

Étude de la distribution spatiale des cas d'infection à *Salmonella Enteritidis* dans les élevages de poules pondeuses en France de 2005 à 2009

Estelle Hamelin (1), Mathieu Pinson (mathieu.pinson@agriculture.gouv.fr) (1), Laurent Montaut (1), Juliette Paireau (2)

(1) Direction générale de l'alimentation, Bureau des zoonoses et de la microbiologie alimentaires, Paris, France

(2) Institut Pasteur, Unité d'épidémiologie des maladies émergentes, Paris, France

Résumé

La gestion des infections à *Salmonella* dans les élevages de poules pondeuses est un enjeu de santé publique. Malgré une diminution des cas de salmonelloses humaines observés en Europe depuis plusieurs années, *Salmonella* reste une des premières causes de toxi-infection alimentaire collective, avec pour principal aliment incriminé les œufs et les produits à base d'œufs crus ou peu cuits. L'objectif de l'étude était d'analyser la distribution spatiale des cas d'infection à *Salmonella Enteritidis* afin d'observer d'éventuels phénomènes de diffusion d'infection entre sites d'élevage voisins.

Les données utilisées dans cette étude ont été collectées dans le cadre du programme de surveillance et d'éradication de *Salmonella* dans les élevages de poules pondeuses, piloté par la Direction générale de l'alimentation. Des analyses spatiales globales et locales de la distribution des cas d'infection à *Salmonella Enteritidis* dans les élevages ont été réalisées à l'échelle annuelle, de 2005 à 2009.

L'analyse spatiale a mis en évidence une tendance globale à l'agrégation des cas uniquement en 2005, et a permis de localiser quatre agrégats significatifs, un en 2005, deux en 2008 et un en 2009.

Le faible nombre d'agrégats détectés sur la période d'étude ne suggère pas l'existence de diffusions fréquentes de l'infection entre élevages voisins. Ce type d'étude pourrait contribuer à adapter au mieux les réglementations actuelles en matière de gestion d'infections.

Mots clés

Salmonella Enteritidis, poules pondeuses, fonction K de Ripley, analyse spatiale

Abstract

Study of spatial patterns of Salmonella Enteritidis infections in laying flocks from 2005 to 2009

Salmonella infection management in laying flocks is a public health issue. Despite a decrease in human cases of salmonellosis for several years in Europe, Salmonella remains a leading cause of foodborne outbreaks for which the primary source of contamination are raw or undercooked eggs and egg products. The study purpose was to analyze the spatial distribution of Salmonella Enteritidis infections to identify possible dissemination of infection between neighboring breeding sites.

Data used for this study came from the Salmonella monitoring and eradication program in poultry, run by the Direction générale de l'alimentation. A global and local spatial analysis of Salmonella Enteritidis infection distribution in breeding sites was performed on an annual basis from 2005 to 2009.

The spatial analysis highlighted an aggregation of cases only in 2005, and identified four significant clusters, one in 2005, two in 2008 and one in 2009.

The small number of clusters detected in the study period does not suggest dissemination of infection between neighboring breeding sites. This type of study could contribute to adapt to the best the current infection management regulations.

Keywords

Salmonella Enteritidis, laying hens, Ripley K function, spatial analysis

La maîtrise des salmonelles dans les élevages de poules pondeuses est un enjeu majeur de santé publique au vu du nombre de cas de toxi-infections alimentaires recensés chaque année en France et en Europe ayant pour origine la consommation d'œufs ou de produits à base d'œufs crus ou peu cuits. En 2009, 109 844 cas de salmonelloses ont été répertoriés chez l'Homme dans l'Union européenne (EFSA, 2010).

Il est institué, en application du règlement (CE) N°2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire, un programme national de surveillance et d'éradication des salmonelles dans les élevages de poules pondeuses.

L'objectif de cette étude est de décrire la distribution spatiale annuelle des cas d'infection au sérotype Enteritidis en filière de production d'œufs de consommation (espèce *Gallus gallus*) afin de déterminer si des phénomènes de diffusion d'infection pourraient être suspectés. L'étude porte sur ce sérotype car il est plus spécifiquement associé aux volailles et aux œufs de consommation, et le seul faisant l'objet d'une déclaration obligatoire d'infection sur toute la période d'étude.

Matériel et méthodes

Les données nécessaires à l'étude ont été collectées dans le cadre du programme de surveillance et d'éradication des salmonelles dans

les élevages de volailles entre 2005 et 2009, piloté par la Direction générale de l'alimentation (DGAL). Tout cas d'infection fait l'objet d'une déclaration obligatoire, accompagnée d'une fiche de renseignement transmise à la DGAL. L'étude porte sur les données recensées en France métropolitaine, en excluant la Corse.

