



HAL
open science

Observance des mesures de biosécurité dans les élevages de volailles français : pratiques et attitudes

Mattias Delpont

► **To cite this version:**

Mattias Delpont. Observance des mesures de biosécurité dans les élevages de volailles français : pratiques et attitudes. Sciences agricoles. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2021. Français. NNT : 2021INPT0044 . tel-04170665

HAL Id: tel-04170665

<https://theses.hal.science/tel-04170665v1>

Submitted on 25 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Institut National Polytechnique de Toulouse (Toulouse INP)

Discipline ou spécialité :

Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition

Présentée et soutenue par :

M. MATTIAS DELPONT

le jeudi 8 avril 2021

Titre :

Observance des mesures de biosécurité dans les élevages de volailles
français: pratiques et attitudes

Ecole doctorale :

Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingénieries (SEVAB)

Unité de recherche :

Interactions Hôtes - Agents Pathogènes (IHAP)

Directeur(s) de Thèse :

MME MATHILDE PAUL

Rapporteurs :

M. ALBERTO ALLEPUZ, UNIVERSITE DE BARCELONE

Membre(s) du jury :

MME CHRISTINE FOURICHON, ONIRIS - NANTES, Président

M. JEAN-LUC GUERIN, ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE, Membre

M. JEAN-PIERRE VAILLANCOURT, UNIVERSITE DE MONTREAL, Membre

MME CLAIRE CHAUVIN, AGENCE NATIONALE DE SECURITE SANITAIRE, Membre

MME MATHILDE PAUL, ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE, Membre

OBSERVANCE DES MESURES DE BIOSECURITE DANS LES ELEVAGES DE VOLAILLES FRANÇAIS : PRATIQUES ET ATTITUDES

REMERCIEMENTS

Aux membres du Jury, pour avoir accepté d'évaluer ce projet : Christine Fourichon (rapporteuse), Alberto Allepuz (rapporteur), Claire Chauvin (examinatrice), Jean-Luc Guérin (examineur), Jean-Pierre Vaillancourt (examineur) et Mathilde Paul (directrice de thèse).

Aux membres du comité de thèse, pour avoir accepté de suivre ce projet.

A Mathilde Paul, qui a dirigé cette thèse, pour son implication et le plaisir d'avoir travaillé avec quelqu'un de dynamique et de chaleureux.

Jean-Luc Guérin, pour sa supervision bienveillante, et sans qui le projet de Chaire de Biosécurité Aviaire n'aurait jamais vu le jour.

Jean-Pierre Vaillancourt, pour sa supervision, localement et outre-atlantique, pour le recul qu'il sait donner aux situations et projets.

André Durivage, pour sa disponibilité et son implication sur les aspects de psychologie de ce travail.

Manon Racicot, pour les conseils avisés donnés tout au long de cette thèse, en particulier pour la rigueur à appliquer sur les aspects de rédactions scientifiques.

Aux stagiaires que j'ai pu encadrer dans le cadre de ce projet et qui ont pleinement participé à la collecte et l'analyse des données : Lucie Fornili, en particulier, mais aussi Aurélia Payot, Diane Jouglu, Luc Robertet, Pierrick Bolon, Bastien Pradel, Yves Deleforterie et d'une manière général tous les étudiants vétérinaires qui m'ont accompagné en élevage.

Aux collègues de l'ENVT (difficile de tous les nommer), pour leurs apports directs autant qu'indirects, sur des aspects scientifiques ou non. C'est un réel plaisir de travailler dans un tel environnement.

Aux éleveurs et représentants des organisations d'éleveurs, qui ont accepté de consacrer du temps à ce projet et de nous recevoir en élevage. C'est leur participation et leur hospitalité qui a donné à ce projet tout son intérêt.

Aux membres de l'interprofession des palmipèdes à foie gras, en particulier Marie Laborde, pour leur avis, la confiance qu'ils ont eue en ce projet, et à l'aide qu'ils nous ont donné pour engager les éleveurs dans les différentes étapes du projet.

Aux membres des services de l'état, aux différentes échelles : Direction Générale de l'Alimentation, Services régionaux de l'alimentation et Directions Départementales en charge de la Protection des populations.

A ma famille et à mes amis, pour le soutien au quotidien. Ils se reconnaîtront.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	5
Index des figures	11
Index des tableaux.....	11
Index des annexes	11
Introduction.....	13
1. Enjeux associés à la biosécurité en élevage de volailles.....	17
1.1. Principes de biosécurité	19
1.1.1. Définition	19
1.1.2. Cycle de transmission d'un agent pathogène et pratiques de biosécurité	20
1.1.3. Un élevage défini en zones.	21
1.1.4. Diminution de la pression d'infection.....	22
1.2. Spécificités des filières avicoles françaises au regard des enjeux de biosécurité.....	22
1.2.1. Répartition spatiale des filières avicoles en France métropolitaine.....	22
1.2.2. Organisation pyramidale et fonctionnement en bandes.....	25
1.2.3. Transport de volailles	26
1.2.4. Epidémies d'influenza aviaire en France entre 2015 et 2017 et évolution de la réglementation sur la biosécurité.....	27
1.3. Bénéfices attendus de la biosécurité	31
1.3.1. Pratiques de biosécurité et statut sanitaire des exploitations	31
1.3.2. Coût de la biosécurité et retour sur investissement.....	35
1.3.3. Bilan sur les preuves de l'utilité de la biosécurité.....	35
1.4. Déterminants de l'observance de la biosécurité.....	38
1.4.1. Le constat de marges de progrès dans l'observance des mesures de biosécurité	38
1.4.2. Les déterminants de l'observance	40
1.5. Questions de recherche et objectifs scientifiques	46
2. Evaluation de la biosécurité en élevages de volailles : une approche à l'échelle du territoire national, via l'analyse des rapports d'inspection officielle	47
2.1. Contexte, objectifs et problématique	49
2.2. Méthode	49
2.3. Résultats	50
2.4. Discussion et perspectives.....	51
2.4.1. Echantillonnage et fiabilité des données de biosécurité	51

2.4.2.	Disparités géographiques des pratiques de biosécurité : culture et historique sanitaire ?	53
2.4.3.	Des marges de progrès identifiées.....	54
2.4.4.	Prise en compte des résultats d'inspections dans les stratégies de ciblage des inspections de biosécurité	54
2.4.5.	Utilisation des données d'inspections pour étudier les facteurs de risque de contamination par l'influenza aviaire de sous-type H5N8	55
2.5.	Article 1.....	55
3.	Evaluation de la biosécurité en élevages de volailles : Etat des lieux à l'échelle de la filière des palmipèdes à foie gras du Sud Ouest, avant la survenue des épidémies d'influenza aviaire de 2015-2017	81
3.1.	Contexte, objectifs et problématique	83
3.2.	Méthode	83
3.3.	Résultats	84
3.4.	Discussion	85
3.4.1.	Echantillonnage et originalité de la population d'étude.....	86
3.4.2.	Données récoltées et observance effective des pratiques	86
3.4.3.	Pratiques de biosécurité et contraintes d'élevage	86
3.4.4.	Des failles de biosécurité identifiées.....	87
3.5.	Article 2.....	87
4.	Etude des déterminants de l'observance des pratiques de biosécurité en élevage de canards prêts-à-engraisser.....	99
4.1.	Contexte, objectifs et problématique	101
4.2.	Méthode	101
4.3.	Résultats	103
4.3.1.	Respect des mesures de biosécurité.....	103
4.3.2.	Caractérisation des profils psycho-sociaux d'éleveurs	103
4.4.	Discussion	104
4.4.1.	Evaluation des pratiques de biosécurité et élevage en plein-air.....	104
4.4.2.	Respect des pratiques de biosécurité	105
4.4.3.	Déterminants de l'observance	105
4.5.	Article 3.....	107
5.	Discussion générale.....	119
5.1.	Enjeux liés à l'évaluation de l'observance des pratiques de biosécurité	121

5.1.1.	Vers de nouveaux moyens pour évaluer l'observance de la biosécurité en élevage	121
5.1.2.	La nécessité d'adapter les méthodes d'analyse des pratiques de biosécurité aux objectifs recherchés	123
5.2.	Enjeux liés aux facteurs influençant l'observance de la biosécurité	125
5.3.	Pistes de réflexion pour la mise en place d'interventions visant à améliorer les pratiques de biosécurité en élevage.	126
5.3.1.	Prendre en compte le fait que les éleveurs constituent un groupe hétérogène	126
5.3.2.	Choix du contenu de l'intervention	127
5.3.3.	Choix du moyen d'administration de l'intervention	130
5.3.4.	Evaluation de l'efficacité de l'intervention	130
Conclusion		132
Bibliographie		134
Publications et communications orales		159
Annexes		162
Résumé		193



INDEX DES FIGURES

Figure 1. Identification des flux et voies de transmission potentielles d'agents pathogènes dans un élevage de canards prêts-à-engraisser.	21
Figure 2. Présentation schématique des zones au sein d'une exploitation de volailles de plein-air composée d'une seule unité de production.	22
Figure 3. Densité en élevages de volailles (toutes espèces confondues) en France métropolitaine, par kilomètre carré.	25
Figure 4. Carte des cas d'IAHP en France déclarés au 30 juin 2016.....	28
Figure 5. Carte des foyers d'IAHP H5N8 déclarés en France entre le 28 novembre 2016 et le 23 mars 2017.....	29
Figure 6. Observance de la biosécurité dans des sas sanitaires d'élevages de volailles au Canada à court et moyen terme, pour deux types d'interventions.....	40
Figure 7. Principaux déterminants de l'observance de la biosécurité.	41
Figure 8. Moyens de communication plébiscités par les éleveurs pour recevoir des informations sur la biosécurité	129
Figure 9. Confiance accordée à différentes sources, au sujet de la biosécurité.....	130

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. Types de mesures de biosécurité classiquement associées à la biosécurité externe et la biosécurité interne.	20
---	----

INDEX DES ANNEXES

Annexe 1. Grille d'inspection publiée dans l'instruction technique DGAL/SDSPA/2017-756 du 22 septembre 2017.	162
Annexe 2. Questionnaire des connaissances et attitudes utilisé dans l'étude sur les déterminants de l'observance de la biosécurité en élevage de canards prêts-à-engraisser	167
Annexe 3. Questionnaire d'évaluation des pratiques de biosécurité dans l'étude de l'observance de la biosécurité en élevage de canards prêts-à-engraisser	176
Annexe 4. Questionnaire d'évaluation de l'intervention sur les pratiques de biosécurité en élevages de canards prêts-à-engraisser	190

INTRODUCTION

La biosécurité est l'un des principaux outils de prévention des infections en élevage. Elle implique un ensemble complexe de mesures routinières et d'installations adaptées. La biosécurité en élevage est le plus souvent évaluée par des questionnaires et des entretiens avec les éleveurs, et un écart entre les pratiques rapportées par les éleveurs et les pratiques réelles est souvent observé (Nespeca et al. 1997). La bonne observance des mesures de biosécurité - c'est-à-dire le respect des recommandations - est un enjeu pour la protection sanitaire des élevages. La bonne compréhension des facteurs qui l'influencent est par ailleurs nécessaire afin d'orienter les actions visant à l'améliorer.

L'application des mesures de biosécurité est bénéfique dans différents contextes. Tout d'abord, la biosécurité en élevage permet de protéger la santé des animaux d'élevage et s'intègre dans le concept « d'une seule santé » (One Health), à savoir la gestion conjointe de santé animale et de la santé humaine (EFSA, ECDPC 2019 ; WHO 2017). En effet, la biosécurité permet de réduire la transmission des agents zoonotiques (ex : virus de l'influenza aviaire de la lignée A/goose/Guandong/1/96) (Gonzales et al. 2017), dont les agents de toxi-infections alimentaires collectives (ex : *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*) (Koutsoumanis et al. 2020 ; 2019). En outre, la biosécurité contribue à prévenir les infections bactériennes et virales, pour lesquelles il n'existe pas de traitement ou de vaccin (ex : apparition d'un nouveau variant d'un virus, échappant ainsi à la protection vaccinale, comme c'est le cas de la bronchite infectieuse en production de poules et de poulets), ou pour lesquelles la vaccination est proscrite (ex : influenza aviaire) (Gonzales et al. 2017). En outre, certaines maladies infectieuses sont multifactorielles (affections digestives complexes comme le complexe entéritique du dindonneau, ou les troubles respiratoires des jeunes bovins en engraissement) ou d'étiologie incertaine, et il faut avoir recours à des moyens de prévention peu spécifiques, tels que les mesures de biosécurité. Par ailleurs, la biosécurité doit permettre de réduire le coût associé aux maladies en élevage, y compris pour les affections sub-cliniques dont les répercussions peuvent - par définition - passer inaperçues, mais qui ont un impact important sur les performances et coûts de production des animaux (Steenefeld et al. 2020 ; Halasa et al. 2007 ; Alarcon et al. 2013). Enfin, la biosécurité fait partie des leviers d'actions envisagés pour lutter contre l'antibiorésistance (Laanen et al. 2013 ; Postma et al. 2017 ; Rojo-Gimeno et al. 2016). A l'échelle française, les plans Ecoantibio (DGAI 2019c ; 2019a), qui ont été mis en place par le gouvernement pour atteindre des objectifs de diminution de la consommation d'antibiotiques dans les différentes filières de productions animales, incluent des éléments liés à la biosécurité.

Les moyens utilisés pour évaluer la biosécurité en élevage sont divers, mais ils très souvent basés sur des dires d'éleveur. Pour diverses raisons, incluant le satisfaire son interlocuteur en donnant les réponses qu'il pense être attendues, l'éleveur est susceptible de donner des informations sur ses pratiques de biosécurité qui sont en décalage avec la réalité (Nespeca et al. 1997). Dans ce contexte, la manière de poser des questions mais aussi l'utilisation d'informations supplémentaires, émanant d'autres sources, comme par exemple des

observations directes, sont primordiales pour mieux apprécier l'observance de la biosécurité en élevage.

Les études évaluant l'observance de la biosécurité en élevage mettent en évidence, dans différents pays et pour différentes espèces, une hétérogénéité des pratiques, certaines mesures étant mieux ou moins bien respectées que d'autres (Delabbio et al. 2004 ; Schemann et al. 2011 ; Brennan, Christley 2012 ; Backhans et al. 2015 ; Van Limbergen et al. 2018 ; Racicot et al. 2011). Par ailleurs, outre le décalage entre les consignes de biosécurité et leur application effective, ces études révèlent aussi une hétérogénéité (entre élevages) dans l'application des mesures de biosécurité. En effet, des éleveurs produisant les mêmes espèces présentent des niveaux variables d'observance de la biosécurité. L'objectivation des failles et de l'hétérogénéité des pratiques permet dans un second temps d'explorer les facteurs matériels, psychologiques et sociaux expliquant pourquoi les pratiques sont, en fonction du contexte, respectées ou non (Ritter et al. 2017). La connaissance des failles de biosécurité et de ses déterminants permet alors d'adapter et d'optimiser l'efficacité des interventions visant à améliorer l'observance (Kok et al. 2016).

En France, des épidémies d'Influenza Aviaire Hautement Pathogène (IAHP) ont sévèrement touché les filières de production de volailles à deux reprises, entre 2015 et 2016, puis entre 2016 et 2017. L'impact économique de ces deux crises a été estimé à 250 et 500 millions d'euros respectivement (CIFOG, communication personnelle). Les investigations de terrain et les études scientifiques ont mis en évidence la présence de failles dans les mesures de biosécurité appliquées dans les filières de palmipèdes à foie gras aussi bien que dans les autres filières de production de volailles, et donc la nécessité de faire évoluer les pratiques (Le Bouquin et al. 2016 ; Guinat, Nicolas, et al. 2018 ; Cauchard et al. 2017 ; Bronner et al. 2017). Les mesures de biosécurité ont ainsi fait l'objet d'un encadrement réglementaire strict en France avec l'entrée en vigueur de l'Arrêté ministériel du 8 février 2016, « relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire » (DGAI 2016a). Il prévoit que les éleveurs doivent établir un plan de biosécurité basé sur une analyse du risque prenant en compte les spécificités de l'exploitation, en s'aidant des guides de bonnes pratiques (ITAVI 2016) et avec l'appui de leur encadrement technico-sanitaire (vétérinaires, techniciens, etc.).

Dans un contexte sanitaire exigeant une amélioration de l'observance des mesures de biosécurité, ce travail a eu pour objectif d'évaluer le plus finement possible les pratiques de biosécurité dans les élevages de volailles français, en particulier de canards prêts-à-engraisser du Sud-Ouest, dans le but de mieux comprendre les facteurs techniques et psycho-sociaux à l'origine des comportements de biosécurité des éleveurs.

Dans une première partie, bibliographique, nous présenterons les enjeux associés à la biosécurité en élevages avicoles. Nous définirons tout d'abord les principales caractéristiques des filières avicoles françaises. Ensuite, nous présenterons les principales composantes de la biosécurité en élevage, et les particularités des élevages au regard de cet enjeu. Puis, nous détaillerons les bénéfices attendus des mesures de biosécurité, avec un intérêt particulier pour les agents pathogènes susceptibles d'infecter les volailles. Enfin, après avoir fait le

constat de failles dans l'observance de la biosécurité, nous dresserons l'état des connaissances sur les déterminants psycho-sociaux de l'observance de la biosécurité.

La seconde partie de la thèse sera consacrée à la présentation des travaux de recherche. Une première étude a porté sur l'analyse, à l'échelle du territoire national, des pratiques de biosécurité à partir des inspections officielles conduites en élevage de volailles entre 2016 et 2018. La suite des travaux s'intéresse plus spécifiquement à la filière palmipèdes gras. Après avoir présenté les résultats d'une enquête visant à produire un état des lieux des pratiques dans les différents types d'élevage du Sud-Ouest avant la crise de 2016-2017, nous avons cherché à mieux comprendre les déterminants psycho-sociaux associés à l'observance des mesures de biosécurité.

Enfin, dans la dernière partie de cette thèse, nous reviendrons sur les différents résultats obtenus pour mettre en perspective les grands enjeux associés à l'évaluation de la biosécurité, et proposer des pistes de réflexions pour la construction d'interventions visant à modifier les pratiques en élevage.

1. ENJEUX ASSOCIES A LA BIOSECURITE EN ELEVAGE DE VOLAILLES

1.1. Principes de biosécurité

1.1.1. Définition

La biosécurité peut être définie comme *un ensemble de mesures physiques et de gestion, qui visent à réduire le risque d'introduction, de persistance et de diffusion de maladies animales (infection ou infestations), vers et depuis une population animale* (OIE 2019).

La biosécurité consiste en l'application d'un ensemble de mesures physiques. Cela signifie tout d'abord qu'il faut dans un premier temps prendre en compte la capacité des installations à atteindre les objectifs de protection sanitaire : par exemple, la division de zones de statuts sanitaires différents dans un élevage, ou la capacité des matériaux d'un bâtiment à être nettoyés.

La biosécurité consiste aussi en un ensemble de mesures de gestion, ce qui inclut aussi des pratiques qui permettent d'atteindre les objectifs sanitaires : il peut s'agir par exemple de changer de tenue, ou de mettre en place et adapter un plan de lutte contre les rongeurs.

La biosécurité externe désigne les mesures visant à réduire le risque d'introduction d'un agent pathogène dans un élevage (bioexclusion) ou de dissémination à d'autres élevages (bioconfinement). La biosécurité interne (ou biocompartimentation) désigne quant à elle les mesures visant à séparer les zones de statut sanitaire différent au sein d'un élevage. Les types de mesures de biosécurité classiquement associées à la biosécurité interne et la biosécurité externe sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Types de mesures de biosécurité classiquement associées à la biosécurité externe et la biosécurité interne.

<p>Biosécurité externe</p> <ul style="list-style-type: none">- Localisation de l'élevage (proximité d'autres exploitations et d'environnements à risque)- Contrôle du statut sanitaire des animaux introduits dans l'élevage- Maîtrise des flux – et du statut sanitaire - des véhicules servant au transport des animaux vivants, des cadavres et des fumiers/lisiers- Maîtrise des sources d'aliment, de l'eau, de la litière et de l'équipement en contact avec les animaux- Maîtrise des flux de personnes : propriétaire, employés et visiteurs- Protection contre les nuisibles (rongeurs, insectes) et la faune sauvage
<p>Biosécurité interne</p> <ul style="list-style-type: none">- Gestion des animaux malades- Conduite en bande-unique- Définition de compartiments au sein de l'élevage- Maîtrise des flux de personnes, animaux, matériels, véhicules, matières premières et sous-produits entre les compartiments- Mesures de nettoyage et désinfection, et durée du vide sanitaire

1.1.2. Cycle de transmission d'un agent pathogène et pratiques de biosécurité

La transmission des agents pathogènes peut être conceptualisée selon différents modèles. On peut ainsi symboliser une « chaîne d'infection », que la biosécurité contribuera à briser, au niveau de six maillons : l'agent pathogène, l'hôte susceptible, la porte d'entrée, la transmission, la porte de sortie et le réservoir (Vaillancourt, Carver 1998). L'agent pathogène, en quantité suffisante, doit rencontrer un hôte susceptible via une porte d'entrée qui dépend de ses propriétés (ex : par ingestion pour *Salmonella enterica*). Pour atteindre l'hôte, l'agent pathogène doit être transmis (ex : de manière indirecte, par de l'aliment contaminé, comme cela peut être le cas pour *Salmonella enterica*). Après infection, l'agent pathogène peut quitter son hôte (ex : par voie fécale pour *Salmonella enterica*) et se retrouver dans un réservoir, soit une surface inerte (la litière, dans cet exemple) ou un réservoir animal (des rongeurs, dans cet exemple). Un autre type de système de représentation est celui du « cercle de transmission des maladies » (traduction de l'anglais de « circle of disease transmission ») qui présente cinq différentes étapes qui contribuent à une infection (Dunowska 2018).

Pour définir les mesures de biosécurité à mettre en œuvre dans un élevage, il convient de faire le bilan des moyens de transmission d'agents pathogènes. Pour illustration, la Figure 1 recense les moyens de transmission d'agents pathogènes dans un élevage de canards prêts-à-engraisser (ou prêts-à-gaver). Ils sont très nombreux et présentent des niveaux de risque variables selon les situations (propriétés biologiques des agents pathogènes, espèces élevées, modes de production, contexte sanitaire). L'évaluation du risque et la priorisation des actions de contrôle au sein du plan de biosécurité est complexe, et nécessite pour l'éleveur un encadrement technique et sanitaire adapté.

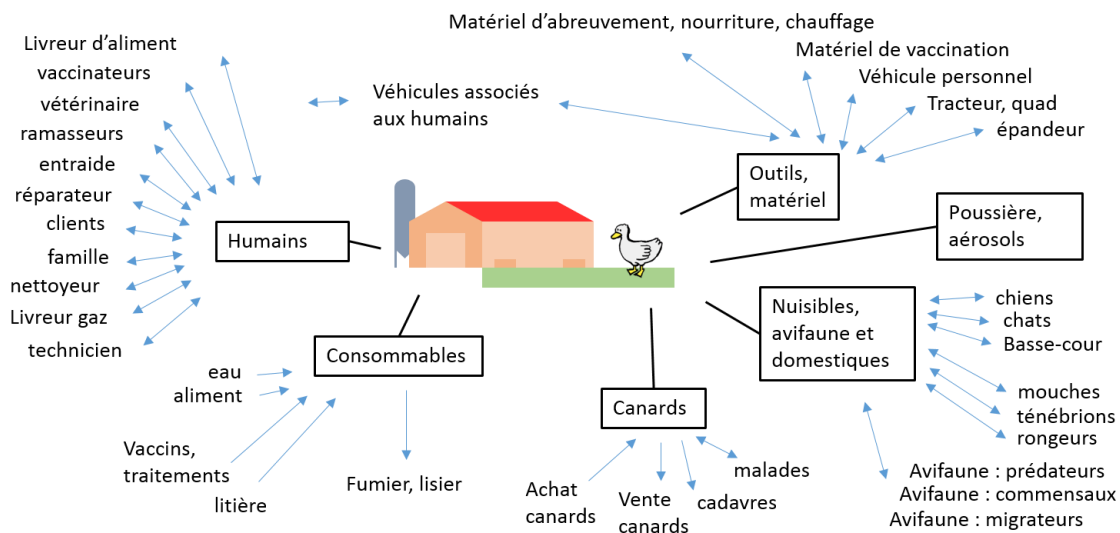


Figure 1. Identification des flux et voies de transmission potentielles d'agents pathogènes dans un élevage de canards prêts-à-engraisser.

1.1.3. Un élevage défini en zones.

Un des piliers de la biosécurité est la constitution de zones de statut sanitaire différent au sein de l'élevage. L'efficacité des mesures de biosécurité se traduit par la capacité à maîtriser les risques de contamination inhérents aux flux (animaux domestiques ou sauvages, personnes, matériels, matières premières et sous-produits) entre ces zones. Selon les réglementations et les guides de bonne pratique, ces zones peuvent porter différents noms, mais partagent les mêmes principes. Dans la suite de ce manuscrit, puisque nous nous intéresserons au cas des volailles, nous emprunterons les termes répandus par les guides de biosécurité de l'Institut Technique de l'Aviculture, la Cuniculture et la Pisciculture (ITAVI) et la réglementation sanitaire française sur la biosécurité dans les élevages avicoles, à partir de 2016 (ITAVI 2016 ; DGAI 2016a).

Une schématisation des différentes zones au sein d'un élevage est proposée dans la Figure 2. On distingue au sein des élevages, en-deçà de la zone publique (ZP), une zone professionnelle (ZPro) dans laquelle ne rentrent que les intervenants et matériels indispensables au fonctionnement de l'élevage (comme les engins agricoles ou les camions de livraison de matières premières). La zone professionnelle contient une ou plusieurs unités de production (UP) qui correspondent aux zones d'élevage à proprement parler, qui contiennent les animaux d'élevage (ainsi que les bâtiments d'élevages et les parcours de plein-air, le cas

échéant). Chaque groupe d'animaux de même statut sanitaire – ou « bande » (même espèce, âge équivalent, même date d'entrée dans l'exploitation) occupe en principe une UP séparée. Pour sécuriser les flux entre zones, des zones de franchissements sont définies. En particulier, le franchissement entre la zone professionnelle et l'unité de production, pour les personnes, se produit au niveau du sas sanitaire. Ce sas sanitaire doit garantir à chaque franchissement, l'absence de contamination par des agents pathogènes sur les mains, tête, vêtements et chaussures des personnes. Cela se traduit classiquement par un lavage des mains, un changement de bottes et de tenue.

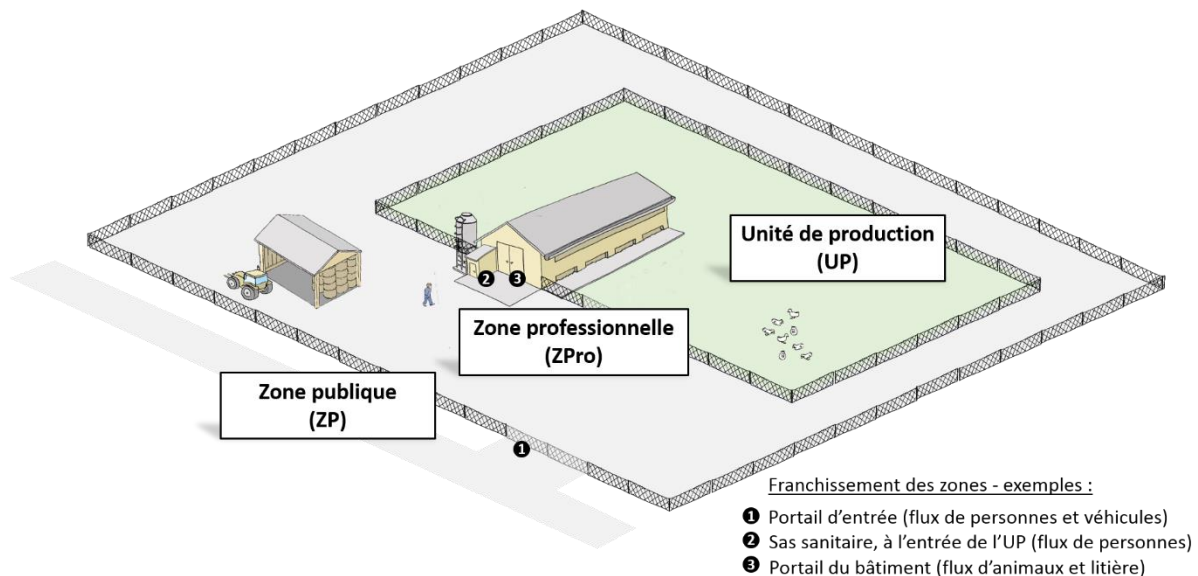


Figure 2. Présentation schématique des zones au sein d'une exploitation de volailles de plein-air composée d'une seule unité de production.

1.1.4. Diminution de la pression d'infection.

Un autre pilier de la biosécurité en élevage est la diminution de la charge infectieuse au cours des opérations de décontamination. La décontamination commence, en l'absence des animaux, par le retrait de la matière organique, qui correspond généralement aux litières usagées. Cette opération est ensuite complétée par un nettoyage des surfaces à l'aide d'un détergent. Une fois le nettoyage terminé, une ou plusieurs opérations de désinfection peuvent menées. On désigne par vide sanitaire la durée qui sépare la désinfection de la remise en place des animaux d'élevage dans l'espace considéré.

1.2. Spécificités des filières avicoles françaises au regard des enjeux de biosécurité

1.2.1. Répartition spatiale des filières avicoles en France métropolitaine

Les productions de volailles française occupent une place importante à l'échelle européenne. La France est le premier producteur européen d'œufs de consommation, avec 13,6 milliard d'œufs produits en 2018. De plus, la France est le troisième pays producteur de viande de volailles en Europe, derrière la Pologne et le Royaume uni, avec 1,79 millions de tonnes

produites en 2018. Elle produit principalement du poulet de chair (1,19 millions de tonnes), puis de la dinde (0,23 millions de tonnes), puis du canard (0,23 millions de tonnes, dont 56% de canards gras) et de la pintade (33 200 tonnes) (FranceAgriMer 2020). En outre, la France est le premier producteur mondial de foie gras, avec 17 400 tonnes produites en 2019.

Les bassins de production de volailles sont représentés dans la Figure 3, dans laquelle on distingue des densités d'élevage importantes dans le Grand-Ouest (53% des surfaces d'élevage), le Sud-Ouest (13% des surfaces d'élevage), et la vallée du Rhône et de la Saône (FranceAgriMer 2020). Cette structuration spatiale résulte en des niveaux de risque sanitaire variés. La proximité entre élevages est classiquement présentée comme un facteur de risque important de dissémination d'agents pathogènes (Evans, Sayers 2000 ; Garber et al. 2016 ; Kim et al. 2018 ; Nishiguchi et al. 2007 ; Snow et al. 2010). En lien avec la densité d'élevages, la proximité des élevages de volailles avec des abattoirs peut aussi être reliée avec le risque infectieux (Duvauchelle et al. 2013). Les différents bassins de production présentent des caractéristiques différentes en termes d'espèces de volailles élevées, mais aussi de modes d'élevage. Cette juxtaposition d'espèces et systèmes variés peut faciliter la propagation d'agents pathogènes. Le bassin Grand-Ouest concentre et superpose les élevages de poules pondeuses, de poulets de chair et de canard à rôti, et dans une moindre mesure de canards à foie-gras (FranceAgriMer 2020). Ainsi, les populations de canards du Grand-Ouest ont pu jouer un rôle de réservoir dans les infections à influenza aviaire non réglementées de sous-type H6 chez les dindes (Corrand et al. 2012). Le bassin Sud-Ouest quant-à-lui présente la particularité d'être le premier bassin de production de palmipèdes à foie gras (en France, et par extension dans le monde) et consacre une part importante de sa production de volailles de chair à des systèmes sous signe de qualité (Label Rouge, Agriculture Biologique). Le Nord et la région Rhône-Alpes ont des effectifs de volailles plus faibles que dans les bassins Grand-Ouest et Sud-Ouest et consacrent une place importante à la production d'œufs de consommation (respectivement 10% et 9% des effectifs français de poules pondeuses). Les bassins de production et les filières associées n'ont pas connu le même développement. Cet historique a un impact direct sur l'âge des bâtiments utilisés. Si l'on compare les filières, en 2004, l'âge moyen des bâtiments de poulettes était de 25,2 ans alors qu'il était de 15,8 et 16,0 pour les bâtiments de canards prêts-à-engraisser et de volailles de chair avec parcours, respectivement (Agreste 2008). L'âge des bâtiments peut avoir une influence sur la capacité à y appliquer les mesures de biosécurité : l'efficacité de leur décontamination dépend de l'état des surfaces, et les plus anciennes générations de bâtiments n'ont pas été nécessairement conçues en phase avec les principes de biosécurité.

Une évolution importante des filières avicoles françaises est le développement des productions sous signe de qualité (Label Rouge, Bio, etc.), associées à un élevage en plein-air, en particulier dans le bassin Sud-Ouest. Ce développement est poussé par une forte demande sociétale (La volaille française 2018). Dans la filière des œufs de consommation, la part des modes alternatifs (qui incluent les œufs issus de poules élevées en plein air, dont les codes sont 0 et 1) est passée de 15% à 39% entre 2001 et 2018 (FranceAgriMer 2020). L'accroissement du nombre d'élevages de volailles de plein-air fait émerger des nouveaux défis en termes de biosécurité, avec le risque de transmission d'agents pathogènes depuis et

vers l'avifaune sauvage. L'avifaune sauvage peut aisément franchir les clôtures, voyager sur de longues distances et a biologiquement des chances importantes de partager le même répertoire d'agents infectieux que les volailles. En particulier, les palmipèdes sauvages, migrateurs, sont décrits comme réservoir et propagateur d'influenza aviaire sur de longues distance (Swayne et al. 2020 ; The Global Consortium for H5N8 and Related Influenza Viruses 2016). La proximité des élevages de volailles avec des lieux de rassemblement d'avifaune sauvage a été par ailleurs décrite comme facteur de risque d'infection par les virus influenza aviaire. En France, des zones écologiques présentant un risque particulier vis-à-vis de l'infection de l'avifaune par un virus IAHP sont définies réglementairement et se superposent à des bassins importants de productions de volailles, en particulier les départements proches de la côte atlantique, et la vallée du Rhône et de la Saône. Dans les élevages de plein-air, des mesures de biosécurité visent à limiter le risque d'infection par l'avifaune sauvage : confinement des volailles à l'intérieur des bâtiments si le niveau de risque est élevé (par exemple pendant les mois de novembre à janvier dans les couloirs de migration d'avifaune sauvage), absence de distribution d'aliment sur parcours, drainage et entretien du parcours dans le but d'éviter la formation de flaques et désinfection (le plus souvent à la chaux vive) des zones du parcours les plus à risque d'être contaminée (zone la plus proche des bâtiments, abords des abreuvoirs et mangeoires à l'extérieur). Dans certains cas, des mesures d'effarouchement de l'avifaune sauvage sont mises en œuvre.

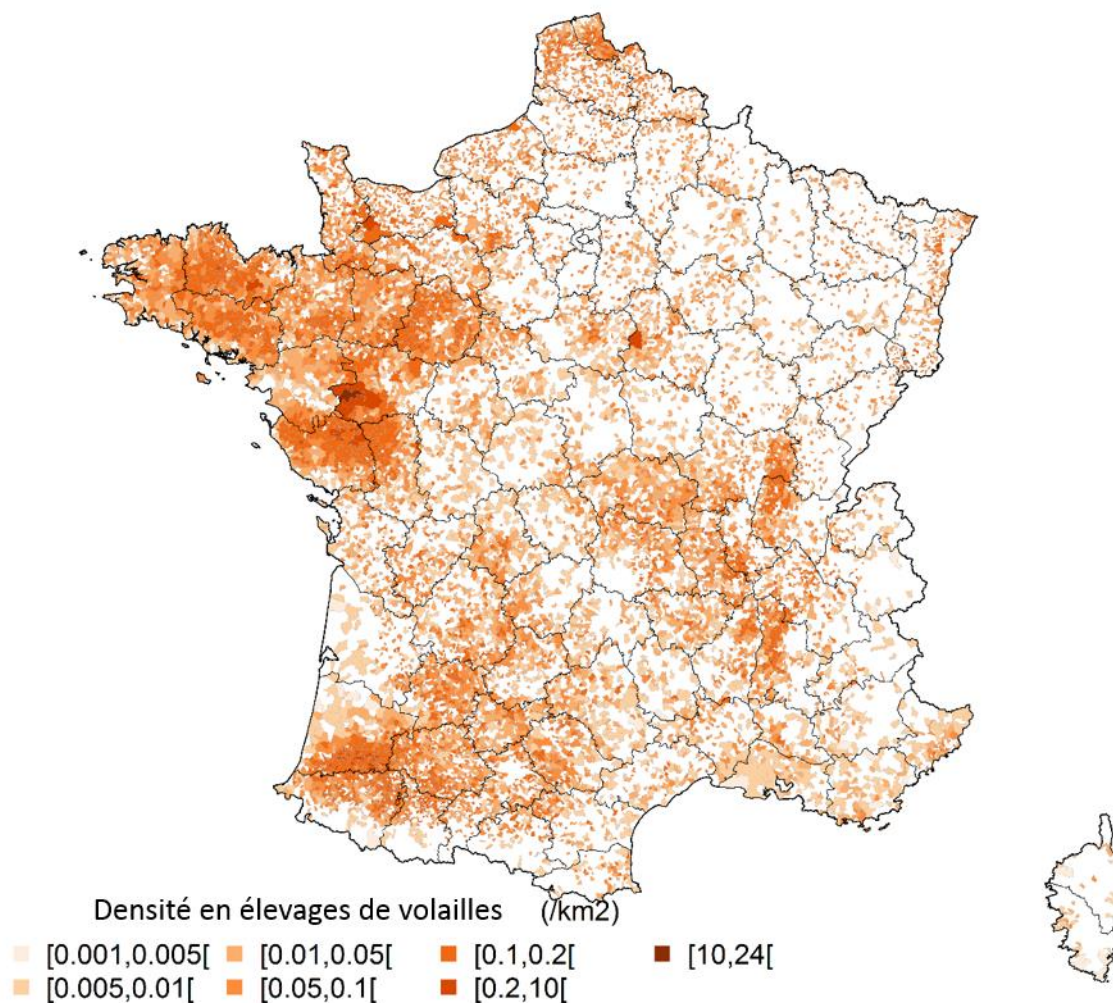


Figure 3. Densité en élevages de volailles (toutes espèces confondues) en France métropolitaine, par kilomètre carré (données issues de la base SIGAL et du CIFOG).

1.2.2. Organisation pyramidale et fonctionnement en bandes

L'organisation pyramidale des filières avicoles est associée à des enjeux de biosécurité spécifiques.

Les filières avicoles étant étagées, une attention particulière est donnée au statut sanitaire des œufs à couvrir et *in fine* des poussins d'un jour. Les mesures de biosécurité chez les lots reproducteurs, visent à éviter la contamination interne des œufs-à-couvoir donc la contamination des animaux reproducteurs (maladies à transmission verticale) et la contamination en surface des œufs par des matières fécales (transmission pseudo-verticale). En élevages de reproducteurs comme au couvoir, pour minimiser les risques de contamination par les humains, il est courant d'imposer une période sans exposition à des volailles avant d'entrer dans l'exploitation, ainsi qu'une douche associée à un changement intégral de tenue. En élevage, les pratiques de biosécurité liées au caractère pyramidal des filières sont celles qui ont trait à la réception des volailles d'un jour : gestion des flux de véhicules de transport de volailles d'un jour et respect du franchissement des zones (sas sanitaires) par le personnel qui les décharge.

L'organisation pyramidale des filières avicoles favorise l'élevage des volailles en bandes du même âge, de par la séparation des activités de sélection, multiplication et de production, permise notamment par le recours à l'incubation artificielle en couvoir. On parle parfois de systèmes en « tout-plein / tout-vide » – qui garantissent une arrivée et un départ groupé des volailles. Après le départ de la bande, une période de décontamination est menée et suivie d'un vide sanitaire pendant lequel la pression infectieuse est drastiquement réduite dans l'unité de production. C'est le schéma le plus classique dans les filières organisées. Dans les systèmes de production plus indépendants, qui proposent des produits frais en continu, issus d'une même exploitation, même si les volailles sont élevées en bandes, il peut y avoir coexistence de plusieurs bandes d'âges différents sur un même site de production (voire dans certains cas dans une même unité de production). C'est ce qu'on appelle l'élevage en bande-multiple, par opposition à la bande-unique, système dans lequel le site de production n'héberge qu'une seule bande à la fois. Le secteur des producteurs indépendants, qui proposent une vente à la ferme ou en circuits courts, est en plein développement. Cependant, l'ampleur de leur développement est difficile à quantifier car leur recensement est difficile. La présence d'animaux d'âges différents augmente le risque de circulation, au sein du site d'exploitation, d'agents infectieux. La conduite en bande-multiple a ainsi été identifiée comme facteur de risque pour les infections à salmonelles (Huneau-Salaün et al. 2009 ; Mollenhorst et al. 2005 ; Namata et al. 2009 ; Snow et al. 2010), l'influenza aviaire (Kim et al. 2018) mais aussi les infections parasitaires à brachyspires (Medhanie et al. 2013). Les éleveurs qui pratiquent la bande-multiple, du fait de leur modèle économique, font donc face à des défis supplémentaires dans le domaine de la biosécurité. Ils doivent en particulier renforcer les mesures de biosécurité entre les unités de production (mesures prises dans les sas sanitaires et mesures liées au partage de matériel entre les unités de production). En outre, en cas de fonctionnement en bande-multiple, il est recommandé de décaler la date de mise en place des nouvelles bandes afin de garantir un vide sanitaire à l'échelle du site de production. Dans tous les cas, l'allongement de la durée du vide sanitaire doit permettre de diminuer la pression d'infection dans les sites de production.

1.2.3. Transport de volailles

Dans certaines filières, des volailles vivantes peuvent être transportées d'un élevage à un autre, en cours de production. C'est notamment le cas des poules en âge de pondre (ou poulettes) et des canards prêts-à-engraisser. Ces mouvements d'animaux sont susceptibles de favoriser la dissémination d'agents pathogènes, de par le statut sanitaire des volailles transportées, mais aussi via les opérations liées à ces mouvements (attrapage des volailles, déchargement). Lors de l'épidémie d'IAHP de 2016-2017 en France, les mouvements de canards ont été associés à une augmentation du risque de contamination (Guinat et al. 2019 ; Guinat, Durand, et al. 2020 ; Bronner et al. 2017). Par ailleurs, afin d'optimiser les densités en volailles dans les bâtiments d'élevage en fin de cycle de production en volailles de chair (poulet standard, canard à rôtir, dindes), la pratique du « desserrage » (ou détassage) consiste à n'envoyer à l'abattoir qu'une fraction du lot. Cette pratique conduit à augmenter l'exposition des lots de volailles aux ramasseurs de volailles et camions de transport, et augmenter ainsi le risque de diffusion d'agents pathogènes entre les exploitations, comme les *Campylobacter spp* (Smith et al. 2016 ; Higham et al. 2018).

En conséquence, la gestion des flux de véhicules de transports de canards et le respect des mesures d'hygiène par le personnel impliqué dans le ramassage des volailles sont d'une grande importance. Par ailleurs, des mesures de nettoyage et désinfection des abords du bâtiment d'élevage, là où sont chargées/déchargées les volailles, doivent être mises en place.

1.2.4. Epidémies d'influenza aviaire en France entre 2015 et 2017 et évolution de la réglementation sur la biosécurité

La France a fait récemment face à deux épidémies majeures d'IAHP, qui ont eu pour conséquence un encadrement réglementaire des mesures de biosécurité en élevage de volailles.

En 2015-2016, la France a fait face à une première épidémie majeure d'IAHP. Suite à un premier foyer confirmé dans un élevage non-commercial de Dordogne après suspicion clinique, 81 foyers avaient été déclarés en août 2016, dans le quart Sud-Ouest du pays, majoritairement en élevages de palmipèdes à foie gras. Ils ont impliqué des virus IAHP de type H5N1, H5N2 et H5N9. L'analyse de leur génome et l'absence de signes cliniques chez les palmipèdes ont suggéré une circulation préalable à bas bruit dans les élevages de palmipèdes (Briand et al. 2017 ; 2018 ; Le Bouquin et al. 2016). La survenue des foyers a occasionné un dépeuplement progressif de la zone en palmipèdes d'élevage, par arrêt des mises en place des nouveaux lots entre le 18 janvier et le 16 mai 2016 (DGAI 2016b). En 2016-2017, la France a fait face à une seconde épidémie majeure d'IAHP. Entre novembre 2016 et mars 2018, 484 foyers d'IAHP ont été déclarés en élevage, majoritairement de palmipèdes, et majoritairement par des virus IAHP de type H5N8 (lignée A/Goose/Guandong/1/1996 clade 2.3.4.4). Pendant cette période, la majorité des pays européens a été touchée, mais c'est la France qui a été la plus sévèrement touchée par des foyers en élevage, de palmipèdes à foie gras principalement, au regard des foyers déclarés chez l'avifaune sauvage (Bronner et al. 2017 ; Guinat, Nicolas, et al. 2018 ; Cauchard et al. 2017 ; Guinat et al. 2017). L'ampleur de l'épidémie a conduit à dépeupler – à nouveau - les élevages de palmipèdes, dans une zone couvrant cinq départements du Sud-Ouest, à partir du 4 janvier 2017, avant d'autoriser à nouveau les mises en place de bandes de palmipèdes à compter du 29 mai 2017 (DGAI 2017a). Les cartes de ces épidémies sont présentées dans les Figure 4 et Figure 5.

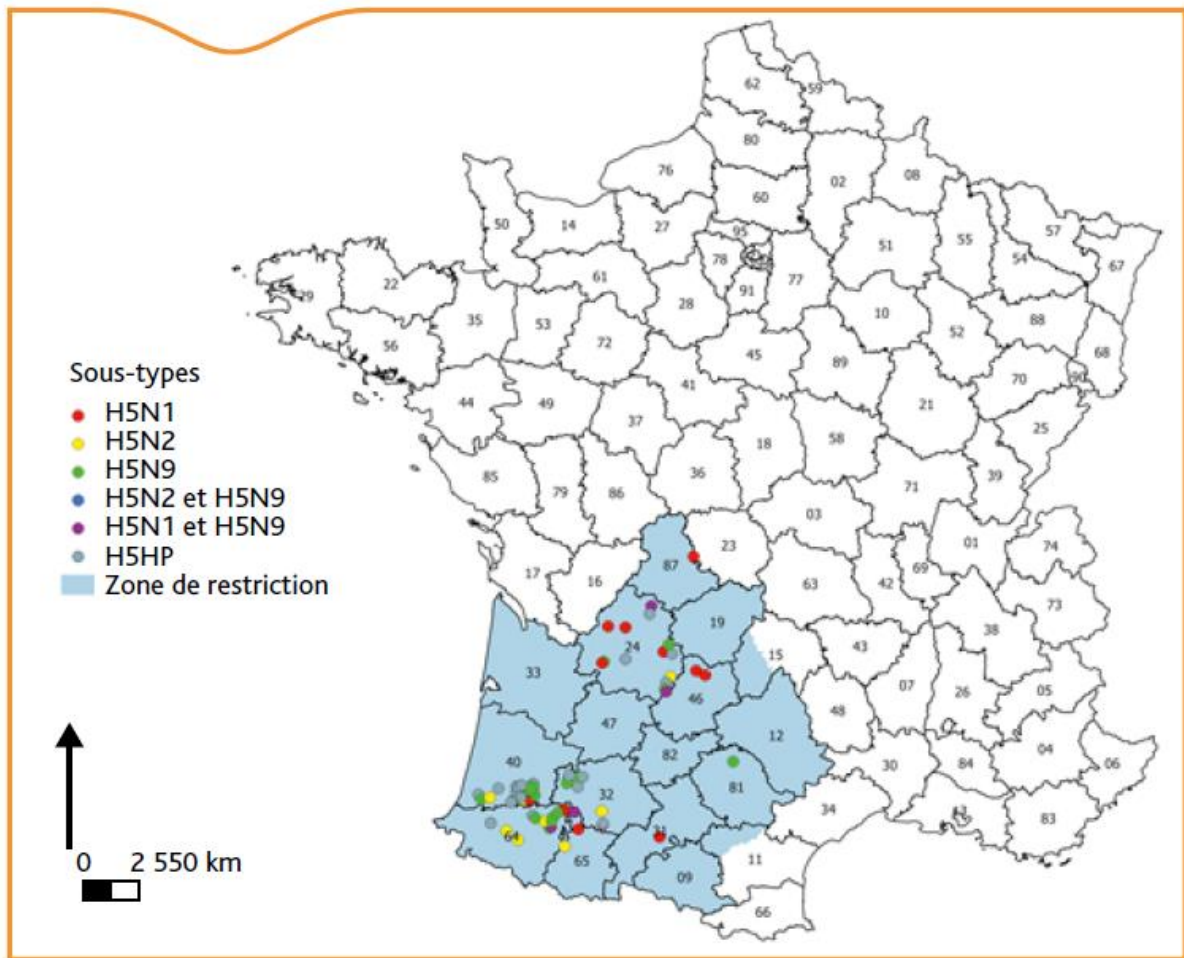


Figure 4. Carte des cas d'IAHP en France déclarés au 30 juin 2016 (source : Le Bouquin et al. 2016).

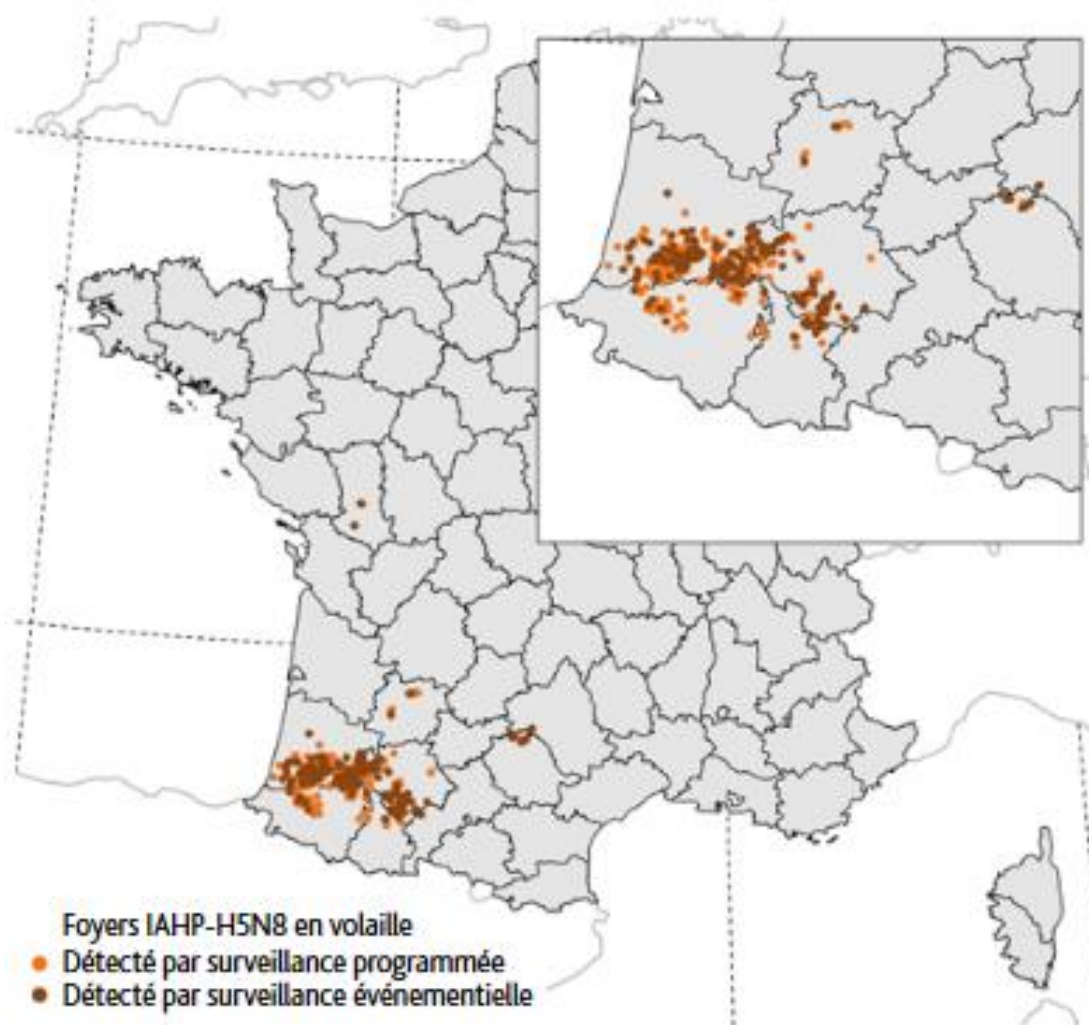


Figure 5. Carte des foyers d'IAHP H5N8 déclarés en France entre le 28 novembre 2016 et le 23 mars 2017 (source: Guinat et al. 2017)

L'impact économique de ces deux crises a été estimé à 250 et 500 millions d'euros respectivement (communication personnelle, CIFOG). L'ampleur de ces épidémies et les enquêtes sur foyer ont mis en évidence des failles de biosécurité importantes dans les filières de production de volailles concernées. Ainsi, les mesures de biosécurité dans les élevages de volailles ont fait l'objet d'un renforcement réglementaire strict en France avec l'entrée en vigueur de l'Arrêté ministériel du 8 février 2016, "relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire   (DGAI 2016a). Il prévoit que les éleveurs doivent établir un plan de biosécurité basé sur une analyse du risque prenant en compte les spécificités de l'exploitation, en s'aidant des guides de bonnes pratiques (ITAVI 2016) et avec l'appui de leur encadrement technico-sanitaire (vétérinaires, techniciens, etc.). Dans le but de contrôler l'application effective des mesures rendues obligatoires par cet arrêté, des inspections officielles ont été mises en place à l'échelle nationale par la DGAI en conduites par les DDecPP.

La biosécurité en élevage désigne un ensemble de stratégies qui vise à maîtriser les nombreux flux entre les différents compartiments et à y réduire la pression d'infection. Elle doit être adaptée à l'agent pathogène considéré (caractéristiques de transmission et de persistance) et au contexte (niveau de risque, caractéristiques des élevages).

La production de volailles occupe une place importante dans l'agriculture française. Les filières et les modes d'élevages (dont certains en pleine mutation, avec notamment le développement des systèmes alternatifs qui pratiquent la bande-multiple et/ou garantissant l'accès à un parcours de plein-air) présentent des caractéristiques très différentes, et font dès lors face à des défis variés en termes de biosécurité. Les bassins de production qui présentent une grande densité de plusieurs types d'élevages (ex : le Grand-Ouest avec le poulet standard, dindes et poules pondeuses) sont exposés à un risque de dissémination important d'agents pathogènes. Les modes d'élevages qui donnent l'accès à un parcours de plein-air (ex : le Sud-Ouest, avec les palmipèdes à foie gras et le poulet sous signe de qualité) présentent un risque plus important de contamination par l'avifaune sauvage. Les filières qui séparent les phases de production multiplient les transports d'animaux et les risques sanitaires qui y sont associés (ex : le Sud-Ouest, avec les palmipèdes à foie gras). En outre, l'historique de développement des filières dans les différentes régions est à mettre en lien avec l'âge du parc de bâtiments et donc la capacité à y faire appliquer des mesures de biosécurité de manière efficace. Récemment, les épidémies d'IAHP ont remis en question la manière d'envisager la biosécurité dans ces différentes filières.

1.3. Bénéfices attendus de la biosécurité

1.3.1. Pratiques de biosécurité et statut sanitaire des exploitations

1.3.1.1. Flux de véhicules.

Les véhicules qui circulent sur les exploitations sont d'autant plus à risque de transmettre des agents pathogènes qu'ils (1) circulent aussi sur d'autres sites d'élevage, qu'ils (2) circulent au sein des élevages à proximité des unités de production ou qu'ils (3) transportent des matières infectieuses (animaux vivants, cadavres, fumiers et lisiers). La fréquence de passage des fournisseurs de gaz a été incriminée dans la propagation de la laryngo-trachéite infectieuse aux Etats-Unis (Volkova et al. 2012). Un non-respect des flux de véhicules a été décrit comme un facteur de risque de contamination par l'IAHP de sous-type H5N8 dans une étude menée en élevages de canards en France (Guinat, Comin, et al. 2020). Il est important de définir des places de parking dans un lieu propre et suffisamment éloigné des volailles d'élevage afin de se prémunir contre les transmissions d'agents infectieux, comme cela a été mis en évidence pour *Salmonella spp.* dans des élevages de poulets de chair et de poules pondeuses en France et en Grande-Bretagne (Rose et al. 1999 ; Snow et al. 2010). Par ailleurs, les chemins d'accès non-stabilisés, donc plus difficiles à décontaminer, ont été désignés comme un facteur de risque de contamination par l'IAHP en élevage de dindes (Wells et al. 2017). Le passage de camions d'approvisionnement près des animaux d'élevage a été décrit comme une pratique à risque vis-à-vis de *Salmonella spp.* dans une enquête menée en France (Huneau-Salaün et al. 2009). De la même manière, le passage des camions d'équarrissage ou de déchets courants près des animaux d'élevage (Garber et al. 2016), et le fait même d'avoir recours à l'équarrissage (donc de faire circuler un véhicule transportant des cadavres) ont été décrits aux Etats-Unis comme facteurs de risque de transmission de virus influenza aviaire (McQuiston et al. 2005 ; Wells et al. 2017). Il n'en demeure pas moins qu'en France et en Europe, c'est la seule méthode de gestion des cadavres qui soit autorisée. Enfin, le transport de litière par des véhicules partagés avec d'autres éleveurs a été incriminé lors d'épidémies d'Influenza Aviaire Faiblement Pathogène (IAFP) et de laryngotrachéite infectieuse (Volkova et al. 2012 ; Nishiguchi et al. 2007).

1.3.1.2. Gestion des cadavres.

Les cadavres de volailles sont potentiellement très riches en agents pathogènes. Les éléments relatifs à la pratique de l'équarrissage et aux conditions dans lesquelles elle a lieu (circuit du camion d'équarrissage dans l'élevage) ont été décrits dans le paragraphe précédent. En outre, le fait de maintenir les cadavres de volailles dans un container bien entretenu (absence de fuites, présence d'un couvercle) a été décrit comme facteur protecteur contre les contaminations par *Salmonella spp.* (Huneau-Salaün et al. 2009).

1.3.1.3. Gestion des fumiers et lisiers.

Les déjections des volailles sont un milieu riche en agents infectieux. Ainsi, les conditions de retrait de l'aire d'élevage, de stockage, d'assainissement (comme le compostage) et d'élimination (épandage) des fumiers et lisiers constituent des points de vigilance particuliers. Les éléments relatifs au transport des fumiers ou lisiers ont été décrits dans le paragraphe sur les flux de véhicules. En outre, plus les aires d'élevage sont éloignées des lieux de stockage de

lisier ou de fumier, moins le risque de contamination est important. Cet aspect a été décrit en élevages de canards reproducteurs vis-à-vis de l'IAFP (Duvauchelle et al. 2013) et en élevages de dindes et de poulets de chair vis-à-vis de *Campylobacter spp* (Arsenault et al. 2007). En Corée du Sud, le recours à un prestataire extérieur pour récolter les fumiers/lisiers a été associé à une diminution du risque de contamination par l'IAHP (Kim et al. 2018). Dans cette étude, les auteurs suggèrent qu'un prestataire de service est plus à même de maîtriser la manipulation du fumier, et qu'il a moins de chances de l'épandre à proximité d'une exploitation de volailles que s'il s'agissait de l'éleveur ou de l'un de ses voisins.

1.3.1.4. Flux de personnes.

Les humains sont susceptibles de présenter un rôle de vecteur (inerte) d'agents pathogène, via les mains, vêtements ou chaussures. Pour illustration, les mycoplasmes aviaires peuvent conserver leur pouvoir infectieux sur la peau, les cheveux ou les vêtements de quelques heures à plusieurs jours (Christensen et al. 1994). Le pouvoir de contamination des différents intervenants est à relier au type de visite. En effet, les ramasseurs, vétérinaires et techniciens sont lors de leurs visites très exposés aux agents pathogènes, car ils sont au contact des animaux. De plus, ils visitent de nombreux élevages. La pratique du desserrage, qui augmente la fréquence de ramassage, a été identifiée comme une cause possible de contamination par *Campylobacter spp*. (Higham et al. 2018 ; Smith et al. 2016). En outre, le fait que le ramassage soit fait par une équipe spécialisée, donc en contact fréquent avec d'autres exploitations, a été identifié comme un facteur de risque d'IAFP (McQuiston et al. 2005). Les éleveurs, même s'ils sont très exposés aux volailles de leur élevage, ne sont pas supposés visiter d'autres exploitations avicoles de manière régulière. En revanche, le fait que les employés de l'exploitation travaillent aussi dans autre une exploitation peut augmenter le risque d'infection, comme ça a été démontré avec *Salmonella spp* (Namata et al. 2009). Les livreurs d'aliment ou de gaz, qui sont amenés à visiter de nombreux élevages, ne sont pas supposés entrer dans les bâtiments d'élevages et rester en zone professionnelle, à distance des volailles et de leurs agents infectieux. De manière générale, plus le nombre d'employés qui travaille sur l'exploitation est élevé, plus le risque infectieux est élevé. En témoignent les études menées vis-à-vis de la consommation d'antibiotiques (Chauvin et al. 2005), de *Salmonella spp*. (Arsenault et al. 2007 ; Fris, Bos 2007) et de l'IAHP (Wells et al. 2017). Curieusement, le fait de bien clôturer l'exploitation et d'y installer des panneaux de restriction d'accès, qui doit permettre de diminuer les visites inopportunes, n'a pas semblé présenter d'avantage particulier dans la limitation de la consommation d'antibiotiques en dindes ni dans la prévention contre les infections à *Campylobacter spp*. en poulets de chair (Chauvin et al. 2005) ni dans la prévention contre les infections à *Salmonella spp*. en dindes, en poules pondeuses et en poulet de chair (Evans, Sayers 2000 ; Featherstone et al. 2010 ; Fris, Bos 2007 ; Sasaki et al. 2012). Cela renforce l'idée que ce sont les visites à caractère professionnel qui présentent un risque de contamination plus élevé. En revanche, il est à noter que le fait de verrouiller les bâtiments d'élevage peut contribuer à diminuer le risque de contamination lié aux salmonelles, comme cela a été démontré au Québec (Arsenault et al. 2007). C'est dans les sas sanitaires que le flux de personnes peut être sécurisé, par le changement des vêtements et bottes, et le lavage des mains. Ainsi, la présence d'un sas sanitaire est associée à une diminution du risque de contamination par *Campylobacter spp*. (Borck Høg et al. 2016), et la

mise en place de « mesures protectives de biosécurité par les employés » a semblé diminuer le risque d'infection par l'IAHP (Wells et al. 2017). Plus particulièrement, le changement de bottes et/ou de tenue ont été associés à une moins forte utilisation d'antibiotiques, à un risque de contamination plus faible par les salmonelles (Snow et al. 2010) et par l'IAHP (Garber et al. 2016). Il a été démontré que le lavage des mains permet de diminuer le risque de contamination par les salmonelles (Namata et al. 2009) et qu'une douche permet de diminuer le risque de contamination par la laryngotrachéite inectieuse (Volkova et al. 2012). Le cas des pédiluves, qui servent à désinfecter les bottes sans les changer, est plus complexe. En effet, leur efficacité est dépendante du protocole utilisé, et leur utilisation optimale demande un temps de contact long, un renouvellement fréquent du désinfectant, et d'avoir nettoyé les bottes au préalable pour éviter que de la matière organique persistante ne contribue à inactiver le désinfectant (Amass et al. 2000 ; Hauck et al. 2017). De ce fait, l'effet des pédiluves est le plus souvent décrit comme facteur de risque (Volkova et al. 2012 ; Borck Høgg et al. 2016 ; Guerin et al. 2007) et plus rarement comme facteur de protection (Evans, Sayers 2000) vis-à-vis des contaminations.

1.3.1.5. *Conservation de la paille.*

La paille peut être contaminée au cours de son stockage par les nuisibles et l'avifaune sauvage. Au Danemark, le risque de contamination par *Campylobacter spp.* s'est avéré plus fort lorsque la paille était introduite dans les bâtiments juste avant l'arrivée des poulets d'un jour. Les auteurs suggèrent dans ce cas que c'est avant tout les conditions de conservation de la litière (dans un lieu mal confiné, à la merci des contaminations par les nuisibles et l'avifaune sauvage) qui étaient impliquées (Sandberg et al. 2015). En pratique, il convient de limiter la contamination des matières destinées à servir de litière (paille, copeaux de bois) en les conservant dans un local fermé, *a minima* par des filets.

1.3.1.6. *Le rôle des nuisibles.*

En élevage, les rongeurs en sont à la fois susceptibles d'être des vecteurs biologiques (les agents infectieux se multiplient dans l'hôte) et mécaniques d'agents pathogènes. C'est en particulier le cas avec les salmonelles. Ainsi, certains protocoles de dératisation et les observations directes de rats ont été liés à un risque plus élevé de contamination (Carrique-Mas et al. 2009 ; Rose et al. 2000 ; Snow et al. 2010). Ces mêmes facteurs ont aussi été associés à un risque plus important de contamination par *Campylobacter spp.* (Arsenault et al. 2007) et par IAFP (Duvauchelle et al. 2013). Il est plus compliqué de mettre en évidence des pratiques de biosécurité relatives à la gestion des insectes dans le risque infectieux. En revanche, des prélèvements directs sur les insectes à proximité des foyers et des études expérimentales suggèrent que les insectes peuvent servir de vecteur de contamination par les virus influenza aviaire (Wanaratana et al. 2013 ; Sawabe et al. 2006) ou des coronavirus de la dinde (Calibeo-Hayes et al. 2003). En élevage, la désinsectisation est généralement conduite juste avant le retrait de la litière usagée, en l'absence des volailles.

1.3.1.7. *Contamination aéroportée.*

La plupart des agents pathogènes sont susceptibles d'être transportés dans l'air, vectorisés ou non par des poussières, des bioaérosols ou des plumes. Certaines pratiques ont pu être associées plus ou moins directement à ces modes de transmission. Le travail de la terre

(labourage), générateur de poussières, à proximité des exploitations, a été décrit dans une étude sur une épidémie d'IAHP aux états-unis (Wells et al. 2017). En outre, les modes de ventilation (Guerin et al. 2007 ; Sandberg et al. 2015) et la qualité de leur nettoyage (Garber et al. 2016) ont été mis en cause dans des études qui portaient sur les infections à *Campylobacter spp.* et sur l'influenza aviaire. En outre, des prélèvements d'air réalisés en périphérie des bâtiments d'élevage foyers d'influenza aviaire en France et aux Etats-unis ont pu mettre en évidence la présence d'acides nucléiques des virus ou des particules virales à proximité des bâtiments, voire même jusqu'à 1 000 m de distance (Scoizec et al. 2018 ; Torremorell et al. 2016). D'autre part, le rôle du vent est à considérer dans la dispersion aérienne des agents pathogènes. En effet, il a été mis en exergue dans une étude sur une épidémie de laryngotrachéite infectieuse aux Etats-Unis (Johnson et al. 2005) mais infirmé dans la dispersion d'IAHP après une tempête, en France (Guinat, Rouchy, et al. 2018).

1.3.1.8. *Gestion des volailles malades ou moribondes.*

Dans une bande de volailles, les individus faibles ou malades sont susceptibles d'excréter de nombreux agents pathogènes au sein de la bande, mais aussi dans le reste de l'élevage, ce qui contribue à augmenter la pression d'infection. C'est d'autant plus important si l'éleveur utilise une infirmerie à l'extérieur de l'unité de production.

1.3.1.9. *Nettoyage, désinfection et vide sanitaire.*

Les mesures de nettoyage, désinfection et de durée du vide sanitaire ont un effet sur la persistance des agents pathogènes sur le site de production. Ainsi, en cas d'infection avérée d'un lot, l'infection du lot suivant est dépendante des mesures de décontamination en place. Ceci est d'autant plus valable que l'agent infectieux en question présente des capacités de persistance importantes. C'est le cas pour les infections à salmonelles, pour lesquelles la positivité du lot précédent a été mise en évidence comme facteur de risque de contamination du lot suivant (Huneau-Salaün et al. 2009 ; Namata et al. 2009 ; Van Hoorebeke, Van Immerseel, De Vylder, et al. 2010). Cela a aussi été démontré pour *Campylobacter spp.* (Sandberg et al. 2015). La manière dont sont conduites les opérations de nettoyage joue aussi un rôle contre les contaminations par les salmonelles : cela a été démontré par le bénéfice de commencer par un nettoyage « à sec » (Van Hoorebeke, Van Immerseel, Schulz, et al. 2010), de mener effectivement l'opération de nettoyage (Snow et al. 2010), ou de faire appel à une entreprise spécialisée (Namata et al. 2009). En outre, la structure des bâtiments et leur âge sont susceptibles d'améliorer la qualité de opérations de décontamination, notamment vis-à-vis de *Campylobacter spp.* (Evans, Sayers 2000 ; Borck Høg et al. 2016), des salmonelles (Van Hoorebeke, Van Immerseel, De Vylder, et al. 2010), de l'entérite nécrotique (Hermans, Morgan 2007) et de la coccidiose (Graat et al. 1998). Il en va de même pour l'absence de matériel inutile et la capacité à nettoyer les alentours des bâtiments d'élevage, comme démontré pour les infections à salmonelles (Featherstone et al. 2010 ; Fris, Bos 2007) ou à virus influenza aviaire (Duvauchelle et al. 2013 ; Garber et al. 2016 ; Wells et al. 2017). Ensuite, le rôle des modalités de désinfection a aussi été mis en évidence dans le risque d'infection à salmonelles, avec la présence effective d'une étape de désinfection (Snow et al. 2010 ; Featherstone et al. 2010), d'une désinfection supplémentaire (Rose et al. 2000) et le recours à un prestataire extérieur pour conduire la désinfection (Rose et al. 2000 ; Namata et al. 2009).

Enfin, l'effet protecteur de l'augmentation de la durée de vide sanitaire a surtout été mise en évidence dans des cas de cellulite du poulet de chair (Schrader et al. 2004 ; A A Elfadil et al. 1996 ; A. A. Elfadil et al. 1996).

1.3.2. Coût de la biosécurité et retour sur investissement

L'impact économique de la biosécurité est complexe et peu étudié en médecine vétérinaire. L'évaluation du rapport coût-bénéfice des mesures est complexe et demande de prendre en compte de nombreux facteurs. Il faut considérer à la fois les gains et les coûts directs et indirects : par exemple en termes de prévention vaccinale, d'investissement dans des infrastructures ou du matériel, de traitements médicamenteux, de résultats de production (durée d'élevage, taux de conversion alimentaire, taux de ponte, éclosabilité), de consommables (eau, aliment), de mesures de gestion zootechnique (chauffage, paillage), de temps de travail supplémentaire ou de mortalité. Au-delà de la gestion de l'exploitation, on peut aussi considérer les coûts en santé humaine (agents zoonotiques) et les effets sur les prix de vente, les niveaux de consommation, l'accès à différents marchés (autorisation d'export) ou mêmes les coûts « psychologiques » pour l'éleveur.

Des approches menées en élevage porcin visent à montrer que les pratiques de biosécurité permettent de réduire le risque infectieux et les consommations d'antibiotiques sans affecter négativement les paramètres de production d'un élevage ou les gains économiques (Rojo-Gimeno et al. 2016 ; Postma et al. 2017 ; Collineau et al. 2017).

En élevage bovin, le rapport coût-bénéfice des mesures de biosécurité est rarement estimé directement. En effet, il est souvent étudié conjointement avec des mesures de vaccination et de détection d'agents pathogènes (Smith et al. 2014 ; Han et al. 2020 ; Stott, Gunn 2008).

En élevages de volailles, le coût de la biosécurité a pu être estimé pour différents modes de production par une étude finlandaise, mais sans mise en perspective avec au coût lié aux maladies (Siekkinen et al. 2012). Une des rares études sur le rapport coût-bénéfice de la biosécurité en volailles a été conduite en 1986, mais uniquement sur des élevages de poules reproductrices. Dans cette étude, différents scénarios de niveaux de prévalence et de gravité de maladies ont été testés, au regard de trois niveaux de biosécurité différents (Gifford et al. 1987).

En dépit de la difficulté à établir les bénéfices économiques liés à l'application de mesures de biosécurité, en raison de la complexité des facteurs liés à la survenue des maladies et aux performances technico-économiques des élevages, il est primordial de les documenter. Les éleveurs sont en effet très sensibles aux arguments relatifs aux retours sur investissement des mesures de biosécurité, car leur volonté de les mettre en place est inversement proportionnelle au coût perçu (Fraser et al. 2010).

1.3.3. Bilan sur les preuves de l'utilité de la biosécurité

Sur-représentation de certains agents pathogènes. En élevages de volailles, les études qui font le lien entre pratiques de biosécurité et risque d'infection sont consacrées à un nombre restreint d'agents pathogènes. La plupart des études que nous avons citées ciblent les agents

de salmonelloses, de campylobactérioses et les virus influenza aviaire. Ces agents pathogènes sont probablement plus étudiés du fait de leur caractère zoonotique. Les campylobactérioses et salmonelloses sont les toxi-infections alimentaires les plus fréquentes en France (Van Cauteren et al. 2018), et les virus influenza aviaire, outre les dégâts spectaculaires causés en élevage, sont susceptibles d'évoluer vers des formes très dangereuses pour l'homme. En conséquence, on peut faire l'hypothèse que certains agents pathogènes, ayant pourtant des effets délétères importants en élevage, voient leurs facteurs de risque de biosécurité peu étudiés. On dispose de peu d'études sur des maladies infectieuses fréquentes en élevages avicoles telles que la maladie de Gumboro (Mutinda et al. 2014), la bronchite infectieuse, la pasteurellose (Charles et al. 1991) ou les affections digestives complexes (Carver et al. 2002).

Des mesures à appliquer simultanément. Les pratiques de biosécurité sont utiles lorsqu'elles sont appliquées de manière conjointe, et il est compliqué de bien cerner l'ensemble des mesures à prioriser. C'est pourquoi il est utile d'analyser les facteurs de risque de biosécurité de manière multivariée, afin de prendre en compte simultanément l'effet des différentes pratiques. C'est le cas de la plupart des études présentées dans les paragraphes précédents. En revanche, les techniques d'analyse multivariée ne permettent pas d'étudier simultanément l'effet de deux variables très liées entre elles. De ce fait, des variables de biosécurité peuvent être mises de côté lors de l'analyse, et leur rôle sous-évalué. Par ailleurs, il peut s'avérer compliqué de comprendre les liens de causalité et de définir dans quelle mesure les pratiques de biosécurité ont un effet direct ou indirect sur le risque d'infection. C'est pourquoi d'autres approches ont été développées, notamment les réseaux bayésiens, qui explorent les relations qui lient les variables de biosécurité, en décomposant les chaînes de causalité, et déterminent les effets directs ou indirects sur la maladie considérée (Lewis et al. 2011). Ainsi, en filière équine, en Australie en 2007, une enquête a été menée dans 200 locaux d'élevage, et 17 variables de biosécurité et de caractérisation des élevages ont été analysées les unes par rapport aux autres, en regard du statut vis-à-vis de l'influenza équine (Firestone et al. 2013). Cependant, ces études sont encore peu répandues en santé animale (et *a fortiori* d'autant plus rare en élevages avicoles), et peuvent s'avérer complexes à interpréter. D'ailleurs, elles contribuent plus à expliquer la dépendance entre variables que des relations de causalité *per se*.

Des variables de biosécurité encore peu étudiées. Certaines pratiques de biosécurité sont peu étudiées au regard du risque de contamination par les agents pathogènes aviaires. Dans certains cas, cela est dû au fait qu'elles sont propres à des modes de production qui concernent un nombre restreint d'élevages, comme les pratiques d'insémination artificielle en élevage de canards reproducteurs, associées au risque d'infection par l'IAFP (Duvauchelle et al. 2013). Curieusement, l'échange de matériel entre éleveurs, qui semble être une cause importante de contamination, et concerne de nombreux types de productions, est rarement étudié (Volkova et al. 2012 ; Nishiguchi et al. 2007 ; Namata et al. 2009). Dans d'autres cas, le plan d'échantillonnage (trop peu d'élevages étudiés) ne permet pas de mettre en évidence l'effet d'une mesure de biosécurité, alors même qu'elle aurait pu être d'importance majeure (Van Hoorebeke, Van Immerseel, De Vylder, et al. 2010).

Résultats contrintuitifs. Enfin, les différents types de biais décrits ci-dessus peuvent conduire à conclure sur des facteurs de risques contre-intuitifs. Ainsi, le respect des mesures de biosécurité dans les sas sanitaires par les visiteurs a pu être associé à un sur-risque de contamination par l'IHAP en élevages de dindes, alors qu'il était difficile à évaluer lors de l'enquête (Wells et al. 2017). Dans un autre exemple, un vide sanitaire plus long était associé à un sur-risque de contamination par *Campylobacter spp.* en élevage de poulet de chair, mais les auteurs suggèrent que les exploitations pratiquant un vide sanitaire plus long étaient caractéristiques d'un mode de production moins intensif et moins spécialisé, associé à d'autres facteurs de risque (Borck Høg et al. 2016).

La bonne application des mesures de biosécurité en élevage s'inscrit dans un contexte où la maîtrise des risques sanitaires se fonde de plus en plus sur des mesures de prévention. En élevage de volailles, la biosécurité permet de réduire les risques liés aux dangers zoonotiques : la résistance aux antimicrobiens, les salmonelloses, les campylobactérioses et l'influenza aviaire en particulier. En outre, la réduction du risque sanitaire s'accompagne d'une meilleure rentabilité des élevages, à la fois par la diminution des intrants thérapeutiques mais aussi par l'augmentation des résultats techniques. Différentes études scientifiques et travaux de terrain permettent d'identifier les pratiques de biosécurité qui présentent un intérêt particulier dans la lutte contre la contamination par des agents infectieux. Pour que les risques de contamination soient effectivement réduits, les parties prenantes doivent parvenir à évaluer efficacement l'observance de la biosécurité.

De nombreuses pratiques de biosécurité peuvent avoir des effets sur la santé des animaux, et leur importance relative dépend des systèmes de production, du contexte et des propriétés des agents pathogènes considérés. La justification des effets positifs des différentes mesures de biosécurité sur la santé des animaux est un élément important pour convaincre les différents acteurs de mettre en place ces dernières et de les respecter.

1.4. Déterminants de l'observance de la biosécurité

Ce chapitre reprend des passages d'une communication coécrite avec Mathilde C. Paul, Manon Racicot, Jean-Pierre Vaillancourt et Jean-Luc Guérin (Paul et al. 2018).

1.4.1. Le constat de marges de progrès dans l'observance des mesures de biosécurité

1.4.1.1. Application des mesures

Des travaux conduits à l'échelle internationale suggèrent que les failles dans l'observance constituent un enjeu universel. Différents travaux en témoignent dans le champ de la santé, humaine ou animale.

Les difficultés de mise en œuvre des bonnes pratiques pour le lavage des mains à l'hôpital est un exemple emblématique du défi que constitue l'observance dans le champ de la santé publique (humaine). Une revue systématique, basée sur 96 études, a par exemple démontré que le niveau médian d'observance pour le lavage des mains à l'hôpital était seulement de 40% (Erasmus et al. 2010).

En médecine vétérinaire, différents travaux ont mis en lumière l'hétérogénéité de l'observance des pratiques de biosécurité. Une étude portant sur 172 élevages porcins a par exemple démontré l'hétérogénéité d'observance pour 30 items de biosécurité (Casal et al. 2007). Une observance faible (environ 10%) était notée pour ce qui concerne la gestion des visiteurs (tenue du registre, présence d'instructions détaillées à l'attention des visiteurs du site d'élevage). De manière générale, des marges de progrès dans la biosécurité des élevages porcins ont été décrites dans de nombreux pays, comme par exemple en Argentine (Alarcón et al. 2019) ou dans de nombreux pays européens (Chantziaras et al. 2020 ; Boklund et al. 2004 ; Beltrán-Alcrudo et al. 2018). Le manque d'observance en matière de biosécurité a également été décrit en élevage bovin dans différents contextes (Sarrazin et al. 2014 ; Sanderson et al. 2000 ; Denis-Robichaud et al. 2019 ; Emanuelson et al. 2018).

Plusieurs travaux se sont spécifiquement intéressés aux filières avicoles. Une étude conduite récemment dans 399 élevages de poulets de chair standard de cinq États membres de l'Union Européenne (Van Limbergen et al. 2018) a ainsi révélé un défaut d'observance dans les différents pays, tant pour la biosécurité interne (score moyen de 76,6/100) que pour la biosécurité externe (moyenne de 68,4/100). Ces travaux mettent en lumière une hétérogénéité dans l'observance des différents items. Tandis que, pour la biosécurité externe, l'observance était bonne pour la sous-catégorie «infrastructure et vecteurs» (score moyen de 82,4/100), le score le plus faible est rencontré pour les procédures de biosécurité relatives aux visiteurs et au personnel (moyenne de 51,5/100). Ces résultats suggèrent ainsi que la gestion des visiteurs et du personnel est difficile, quel que soit le contexte et le pays. Au Québec, l'utilisation de caméras (Racicot et al. 2011) a permis d'objectiver les erreurs d'observance et de dépasser les contraintes liées à l'utilisation de questionnaires, utilisés plus classiquement dans les études épidémiologiques pour recueillir les données relatives aux pratiques de biosécurité. Au cours d'une période de quatre semaines, près de 883 visites ont été observées, impliquant 102 personnes différentes. En moyenne, près de quatre erreurs de biosécurité étaient commises pour chaque visite. Au total, 44 erreurs différentes ont été identifiées lors

de l'entrée et la sortie des bâtiments. Ces erreurs étaient principalement reliées à la délimitation des zones (propre versus contaminée). La nature et la fréquence des erreurs suggèrent un manque de compréhension des principes associés aux mesures de biosécurité.

1.4.1.2. *Maintien de l'observance*

La plupart des travaux sur l'observance de la biosécurité dressent un état des lieux à un instant précis. Pourtant, l'un des enjeux de l'observance de la biosécurité est que les pratiques soient respectées de manière routinière et dans la durée.

L'expérience accumulée dans le champ de la santé humaine suggère que l'observance diminue systématiquement au cours du temps, y compris après les interventions ayant visé à améliorer les pratiques. Le niveau d'observance pour le lavage des mains à l'hôpital passait ainsi de 68 à 55% sept semaines après l'intervention (Tibballs 1996). Une étude longitudinale sur cette même pratique a clairement mis en lumière un effet de « courbe en cloche », l'observance augmentant de manière graduelle jusqu'à 20 mois après l'intervention (passant de 47 à 55%), puis diminuant ensuite jusqu'au 36e mois post-intervention pour revenir à son niveau initial (Staats et al. 2016). Ainsi, les modèles qui étudient les comportements en santé visent désormais à distinguer l'initiation et le maintien des comportements considérés (Voils et al. 2014).

Les travaux au long cours restent rares en épidémiologie animale. En élevage, on dispose de peu d'études qui prennent en compte cette dimension temporelle. Une étude canadienne a évalué l'observance de la biosécurité au cours du temps dans une même population d'élevages de poulets de chair et de dindes, dans le cadre d'une intervention visant améliorer l'observance (Racicot et al. 2012a). Alors que l'utilisation d'une caméra visible dans le sas avait une influence significative à court terme (deux semaines) sur l'observance de la biosécurité, elle ne l'était plus à moyen terme (six mois). Les niveaux d'observance sont présentés dans la Figure 6. Dans une étude sur l'application de mesures d'autocontrôles dans les protocoles de vermifugation chez les vaches laitières en Flandres, les éleveurs déclaraient avoir mis en place ces autocontrôles suite à une demande par le vétérinaire ou suite à la fourniture de services gratuits par des laboratoires pharmaceutiques, mais déclaraient par ailleurs qu'ils avaient par la suite arrêté de le faire (F. Vande Velde et al. 2018).

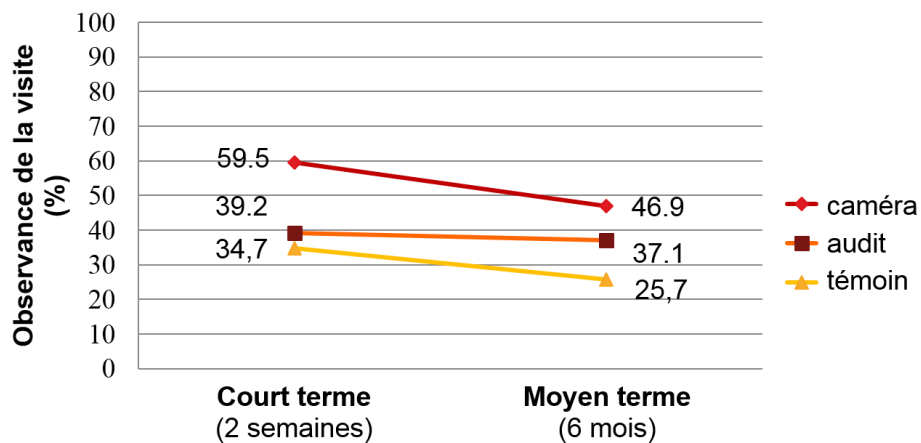


Figure 6. Observance de la biosécurité dans des sas sanitaires d'élevages de volailles au Canada à court et moyen terme, pour deux types d'interventions (audit de la biosécurité ou installation d'une caméra). L'observance de la biosécurité correspond au pourcentage de mesures respectées par rapport aux mesures de biosécurité attendues. Adapté de Racicot et coll. (2012).

1.4.2. Les déterminants de l'observance

Face aux enjeux liés à l'observance en élevage, plusieurs travaux ont exploré la rationalité sous-tendant les comportements des éleveurs, et identifié les freins et leviers vis-à-vis du changement de pratiques en élevage (E. Kristensen, Jakobsen 2011 ; Garforth 2015). Des déterminants de nature très diverse (Figure 7) ont été identifiés, tant pour la mise en œuvre de pratiques de biosécurité que, plus largement, pour l'adoption de pratiques préventives en élevage. Ces déterminants ont une composante consciente et inconsciente chez les éleveurs, et peuvent être identifiés et décrits avec des outils propres à la psychologie et la sociologie (Wauters, Rojo Gimeno 2014 ; Burton 2004 ; Ritter et al. 2017 ; Mankad 2016 ; Fiona Vande Velde et al. 2018 ; Maye, Chan 2020). Les approches de psychologie tendent à proposer des modèles visant à expliquer synthétiquement les comportements de santé. Les modèles couramment employés dans le domaine médical et vétérinaire sont le modèle de croyance en santé (Health Belief Model) et la théorie du comportement planifié (theory of planned behaviour) (Ajzen 1985 ; Fishbein 2008 ; Montanaro 2011). Ces modèles sont quantitatifs et partagent les mêmes composantes. Ils sont critiqués car ils confèrent une trop grande rationalité à la prise de décision individuelle (Sniehotta et al. 2014 ; Burton 2004), sous-estimant le poids des déterminants sociologiques agissant de manière inconsciente (Hidano 2018 ; Hidano et al. 2019 ; Fiona Vande Velde et al. 2018 ; Maye, Chan 2020).

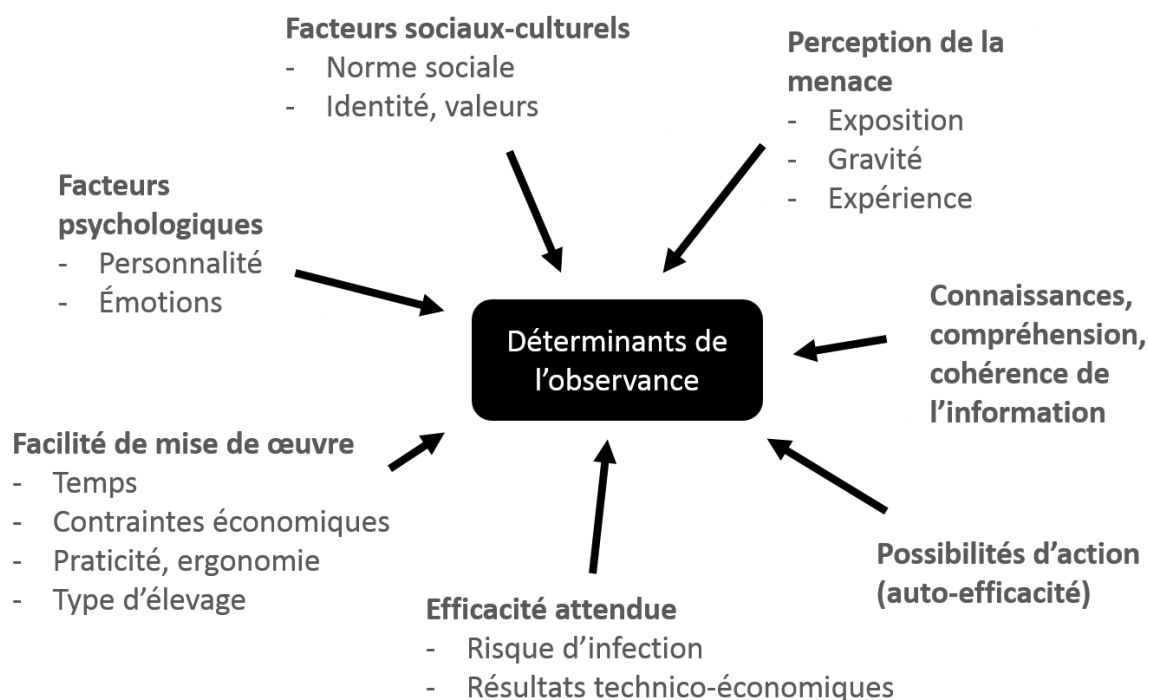


Figure 7. Principaux déterminants de l'observance de la biosécurité.

1.4.2.1. Perception de la menace, et des enjeux associés à la biosécurité

De manière générale, la littérature suggère que plus l'éleveur se sent vulnérable vis-à-vis d'un risque infectieux, ou plus il considère une infection comme grave, plus ses comportements sont en faveur de pratiques préventives. Le changement de pratiques est ainsi lié à la notion de « menace perçue » (Ritter et al. 2017). En suède, à l'occasion d'une épidémie de syndrome dysgénésique et respiratoire porcin, les éleveurs les plus proches géographiquement des foyers sont ceux qui se sont le plus documentés sur la maladie (Nöremark et al. 2009). En conditions expérimentales, au cours d'un jeu modélisant la gestion d'un élevage, les participants augmentaient leur intention d'investir dans des mesures de biosécurité lorsqu'on leur donnait plus d'informations sur l'incidence des maladies infectieuses (Merrill et al. 2019). La menace perçue est aussi plus importante quand l'éleveur a déjà eu l'expérience d'une maladie. Chez des éleveurs de vaches laitières canadiens, l'application de comportements préventifs contre la paratuberculose était jugée prioritaire par les exploitants qui en avaient déjà fait l'expérience, alors que cette menace était perçue comme lointaine par les autres (Roche et al. 2019). Dans une étude menée en Géorgie, la meilleure observance chez les éleveurs de volailles du nord de l'Etat (en comparaison avec le sud) était expliquée par le fait qu'ils aient vécu une épidémie de laryngotrachéite infectieuse (provoquant une mortalité considérable dans les lots infectés), et se sentaient ainsi vulnérables face au risque (Dorea et al. 2010). De nombreux travaux démontrent également que le changement de pratiques était d'autant plus difficile que les effets négatifs de ces pratiques n'étaient pas perçus – voire faisaient l'objet de déni – par les acteurs concernés (Ritter et al. 2017).

Dès lors la propension des éleveurs à prendre des risques est un élément à prendre en compte. Une étude menée en élevage porcin aux Etats-Unis a montré que l'aversion à prendre des risques est liée à une plus grande propension à appliquer les mesures de biosécurité (Pudenz

2019). Dans une autre étude menée en élevage porcin, une modélisation incluant des composantes épidémiologiques et comportementales a montré qu'un basculement modéré vers une aversion au risque diminuait de manière importante le risque de transmission de diarrhée épidémique porcine (Bucini et al. 2019).

1.4.2.2. Connaissances et compréhension

Les connaissances sur les modes de transmission des maladies, leurs conséquences et les moyens de s'en prémunir sont essentielles pour adopter une attitude favorable à la biosécurité. Un faible niveau d'observance est ainsi souvent lié à un manque d'information et de connaissance des éleveurs (Ellis-Iversen et al. 2010), ou à une communication défailante entre éleveurs et encadrement technique (Cui et al. 2019 ; Scott, Singh, et al. 2018). Dans une enquête comparant les effets de différents types de connaissances chez les éleveurs de volailles chinoises, c'est la connaissance des pratiques de biosécurité « cruciales » contre l'influenza aviaire qui était reliée à une meilleure application des pratiques de biosécurité (Cui, Liu 2016).

La formation des intervenants extérieurs constitue un enjeu important pour l'amélioration de la biosécurité en élevage. En élevage de volailles, les équipes d'attrapage, qui circulent d'élevage en élevage, sont un point critique pour la maîtrise de nombreux agents infectieux, dont les virus de l'influenza aviaire. Des travaux récents ont mis en évidence l'effet positif d'actions de formation sur la capacité de ces intervenants à identifier des erreurs de biosécurité (Millman et al. 2017). La moitié des intervenants formés (n=42) ont ainsi réussi à identifier l'ensemble des sept erreurs de biosécurité qui leur étaient présentées (relatives à des items spécifiques tels que le nettoyage du véhicule utilisé par l'équipe, la gestion des bottes, l'hygiène des cages de transport) alors que seuls 10% des intervenants non formés (n=11) y parvenaient.

Outre les connaissances, la compréhension des principes de biosécurité est un préalable important à la mise en place des bonnes pratiques. Les résultats des travaux relatifs à la biosécurité en élevage avicole au Québec (Racicot et al. 2011) soulignent que les principales défaillances observées quant au respect de la zone contaminée et de la zone propre, pourraient s'expliquer par un manque de compréhension du principe de zonage en élevage. Il est intéressant de noter qu'une étude conduite dans un contexte très différent (éleveur laitier au Danemark) a également identifié la distinction entre zones propres et zones sales autour du troupeau comme une des notions les plus difficiles à comprendre du point de vue des éleveurs (Erling Kristensen, Jakobsen 2011).

1.4.2.3. Possibilités d'action et efficacité attendue

La perception par l'éleveur de l'efficacité potentielle des mesures de biosécurité est un autre facteur important dans l'adoption de ces dernières. Une étude conduite récemment dans différents types d'élevages avicoles (pondeuses et chair, en claustration et sur parcours) a démontré une forte corrélation entre le niveau d'importance accordé par l'éleveur à différents items, et le niveau d'observance déclaré pour ces pratiques (Scott, Singh, et al. 2018). L'efficacité perçue a ainsi été décrite comme le facteur majeur influençant l'adoption de mesures de prévention et de contrôle vis-à-vis des maladies endémiques et épidémiques en élevage porcin (Valeeva et al. 2011), ou bien encore pour la dermatite digitale en élevage

bovin (Relun et al. 2013). La démonstration, à l'échelle individuelle, de l'efficacité des mesures de biosécurité sur l'agent pathogène d'intérêt peut parfois s'avérer délicate (Gunn et al., 2008) - en particulier lorsque le risque infectieux est perçu comme lointain. Il est ainsi important de noter que les gains attendus en termes de performances technico-économiques (Anneberg et al. 2016 ; Toma et al. 2013 ; Gunn et al. 2008 ; Laanen et al. 2014 ; Manyweathers et al. 2017 ; Nöremark et al. 2016) peuvent constituer un des leviers de motivation pour les éleveurs.

La croyance des éleveurs en leur capacité à mettre en œuvre avec succès des recommandations (suis-je capable de mettre ces comportements en place ?), notion connue sous le terme de « sentiment d'auto-efficacité » dans la littérature (Ritter et al., 2017) est également un préalable nécessaire. L'effet de ces facteurs reste, à notre connaissance, peu étudié dans le secteur avicole. Dans une étude conduite chez des éleveurs de volailles chinois, les éleveurs qui pensaient contrôlables les infections par les virus influenza aviaire A de type H5N1 étaient les plus enclins à mettre en place des mesures de protection (Cui et al. 2019). Plusieurs travaux conduits sur la santé des ruminants et les porcs démontrent l'association positive entre le sentiment d'auto-efficacité et l'adoption de pratiques préventives en élevage (Marnie Brennan et al. 2016 ; Ellis-Iversen et al. 2010 ; Marier et al. 2016 ; Nöremark et al. 2016).

1.4.2.4. Facilité de mise en œuvre

Les obstacles à la mise en place de bonnes pratiques de biosécurité les plus fréquemment cités par les éleveurs et leurs vétérinaires sont des installations inadaptées, et un manque de temps (Nöremark et al. 2016). En ce qui concerne les installations, certains sas (exigus, encombrés) permettent difficilement de mettre en œuvre les mesures de biosécurité et cet environnement de travail est significativement associé à un manque d'observance, pour les éleveurs comme pour les intervenants en élevage (Gunn et al. 2008 ; