à notifier les événements épidémiologiques concernant la santé animale à l'échelle mondiale.

L'évaluation des réseaux de surveillance est parfois difficile à concevoir, dans la mesure où il n'y a aucun moyen de connaître la situation épidémiologique réelle ni le nombre exact d'événements survenus. Cependant, de nombreux scientifiques se sont penchés sur la question, et des estimateurs de plus en plus précis et de moins en moins biaisés ont été développés au cours de ces dernières décennies, à partir d'une méthode initialement appliquée en écologie pour le recensement des populations de faune sauvage : la méthode capture-recapture. Cette méthode à deux sources ou plus, permet, sous certaines conditions, d'estimer le nombre réel d'événements survenus dans une population pendant une période donnée, en croisant les événements rapportés par plusieurs systèmes distincts, et en identifiant les événements communs entre les différents systèmes.

Grâce à cette méthode, notre étude a permis d'estimer le nombre réel d'« événements épidémiologiques exceptionnels » pour les maladies animales rapportées à la fois par WAHID, ProMed-mail et EMPRES-i, dans les pays qui soumettent des rapports à l'OIE, entre 2005 et 2010 et d'évaluer l'exhaustivité de la surveillance de chacun des trois réseaux pour ces événements, par la méthode capture-recapture à trois sources.

Le taux d'exhaustivité de WAHID a été estimé à 92 % [IC 95 % = 89-93], 57 % [IC95 % = 55 – 58] pour ProMed-mail et 51 % [IC95 % = 50 - 52] pour EMPRES-i. Le nombre total d'événements exceptionnels survenus pour cette période, dans les pays rapportant à l'OIE a été estimé à 841 [IC 95 % = 824-862]. Ces résultats sont très surprenants, de par la nette supériorité de l'exhaustivité de l'OIE, pourtant soumise à des contrôles plus sévères pour la notification des événements, par rapport aux deux autres réseaux, moins formels.

Un autre objectif de cette étude était de clarifier les relations entre ProMed-mail, WAHID et EMPRES-i pour les « événements exceptionnels », et d'identifier les facteurs influençant l'exhaustivité des trois systèmes de surveillance pour ces événements exceptionnels.

Une relation très forte liant les trois réseaux entre eux a ainsi été mise en évidence, en raison du suivi des événements notifiés par chacun des systèmes par les deux autres, et l'utilisation de ces événements pour améliorer leur sensibilité.

L'exhaustivité des trois réseaux est cependant variable selon des paramètres temporels, géographiques, et liés à la nature des maladies. En conséquence il semble judicieux de combiner l'information fournie par ces trois réseaux, en tenant compte des variables d'hétérogénéité qui leur sont propres, pour obtenir l'information la plus complète possible. Enfin, l'analyse pourrait être éventuellement complétée par l'inclusion d'une quatrième base de données (telle que la littérature scientifique potentiellement combinée avec les bases nationales ou régionales) pour préciser les estimations, puisque les méthodes statistiques actuelles permettent de telles études.

BIBLIOGRAPHIE

- Abeni, D., Brancato, G., & Perucci, C. (1994). "Capture-Recapture to Estimate the Size of the Population with Human Immunodeficiency Virus type 1 Infection." *Epidemiology*(5), 410-414.
- Agresti, A. (1994). Simple capture-recapture models permitting unequal catchability and variable sampling effort. *Biometrics*(50), 494-500.
- Akaike, Hirotugu (1974). A new look at the statistical model identification. *Transactions on Automatic Control* 19 (6): 716–723
- Alho, J. (1990). Logistic regression in capture-recapture models. *Biometrics*(46), 623-635.
- Alho, J., Mulry, M., Wurdeman, K., & Kim, J. (1993). Estimating heterogeneity in the probabilities of enumeration for the dual-system estimation. *J Amer Stat Assoc*(88), 1130-1136.
- Bernillon, P., Lievre, L., Pillonel, J., Laporte, A., & Costagliola, D. (1997). Groupe d'épidémiologie des CISH. Estimation de la sous-déclaration des cas de Sida en France par la méthode capture-recapture. *Bull Epidemiol Heb*, 5, 19-21.
- Bishop, Y., Fienberg, S., & Holland, P. (1975). Discrete multivariate analysis: theory and practice. *Cambridge: MIT press.*, 220-256.
- Chapman, D. (1951). Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological sample census. *University of California* , 1(7), pp. 131-160.
- Cormack, R. (1968). The statistics of capture-recapture methods. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev*, 6, 455-506.
- Cormack, R. (1981). *Log-linear models for capture-recapture experiments on open populations*. In: *Hiorns RW, Cooke D, eds., The mathematical theory of the dynamics of biological populations II*. London: Academic Press.
- Cormack, R. (1989). Log-linear models for capture-recapture. *Biometrics*(45), 395-413.
- Cormack, R. (1992). Interval estimation for mark-recapture studies of closed populations. *Biometrics*, 42, 567-576.
- Darroch, J., Fienberg, S., Glonek, G., & Junker, B. (1993). "A Three-Sample Multiple-Recapture Approach to Census Population Estimation with Heterogeneous Catchability." *Journal of the American Statistical Association*(88), 1137–1148.
- Del Rio Vilas, V. J., Sayers, R., Sivam, K., Pfeiffer, D., Guitian, J., & Wilesmith, J. W. (2005). A case study of capture-recapture methodology using scrapie surveillance data in Great Britain. *Preventive Veterinary Medicine*, 67(4), 303-317.

- Del Rio Vilas, V., & Böhning, D. (2008). Application of one-list capture-recapture models to scrapie surveillance data in Great Britain. *Prev Vet Med.*, 85(3-4), 253-266.
- Doscher, M., & Woodward, J. (1983). Estimating the size of subpopulations of heroin users: Applications of log-linear models to capture-recapture sampling. *International J Addictions*(18), 167-182.
- Draper, D. (1995). Assessment and propagation of model uncertainty. *J R Stat Soc*(57), 45-70.
- Dufour, B., & Hendriks, P. (2011). *Surveillance épidémiologique en santé animale* (éd. 3ème). Editions Quae.
- Dufour, B., Hendriks, P., & Toma, B. (2006). Élaboration et mise en place de systèmes de surveillance épidémiologique des maladies à haut risque dans les pays développés. (O. i. Epiz., Éd.) *Rev. sci. tech.*, 25(1), 187-198.
- El Khorazaty, M., Imrey, P., Koch, G., & Bradley, H. (1977). Estimating the total number of events with data from multiple record systems. *International Statistical Review*(45), 129-157.
- FAO. (2011a). *À propos de la FAO*. Consulté en 2011, sur www.fao.org: <http://www.fao.org/about/fr/>
- FAO. (2011b). *About Empres-i*. Consulté en 2011, sur EMPRES-I: http://empres-i.fao.org/empres-i/static/about_en.html
- FAO. (2011c). *Disease Events*. Consulté en 2011, sur EMPRES-I: http://empres-i.fao.org/empres-i/home?p=a&l=en_US
- FAO. (2011d). *Système de prévention et de réponse rapide contre les ravageurs et les maladies transfrontières des animaux et des plantes (EMPRES)*. Consulté en 2011, sur Division de la production et de la Santé animale: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/fr/empres.html>
- Fienberg, S. (1972). The multiple recapture census for closed populations and incomplete 2k contingency tables. *Biometrika*(59), 591-603.
- Fienberg, S. (1992). Bibliography on capture-recapture modeling with application to census undercount adjustment. *Survey Methodology*(18), 143-154.
- Gallay, A., Nardone, A., Vaillant, V., & Desenclos, J. (2002). La méthode capture-recapture appliquée à l'épidémiologie : principes, limites et applications. *Revue d'épidémiologie et de santé publique*(50), 219-232.
- Gallay, A., Vaillant, V., Bouvet, P., Grimont, P., & Desenclos, J. (2000). How many foodborne outbreaks of Salmonella infection occurred in France in 1995? Application of the capture-recapture method to three surveillance systems. *Am J Epidemiol.*, 152(2), 171-177.

- Hogan, H. (1993). The 1990 post-enumeration survey: operations and results. *J Amer Stat Assoc*(47), 1047-1060.
- Hook, E., & Regal, R. (1993). Effect of variation in probability of ascertainment by sources ("variable catchability") upon "capture-recapture" estimates of prevalence. *American journal of epidemiology*, 137(10), 1148-1166.
- Hook, E., & Regal, R. (1995). Capture-recapture methods in epidemiology: methods and limitations. *Epidemiol Rev*, 17, 243-264.
- Hook, E., & Regal, R. (1997). Validity of methods for model selection. Weighting for model uncertainty and small sample adjustment in capture-recapture estimation. *Am J Epidemiol*, 145(12), 1138-1144.
- Hook, E., Albright, S., & Cross, P. (1980). Use of Bernoulli census and log-linear methods for estimating the prevalence of Spina bifida of livebirths and the completeness of vital records reports in New York state. *Am J Epidemiol*, 112(6), 750-758.
- Hubert, B., & Desenclos, J. (1993). Évaluation de l'exhaustivité et de la représentativité d'un système de surveillance par la méthode capture-recapture. Application à la surveillance des infections à méningocoque en France en 1989 et 1990. *Rev Epidém et Santé Publ*(41), 241-249.
- International working group for disease monitoring. (1995a). Capture-recapture and multiple-record systems estimation II: applications in human diseases. *Am J Epidemiol*, 142(10), pp. 1059-1068.
- International working group for disease monitoring and forecasting. (1995b). Capture-recapture and multiple-record systems estimation I: history and Theoretical development. *Am J Epidemiol*(142), 1047-1088.
- Jolion , J.-M. (2006). *Estimation*. Consulté en 2011, sur IVSA: <http://rfv.insa-lyon.fr/~jolion/STAT/node64.html>
- Kivaria, F., & Noordhuizen, J. (2010). Capture-recapture analysis of East Coast fever in smallholder dairy herds in the Dar es Salaam region of Tanzania. *Vet J.*, 184(2), 187-193.
- Laporte, R., Stull, E., & McCarty, D. (1992). Monitoring the incidence of myocardial infarctions: applications of capture-marks-recapture technology. *Intern J Epid*(21), 258-263.
- Le Cren, E. (1965). A note on the history of mark-recapture population estimates. *J. Animal Ecol*, 4, 453-454.
- Napier, J., Hinrichs, S., Lampen, F., Iwen, P., Wickert, R., Garrett, J., et al (2009). An outbreak of avian mycobacteriosis caused by *Mycobacterium intracellulare* in little blue penguins (*Eudyptula minor*). *J Zoo Wildl Med.*, 40(4), 680-686.

- Norris, J., & Pollock, K. (1996). Including model uncertainty in estimating variances in multiple capture studies. *Journal of Environmental and Ecological Statistics*.
- OIE. (2010). *Terrestrial Animal Health Code*. Consulté en 2011, sur OIE: <http://www.oie.int/en/international-standard-setting/terrestrial-code/access-online/>
- OIE. (2011a). *A propos*. Consulté en 2011, sur www.oie.int: <http://www.oie.int/fr/a-propos/>
- OIE. (2011b). *Chapitre 1.2. Critères d'inscription des maladies sur la liste de l'OIE*. Consulté en 2011, sur Code sanitaire pour les animaux terrestres: http://www.oie.int/index.php?id=169&L=1&htmfile=chapitre_1.1.2.htm
- OIE. (2011c). *Objectifs*. Consulté en 2011, sur www.oie.int: <http://www.oie.int/fr/a-propos/nos-missions/#c1598>
- OIE. (2011d). *Système Mondial d'Information Sanitaire*. Consulté en 2011, sur www.oie.int: <http://www.oie.int/fr/sante-animale-dans-le-monde/le-systeme-mondial-dinformation-sanitaire/systeme-mondial-dinformation-sanitaire/>
- OIE. (2009). *Exceptional epidemiological events*. Consulté en 2011, sur <http://web.oie.int/wahis/public.php>
- Otis, D., Burnham, K., White, G., & Anderson, D. (1978). Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs*, 62(1), 135.
- Ouagal, M., Hendriks, P., Saegerman, C., & Berkvens, D. (2010). Comparison between active and passive surveillance within the network of epidemiological surveillance of animal diseases in Chad. *Acta Trop.*, 116(2), 147-151.
- Pittsburg university. (s.d.). *capture recapture web page*. Consulté en 2011, sur <http://www.pitt.edu/~yuc2/cr/main.htm>
- Pollock, K. (1991). Modeling capture, recapture and removal statistics for estimation of demographic parameters for fish and wildlife populations: past, present and future. *J. Amer Stat Assoc*(86), 225-238.
- Pollock, K., & Otto, M. (1983). Robust estimation of population size in closed animal populations from capture-recapture experiments. *Biometrics*(39), 1035-1049.
- ProMED-mail . (2011). *About ProMED-mail* . Consulté en 2011, sur ProMED-mail : <http://www.promedmail.org/pls/apex/f?p=2400:1950:1409331403168417::NO::>
- Rahimi, P., Sohrabi, A., Ashrafihelan, J., Edalat, R., Alamdari, M., Masoudi, M., *et al* (2010). Emergence of African Swine Fever Virus, Northwestern Iran. *Emerging infectious diseases*, 16(12).
- Regal, R., & Hook, E. (1984). Goodness-of-fit based confidence intervals for estimates of the size of a closed population. *Stat Med.*, 3, 287-291.

- Reintjes R, R., *et al* (1999). Assessing the sensitivity of STD surveillance in the Netherlands: an application of the capture-recapture method. *Epidemiol Infect*, 122(1), 97-102.
- Rice, J. (1992). Loglinear analysis: analysis of categorical variables in the logit setting. Dans Thompson, B., *Advances in social science methodology. Volume 2.* (pp. 1-52).
- Schnabel, Z. (1938). The estimation of the total fish population of a lake. *Amer Math Mon*(45), 348-352.
- Seber, G. (1982). *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*, , 2nd edition. New York: Macmillan.
- Seber, G. (1992). A review of estimating animal abundance II. *Int Stat Rev*(60), 129-166.
- Sekar, C., & Deming, W. (1949). On a method of estimating birth and death rates and the extent of registration. *American statistical association*, 44(245), pp. 101-115.
- Shapiro, S. (1949). Estimating birth registration completeness. *J Amer Stat Assoc*(45), 261-264.
- Tracy, W. (1931). Fertility of the population of Canada. Dans W. Tracy, *Seventh Census of Canada, (Vol 2)*,.Ottawa: Cloutier.
- Vergne, T., Grosbois, V., Cazeau, G., Calavas, D., Durand, B., & Dufour, B. (2010). L'utilisation des méthodes unilistes de capture-recapture en surveillance de maladies animales : application aux données françaises de tremblante classique. *Epidémiol. et santé anim.*(58), 161-173.
- White, G., Anderson, D., Burnham, K., & Otis., D. (1982). *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations - Report LA-8787-NERP*. Los Alamos National Laboratory .
- Wittes, J., & Sidel, V. (1968 , August). A generalization of the simple capture-recapture model with applications to epidemiological research. *J Chronic Dis.*, 21(5), pp. 287-301.
- Wittes, J., Colton, T., & Sidel, V. (1974). Capture-recapture method for assessing the completeness of case ascertainment when using multiple Information source. *J Chron Dis*(27), 25-36.
- Wohlin, C., Runeson, P., & Brantestam, B. (1995). "An Experimental Evaluation of Capture-Recapture in Software Inspection.". *Software Testing, Verification and Reliability*(5), 213-232.
- Wolter, K. (1986). Some coverage error models for census data. *J Am Stat Assoc*(81), 338-346.

Annexe 1 : Liste des maladies notifiables à l'OIE

Maladies communes à plusieurs espèces

Brucellose (*Brucella abortus*)
Brucellose (*Brucella melitensis*)
Brucellose (*Brucella suis*)
Cowdriose
Échinococcose/hydatidose
Encéphalite japonaise
Encéphalomyélite équine de l'Est
Fièvre aphteuse
Fièvre catarrhale du mouton
Fièvre charbonneuse
Fièvre de West Nile
Fièvre de la Vallée du Rift
Fièvre hémorragique de Crimée-Congo
Fièvre Q
Leptospirose
Maladie d'Aujeszky
Maladie hémorragique épizootique
Myiase à *Chrysomya bezziana*
Myiase à *Cochliomyia hominivorax*
Paratuberculose
Peste bovine
Rage
Stomatite vésiculeuse
Surra (*Trypanosoma evansi*)
Trichinellose
Tularémie

Maladies des bovins

Anaplasmose bovine
Babésiose bovine
Campylobactériose génitale bovine
Dermatose nodulaire contagieuse
Diarrhée virale bovine
Encéphalopathie spongiforme bovine
Leucose bovine enzootique
Péripneumonie contagieuse bovine
Rhinotrachéite infectieuse bovine/vulvovaginite pustuleuse infectieuse
Septicémie hémorragique
Theilériose
Trichomonose
Trypanosomose (transmise par tsé-tsé)
Tuberculose bovine

Maladies des ovins et des caprins

Agalaxie contagieuse
Arthrite/encéphalite caprine
Avortement enzootique des brebis (chlamydiose ovine)
Clavelée et variole caprine
Épididymite ovine (*Brucella ovis*)
Maedi-visna
Maladie de Nairobi
Peste des petits ruminants
Pleuropneumonie contagieuse caprine
Salmonellose (*S. abortusovis*)
Tremblante

Maladies des équidés

Anémie infectieuse des équidés
Artérite virale équine
Dourine
Encéphalomyélite équine de l'Ouest
Encéphalomyélite équine vénézuélienne
Grippe équine
Métrite contagieuse équine
Morve
Peste équine
Piroplasmose équine
Rhinopneumonie équine

Maladies des suidés

Cysticerose porcine
Encéphalite à virus Nipah
Gastro-entérite transmissible
Maladie vésiculeuse du porc
Peste porcine africaine
Peste porcine classique
Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc

Maladies des oiseaux

Bronchite infectieuse aviaire
Bursite infectieuse (maladie de Gumboro)
Chlamydiose aviaire
Choléra aviaire
Hépatite virale du canard
Influenza aviaire hautement pathogène et influenza aviaire faiblement pathogène chez les volailles conformément au Chapitre 10.4. du Code sanitaire pour les animaux terrestres
Laryngotrachéite infectieuse aviaire
Maladie de Marek
Maladie de Newcastle

Mycoplasmosse aviaire (*M. gallisepticum*)
Mycoplasmosse aviaire (*M. synoviae*)
Pullorose
Rhinotrachéite de la dinde
Typhose aviaire

Maladies des lagomorphes

Maladie hémorragique du lapin
Myxomatose

Maladies des abeilles

Acarapisose des abeilles mellifères
Infestation des abeilles mellifères par l'acarien *Tropilaelaps*
Infestation par le petit coléoptère des ruches (*Aethinatumida*)
Loque américaine des abeilles mellifères
Loque européenne des abeilles mellifères
Varroose des abeilles mellifères

Maladies des poissons

Anémie infectieuse du saumon
Gyrodactylose (**Gyrodactylussalaris**)
Herpès-virose de la carpe koi
Iridovirose de la daurade japonaise
Nécrose hématopoïétique épizootique
Nécrose hématopoïétique infectieuse
Septicémie hémorragique virale
Syndrome ulcératif épizootique
Virémie printanière de la carpe

Maladies des mollusques

Infection à *Bonamia exitiosa*
Infection à *Bonamia ostreae*
Infection à *Marteiliarefringens*
Infection à *Perkinsusmarinus*
Infection à *Perkinsusolseni*
Infection à *Xenohaliotiscaliforniensis*
Infection due au pseudo-herpès de l'ormeau

Maladies des crustacés

Hépatopancréatite nécrosante
Maladie de la tête jaune
Maladie des points blancs
Maladie des queues blanches
Myonécrose infectieuse
Nécrose hypodermique et hématopoïétique infectieuse
Peste de l'écrevisse (*Aphanomycesastaci*)

Syndrome de Taura

Maladies des amphibiens

Infection à *Batrachochytrium dendrobatidis*

Infection à *Ranavirus*

Autres maladies

Leishmaniose

Variole du chameau

Annexe 2 : Liste des maladies animales surveillées par EMPRES-i

Anaplasmosse bovine
Anémie infectieuse des équidés
Artérite virale équine
Arthrite/encéphalite caprine
Botulisme
Bronchite infectieuse aviaire
Brucellose (*Brucella abortus*)
Brucellose (*Brucella melitensis*)
Brucellose (*Brucella suis*)
Clavelée et variole caprine
Dermatose nodulaire contagieuse
Dourine
Ebola-Reston
Échinococcose/hydatidose
Encéphalite à virus Nipah
Encéphalite japonaise
Encéphalomyélite à *Teschovirus*
Encéphalomyélite équine de l'Est
Encéphalomyélite équine de l'Ouest
Encéphalomyélite équine vénézuélienne
Encéphalopathie spongiforme bovine
Fièvre aphteuse
Fièvre catarrhale du mouton
Fièvre catarrhale maligne
Fièvre charbonneuse
Fièvre de la Vallée du Rift
Fièvre de West Nile
Fièvre hémorragique de Crimée-Congo
Fièvre Q
Grippe A (H3N2)
Grippe équine
Infestation par le petit coléoptère des ruches (*Aethinatumida*)
influenza aviaire faiblement pathogène
Influenza aviaire hautement pathogène
Jambe noire
Kunjin virus
La grippe pandémique H1N1 2009
Laryngotrachéite infectieuse aviaire
Leishmaniose
Leptospirose
Leucose bovine enzootique
Loque américaine des abeilles mellifères
Maladie d'Akabane
Maladie d'Aujeszky

Maladie de Newcastle
Maladie du virus Arena
Maladie du virus Hendra
Maladie hémorragique du lapin
Maladie hémorragique épizootique
Maladie vésiculeuse du porc
Mérite contagieuse équine
Morve
Myiase à *Cochliomyia hominivorax*
Myxomatose
Péripneumonie contagieuse bovine
Peste bovine
Peste des petits ruminants
Peste porcine africaine
Peste porcine classique
Piroplasmose équine
Pleuropneumonie contagieuse caprine
Pullorose
Rage
Rhinopneumonie équine
Rhinotrachéite infectieuse bovine/vulvovaginite pustuleuse infectieuse
Salmonellose (*S. abortusovis*)
Septicémie hémorragique
Stomatite vésiculeuse
Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc
Theilériose
Tremblante
Tuberculose bovine
Typhose aviaire
Variole du chameau
Virus Ebola

Annexe 3 : Maladies communes à la liste de surveillance de l'OIE et d'EMPRES-i

Anaplasmose bovine
Anémie infectieuse des équidés
Artérite virale équine
Arthrite/encéphalite caprine
Bronchite infectieuse aviaire
Brucellose (*Brucella abortus*)
Brucellose (*Brucella melitensis*)
Brucellose (*Brucella suis*)
Clavelée et variole caprine
Dermatose nodulaire contagieuse
Dourine
Échinococcose/hydatidose
Encéphalite à virus Nipah
Encéphalite japonaise
Encéphalomyélite équine de l'Est
Encéphalomyélite équine de l'Ouest
Encéphalomyélite équine vénézuélienne
Encéphalopathie spongiforme bovine
Fièvre aphteuse
Fièvre catarrhale du mouton
Fièvre charbonneuse
Fièvre de la Vallée du Rift
Fièvre de West Nile
Fièvre hémorragique de Crimée-Congo
Fièvre Q
Grippe équine
Infestation par le petit coléoptère des ruches (*Aethinatumida*)
influenza aviaire faiblement pathogène
Influenza aviaire hautement pathogène
Laryngotrachéite infectieuse aviaire
Leishmaniose
Leptospirose
Leucose bovine enzootique
Loque américaine des abeilles mellifères
Maladie d'Aujeszky
Maladie de Newcastle
Maladie hémorragique du lapin
Maladie hémorragique épizootique
Maladie vésiculeuse du porc
Métrite contagieuse équine
Morve
Myiase à *Cochliomyia hominivorax*

Myxomatose
Péripneumonie contagieuse bovine
Peste bovine
Peste des petits ruminants
Peste porcine africaine
Peste porcine classique
Piroplasmose équine
Pleuropneumonie contagieuse caprine
Pullorose
Rage
Rhinopneumonie équine
Rhinotrachéite infectieuse bovine/vulvovaginite pustuleuse infectieuse
Salmonellose (*S. abortusovis*)
Septicémie hémorragique
Stomatite vésiculeuse
Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc
Theilériose
Tremblante
Tuberculose bovine
Typhose aviaire
Variole du chameau

*Annexe 4 : Répartition des pays de survenue des événements
épidémiologiques selon les régions du monde, selon la répartition
régionale de l'OIE*

AFRIQUE

AFRIQUE DU SUD
ALGÉRIE
ANGOLA
BÉNIN
BOTSWANA
BURKINA FASO
BURUNDI
CAMEROUN
CAP VERT
CENTRAFRICAINE (REP~)
COMORES
CONGO (RÉPDU ~)
CONGO (RÉPDÉMDU ~)
COTE D'IVOIRE
ERYTHRÉE
ÉTHIOPIE
GABON
GAMBIE
GHANA
GUINÉE
GUINÉE-BISSAU
GUINÉE EQUATORIALE
KENYA
LESOTHO
MADAGASCAR
MALAWI
MALI
MAROC
MAURICE
MAURITANIE
MOZAMBIQUE
NAMIBIE
NIGER
NIGERIA
OUGANDA
RWANDA
SÃO TOMÉ-ET-PRINCIPE

SÉNÉGAL
SEYCHELLES
SIERRA LEONE
SWAZILAND
TANZANIE
TCHAD
TOGO
TUNISIE
ZAMBIE
ZIMBABWE

AMERIQUES

ARGENTINE
BAHAMAS
BARBADE
BELIZE
BOLIVIE
BRÉSIL
CANADA
CHILI
COLOMBIE
COSTA RICA
CUBA
DOMINICAINE (REP~)
EL SALVADOR
ÉQUATEUR
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE
GUATEMALA
GUYANA
HAÏTI
HONDURAS
JAMAÏQUE
MEXIQUE
NICARAGUA
PANAMA
PARAGUAY
PÉROU
SURINAM
TRINITÉ-ET-TOBAGO
URUGUAY
VENEZUELA

ASIE

AUSTRALIE

BANGLADESH
BOUHTAN
BRUNEI
CAMBODGE
CHINE
CORÉE
CORÉE
FIDJI
INDE
INDONÉSIE
JAPON
LAOS
MALAISIE
MALDIVES
MICRONÉSIE (ÉTATS FÉDÉRES DE ~)
MONGOLIE
MYANMAR
NÉPAL
NOUVELLE-CALÉDONIE
NOUVELLE-ZÉLANDE
PAKISTAN
PHILIPPINES
PAPOUASIE NOUVELLE GUINEE
SINGAPOUR
SRI LANKA
TAIPEI CHINOIS
THAÏLANDE
TIMOR-LESTE
VANUATU
VIETNAM

EUROPE

ALBANIE
ALLEMAGNE
ANDORRE
ARMÉNIE
AUTRICHE
AZERBAÏDJAN
BÉLARUS
BELGIQUE
BOSNIE-HERZÉGOVINE
BULGARIE
CROATIE
DANEMARK
ESPAGNE

ESTONIE
EX-RÉPYOUGDE MACÉDOINE
FINLANDE
France
GÉORGIE
GRÈCE
HONGRIE
IRLANDE
ISLANDE
ISRAËL
ITALIE
KAZAKHSTAN
KIRGHIZISTAN
LETTONIE
LIECHTENSTEIN
LITUANIE
LUXEMBOURG
MALTE
MOLDAVIE
MONTÉNÉGRO
NORVÈGE
OUZBÉKISTAN
PAYS-BAS
POLOGNE
PORTUGAL
ROUMANIE
ROYAUME-UNI
RUSSIE
SAINT MARIN
SERBIE
SLOVAQUIE
SLOVÉNIE
SUÈDE
SUISSE
TADJIKISTAN
TCHÈQUE (RÉP~)
TURKMÉNISTAN
UKRAINE

MOYEN-ORIENT

AFGHANISTAN
ARABIE SAOUDITE
BAHREÏN
CHYPRE
DJIBOUTI

ÉGYPTE
ÉMIRATS ARABES UNIS
IRAK
IRAN
JORDANIE
KOWEÏT
LIBAN
LIBYE
OMAN
QATAR
SOMALIE
SOUDAN
SYRIE
TURQUIE
YÉMEN

Annexe 5 : Distribution des pays selon leur niveau de développement (liste de l'ONU)

Pays Développés

Canada
Etats Unis
France
Allemagne
Italie
Japon
Royaume Uni
Irlande
Autriche
Belgique
Danemark
Finlande
Grèce
Luxembourg
Pays Bas
Portugal
Suède
Japon
Australie
Nouvelle Zélande

Pays en Développement

Albanie
Bulgarie
République Tchèque
Hongrie
Pologne
Roumanie
Slovaquie
Yougoslavie
Bosnie
Croatie
Slovénie
Ancienne république de Macédoine
Estonie
Lettonie
Lituanie
Arménie
Azerbaïdjan
Biélorussie
Géorgie
Kazakhstan

Kirghizistan
République de Moldavie
Fédération Russe
Tadjikistan
Turkménistan
Ukraine
Ouzbékistan
Iran
Bahreïn
Chypre
Iraq
Israël
Jordanie
Koweït
Liban
Oman
Qatar
Arabie Saoudite
Syrie
Turquie
Emirats Arabes Unis
Yémen
Chine
Bangladesh
Inde
Népal
Pakistan
Sri Lanka
Pays d'Afrique
Asie et Pacifique à l'exception du Japon, de l'Australie, la Nouvelle Zélande

Annexe 6 : Détail des résultats des analyses pour chacune des strates, par modèles log-linéaires

Tableau 18 : Résultats de l'analyse pour 2010 par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	10,4	43,6
WAHID-ProMed-mail	2	5,1	40,3
WAHID-EMPRES-i	2	8,7	43,9
ProMed-mail -EMPRES-i	2	9,8	45,1
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	1,3	38,6
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	4,5	41,7
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	7,6	44,8
Modèle saturé	0	0	39,2

Tableau 19 : Résultats de l'analyse pour 2009 par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	10,3	44,9
WAHID-ProMed-mail	2	3,4	40
WAHID-EMPRES-i	2	10,1	46,6
ProMed-mail -EMPRES-i	2	9,6	46,1
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	1,5	40
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	2,2	40,7
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	9,4	48
Modèle saturé	0	0	40,54

Tableau 20 : Résultats de l'analyse pour 2008 par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	14,8	47,5
WAHID-ProMed-mail	2	2,1	36,8
WAHID-EMPRES-i	2	8,8	43,5
ProMed-mail -EMPRES-i	2	13,8	48,5
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	2,8	38,8
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	36,7
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	8,1	44,8
Modèle saturé	0	0	38,7

Tableau 21 : Résultats de l'analyse pour 2007 par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	13,3	47,1
WAHID-ProMed-mail	2	9,5	45,3
WAHID-EMPRES-i	2	12,9	48,7
ProMed-mail -EMPRES-i	2	6,6	42,4
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	8,5	46,3
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	1,3	39,1
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	6,4	44,2
Modèle saturé	0	0	39,8

Tableau 22 : Résultats de l'analyse pour 2006 par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	18,3	51,8
WAHID-ProMed-mail	2	0,04	35,5
WAHID-EMPRES-i	2	11,9	47,5
ProMed-mail -EMPRES-i	2	18,1	53,6
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	0,001	37,5
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	37,5
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	11,6	49,1
Modèle saturé	0	0	39,5

Tableau 23 : Résultats de l'analyse pour 2005 par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	32,3	61,1
WAHID-ProMed-mail	2	0,6	31,4
WAHID-EMPRES-i	2	15	45,8
ProMed-mail -EMPRES-i	2	30,8	61,6
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	0,6	33,3
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	32,8
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	13	45,8
Modèle saturé	0	0	34,8

Tableau 24 : Résultats de l'analyse pour l'Asie par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	17,1	53,3
WAHID-ProMed-mail	2	7,9	46,1
WAHID-EMPRES-i	2	16,8	54,9
ProMed-mail -EMPRES-i	2	16,9	55,1
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	1	41,2
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	7,3	47,4
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	16,5	56,7
Modèle saturé	0	0	42,1

Tableau 25 : Résultats de l'analyse pour l'Afrique par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	21,7	56,4
WAHID-ProMed-mail	2	3,8	40,5
WAHID-EMPRES-i	2	16,6	53,3
ProMed-mail -EMPRES-i	2	19,8	56,5
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	3,1	41,8
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0,5	39,1
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	15,6	54,3
Modèle saturé	0	0	40,6

Tableau 26 : Résultats de l'analyse pour les Amériques par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	7,2	38,7
WAHID-ProMed-mail	2	0,1	33,7
WAHID-EMPRES-i	2	3,8	37,4
ProMed-mail -EMPRES-i	2	6,9	40,5
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	0,1	35,7
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	35,6
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	3,4	39
Modèle saturé	0	0	37,6

Tableau 27 : Résultats de l'analyse pour l'Europe par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	11,6	47,3
WAHID-ProMed-mail	2	2	39,7
WAHID-EMPRES-i	2	7,8	45,5
ProMed-mail -EMPRES-i	2	10,2	47,9
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	2	41,7
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	39,7
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	6,5	46,2
Modèle saturé	0	0	41,7

Tableau 28 : Résultats de l'analyse pour le Moyen Orient par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	13	42
WAHID-ProMed-mail	2	0,4	31,4
WAHID-EMPRES-i	2	9,9	40,9
ProMed-mail -EMPRES-i	2	13	44
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	0,4	33,4
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	33
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	9,8	42,8
Modèle saturé	0	0	35

Tableau 29 : Résultats de l'analyse pour les pays développés par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	14,6	50,8
WAHID-ProMed-mail	2	1,9	40,1
WAHID-EMPRES-i	2	9,7	47,9
ProMed-mail -EMPRES-i	2	13,4	51,6
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	1,9	42,1
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	40,2
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	8,6	48,8
Modèle saturé	0	0	42,2

Tableau 30 : Résultats de l'analyse pour les pays en voie de développement par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	52	96
WAHID-ProMed-mail	2	8,2	54,3
WAHID-EMPRES-i	2	46,4	92,4
ProMed-mail -EMPRES-i	2	49,7	95,7
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	6,2	54,2
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	2,6	50,6
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	44,8	92,8
Modèle saturé	0	0	50

Tableau 31 : Résultats de l'analyse pour les maladies zoonotiques par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	76,9	115
WAHID-ProMed-mail	2	10,6	50,7
WAHID-EMPRES-i	2	59,2	99,3
ProMed-mail -EMPRES-i	2	72,4	112,4
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	10,6	52,7
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0	42,1
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	56,2	98,3
Modèle saturé	0	0	44,1

Tableau 32 : Résultats de l'analyse pour les maladies non zoonotiques par modèles log-linéaires.

Modèles	ddl	G2	AIC
aucune interaction	3	5,2	47,6
WAHID-ProMed-mail	2	1,2	45,5
WAHID-EMPRES-i	2	5,1	49,4
ProMed-mail -EMPRES-i	2	5,1	47,5
WAHID-ProMed-mail et WAHID-EMPRES-i	1	0,3	46,7
WAHID-ProMed-mail et ProMed-mail -EMPRES-i	1	0,9	47,3
WAHID-EMPRES-i et ProMed-mail -EMPRES-i	1	4,9	51,3
Modèle saturé	0	0	48,4

ÉVALUATION DE L'EXHAUSTIVITÉ DU SYSTÈME D'ALERTE PRECOCE DE L'O.I.E. PAR LA MÉTHODE « CAPTURE-RECAPTURE » À TROIS SOURCES

NOM et Prénom : AWADA Lina

Résumé

WAHID (OIE), ProMed-mail et EMPRES-i (FAO) sont trois systèmes de surveillance événementielle, visant à notifier les événements épidémiologiques en santé animale à l'échelle mondiale. Cette étude a eu pour objectif d'estimer le nombre réel d'« événements épidémiologiques exceptionnels » pour les 63 maladies animales rapportées par les trois systèmes dans les pays qui soumettent des rapports à l'OIE, entre 2005 et 2010, et à estimer l'exhaustivité de leur surveillance par la méthode capture-recapture à trois sources. Des échanges d'information importants entre les trois réseaux ont été mis en évidence. Le nombre total d'événements exceptionnels a été estimé à 841 [IC 95 % = 824-862]. Le taux d'exhaustivité de WAHID a été estimé à 92 % [IC 95 % = 89 - 93], 57% [IC95% = 55 - 58] pour ProMed-mail et 51% [IC95% = 50 - 52] pour EMPRES-i. Ces résultats sont surprenants, par la supériorité marquée de l'exhaustivité de l'OIE par rapport aux deux autres réseaux, moins formels.

Mots clés

SANTÉ ANIMALE / MALADIE ANIMALE / ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ ANIMALE / O.I.E. / SURVEILLANCE ÉPIDÉMIOLOGIQUE / RÉSEAU ÉPIDÉMIOLOGIQUE / CAPTURE-RECAPTURE / EXHAUSTIVITÉ

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Pr. DUFOUR Barbara

Assesseur : M. ARNE Pascal

EVALUATION OF THE EXHAUSTIVENESS OF O.I.E. EARLY WARNING SYSTEM BY THE THREE SOURCES CAPTURE-RECAPTURE METHOD

SURNAME: AWADA

Given name: Lina

Summary

WAHID (OIE), ProMed-mail and EMPRES-I (FAO) are three monitoring systems, which notify disease events in animal health worldwide. This study aimed to estimate the actual number of “exceptional epidemiological events” for the 63 animal diseases reported by the three systems in the countries submitting reports to the OIE, between 2005 and 2010, and to estimate the exhaustiveness of surveillance by the capture-recapture method with three sources. Lots of information exchanges have been identified between the three networks. The total number of exceptional events was estimated at 841 [95 % CI =824-862].WAHID exhaustiveness rate was estimated at 92% [95% CI = 89-93], 57% [95% CI = 55-58] for ProMed-ail and 51% [95% CI = 50-52] for EMPRES-i. These results, and especially the marked superiority of WAHID exhaustiveness rate compared to the other networks that are less formal, are surprising.

Keywords

ANIMAL HEALTH / ANIMAL DISEASE / WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH / O.I.E. / EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE / EPIDEMIOLOGICAL NETWORK / CAPTURE-RECAPTURE / EXHAUSTIVENESS

Jury:

President: Pr.

Director: Pr. DUFOUR Barbara

Assessor: M. ARNE Pascal