Deux méthodes d'analyse spatiale globale et locale ont été utilisées (Ngowi *et al.*, 2010). Une fois ces outils inclus dans un Système d'information géographique, ils permettent d'étudier la structure spatiale d'une population et de localiser les agrégats ou zones à risque de façon objective. Un agrégat est défini comme un groupement géographiquement et/ou temporellement délimité de cas, d'une taille et d'une concentration suffisantes pour rendre improbable qu'il se soit produit aléatoirement. Dans le cadre de cette étude, les données recueillies étaient des données ponctuelles, chaque site d'élevage étant localisé par ses coordonnées géographiques.

L'analyse spatiale globale a été réalisée par année d'étude à l'aide de la fonction K de Ripley, avec le logiciel R (v2.15.1.R Core Development Team). Cette fonction permet de mesurer une tendance générale à l'agrégation des sites infectés, qui sert à rejeter l'hypothèse nulle de distribution aléatoire des cas (Dixon, 2012). Plus précisément, la fonction de Ripley permet d'analyser un processus ponctuel en comptant, pour chaque événement choisi aléatoirement, le nombre d'événements présents dans un cercle de rayon r centré sur l'événement aléatoirement

Tableau 1. Distribution des sites d'élevage inclus dans le dispositif de surveillance et des sites d'élevage infectés par année d'étude, de 2005 à 2009

	2005	2006	2007	2008	2009
Nombre de sites d'élevage	2 067	2 009	1 966	1 926	1 901
Nombre de sites infectés	56	61	60	47	35
Prévalence d'infection (en %)	2,71	3,04	3,05	2,44	1,84

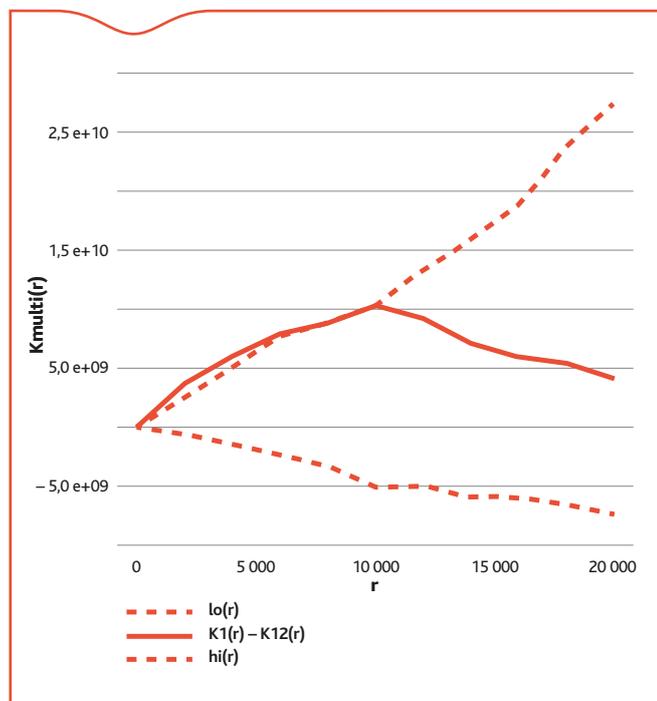


Figure 1. Différence entre les fonctions K univariée et bivariée qui permet de tester la tendance à l'aggrégation spatiale pour la population des sites infectés en 2005 à différentes échelles spatiales (r : rayon en mètres; $K1$: fonction de Ripley univariée; $K12$: fonction de Ripley bivariée; lo : limite inférieure de l'intervalle de confiance; hi : limite supérieure de l'intervalle de confiance). Une valeur observée au-dessus de la limite supérieure de l'intervalle de confiance définit un processus agrégé.

choisi, et de comparer ce nombre au nombre d'évènements attendus sous l'hypothèse nulle. La fonction K bivariée a été utilisée afin de comparer la distribution des sites d'élevage infectés à celle des sites d'élevage sains. Le cadre probabiliste est donc celui des processus ponctuels marqués, définis par les positions des évènements et par les marques associées à chaque position. Dans cette étude, le processus spatial (positions des évènements) correspond à la localisation des sites d'élevage et le processus des marques correspond au statut infectieux (positif ou négatif) des sites. L'hypothèse nulle est basée sur l'hypothèse de permutation des marques, qui implique l'indépendance du processus spatial et du processus des marques. L'interprétation de la fonction de Ripley se fait grâce à une représentation graphique (Figure 1).

L'analyse spatiale locale a été réalisée, par année d'étude, à l'aide du scan spatial de Kulldorff, avec le logiciel SaTScan (v9.1.1, Kulldorff and Information Management Service, Inc.). Il permet d'identifier localement les agrégats statistiquement significatifs de sites d'élevage infectés en prenant en compte l'hétérogénéité de la densité de population (Kulldorff, 1997). La zone d'étude est « balayée » grâce à une fenêtre mobile circulaire ou elliptique, successivement centrée sur chaque site d'élevage et dont le diamètre varie de zéro à une valeur maximale fixée par l'utilisateur. L'hypothèse nulle suppose que les sites infectés sont répartis de manière aléatoire dans la population. L'hypothèse alternative suppose que le risque à l'intérieur de la fenêtre est plus élevé qu'à l'extérieur, les sites d'élevage infectés inclus dans cette fenêtre formant alors un agrégat (Kulldorff, 1997). Un modèle probabiliste de Bernoulli, adapté à des évènements binaires (site infecté/non infecté) a été utilisé. Seuls les agrégats statistiquement significatifs ($p < 0,05$) ont été retenus, la valeur p de chaque agrégat étant obtenue par simulations de Monte Carlo.

Résultats

Sur la période d'étude, 259 cas d'infection ont été déclarés soit une prévalence moyenne d'infection de 2,62 % (Tableau 1). La distribution spatiale des 2 451 sites d'élevage recensés entre 2005 et 2009 est très hétérogène. Quatre régions concentrent 64 % des sites d'élevage, les régions Bretagne (31 % des sites), Pays de la Loire, Rhône-Alpes et Nord-Pas-de-Calais.

L'analyse spatiale globale a permis d'identifier une tendance à l'aggrégation des cas d'infection uniquement pour l'année 2005, à une échelle inférieure à 10 km (Figure 1).

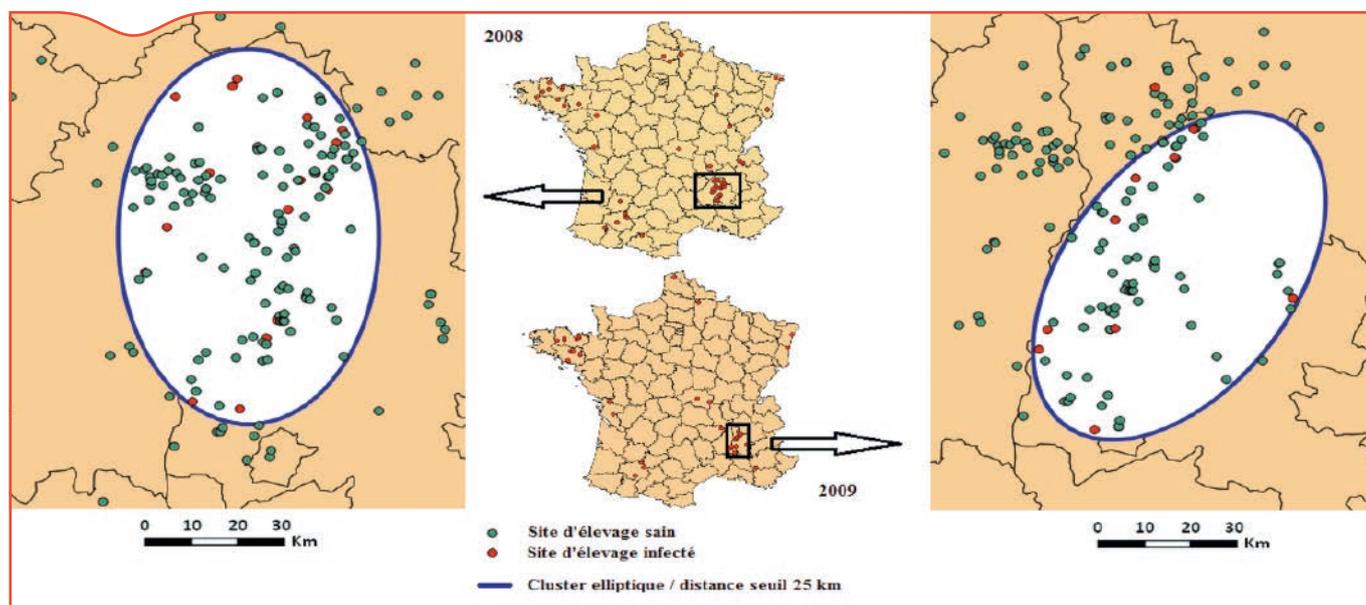


Figure 2. Agrégats de sites d'élevage de poules pondeuses infectés par *Salmonella Enteritidis* localisés en région Rhône-Alpes en 2008 et 2009 (cartographie des départements issue de la base GEOFLA, département de l'Institut national de l'information géographique et forestière)

L'analyse spatiale locale a permis de localiser quatre agrégats significatifs de cas. Un agrégat a été localisé dans le Morbihan en 2005. De taille réduite (rayon ~ 400 mètres), il concerne quatre sites d'élevage infectés, déclarés dans un délai d'environ un mois. Un agrégat de trois sites d'élevage distants de quelques kilomètres a été localisé dans le département du Gers en 2008. Deux agrégats ont été localisés dans la région Rhône-Alpes (Figure 2). Le premier, en 2008, est à cheval sur les départements de l'Ardèche et de la Drôme. Le second, en 2009, est uniquement centré sur la Drôme. Ces deux agrégats sont de taille conséquente et comprennent respectivement dix-sept et neuf sites d'élevage infectés, répartis sur neuf à onze mois.

Discussion/conclusion

Le but de l'étude était d'analyser la distribution spatiale des cas d'infection à *Salmonella* Enteritidis dans les élevages de poules pondeuses afin d'observer d'éventuels phénomènes de diffusion entre élevages. C'est la première fois qu'une telle étude est réalisée en France. L'analyse spatiale a montré que seule l'année 2005 présentait une tendance globale à l'agrégation et seulement quatre agrégats locaux ont été identifiés sur l'ensemble de la période.

Deux méthodes statistiques complémentaires ont été utilisées, la fonction K qui permet de détecter une tendance globale à l'agrégation et le scan spatial qui permet d'identifier des agrégats locaux. Si aucune organisation spatiale significative n'est détectée par la fonction K, cela suggère que, globalement, les cas sont répartis aléatoirement sur le territoire, mais sans pouvoir exclure l'existence de phénomènes locaux d'agrégation. C'est précisément ce qui a été observé pour les années 2008 et 2009.

L'analyse de la distribution spatiale des cas d'infection permet également l'identification de zones à risque, signaux d'alerte justifiant la réalisation d'enquêtes locales sur les facteurs possibles de diffusion. Notamment, deux des quatre agrégats détectés étaient localisés dans la Drôme, zone la plus fortement touchée par les infections. Ce département fait d'ailleurs l'objet d'un plan de lutte renforcé depuis 2010. Une analyse spatiale sur des données plus récentes permettrait d'évaluer l'efficacité des mesures spécifiques mise en place dans cette zone.

Bien que l'existence d'une diffusion n'ait pas été directement prouvée, la proximité temporelle des cas de l'agrégat de 2005 suggère une contamination à partir d'une source d'infection ponctuelle commune. Les agrégats identifiés en 2008 et 2009, plus étalés dans le temps, laisseraient plutôt penser à une transmission d'élevage à élevage et/ou à une contamination de l'environnement.

Parmi les limites de l'étude, un manque d'homogénéité des données a été observé, lié au nombre important d'acteurs participant à leur collecte. Ce point a fait l'objet de mesures correctives au niveau des services officiels de contrôle. D'autre part, l'analyse ne permet pas de tenir compte de la diversité des facteurs extérieurs pouvant favoriser la diffusion de la contamination (conditions climatiques, camions de livraison, nuisibles, intervenants extérieurs...) et de ses réservoirs (autres types d'élevage).

En conclusion, de telles analyses spatiales, reconduites régulièrement, pourraient aider à évaluer et faire évoluer les mesures de police sanitaire fixées par la réglementation nationale et mises en place par les éleveurs de volailles, dès la suspicion d'infection à *Salmonella* Enteritidis ou Typhimurim, afin de limiter la diffusion de ces salmonelles depuis le troupeau suspect ou infecté vers l'environnement et d'autres élevages. Il serait aussi intéressant d'étudier les génotypes des cas d'infection faisant l'objet d'une suspicion de diffusion d'infection afin de mieux mettre en évidence le phénomène.

Références bibliographiques

- Dixon, P., 2012. Ripley's K-function. In: El-Shaarawi AH, Piergorsch WW (Eds.). The Encyclopedia of envirometrics, 2nd edn. John Wiley & Sons Ltd, New York, 1976-1803.
- EFSA, ECDC. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreak in 2009. EFSA Journal 2011; 9(3): 2090. 378p. DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2090.
- Kuldorf, M., 1997. A spatial scan statistic. Commun. Stat. Theory. 26(6), 1481-1496.
- Ngowi, H.A., Kassuku, A.A., Carabin, H., Mlangwa J.D.E., Mlozi, M.R.S., Mbilinyi, B. P., Willingham III, A. L. 2010. Spatial clustering of porcine cysticercosis in Mbulu district, northern Tanzania. Plos Negl. Trop. Dis. 4(4): e652. DOI: 10.1371/journal.pntd.0000652.
- Règlement (CE) n°2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire. JO L 325. 2003; p1-15.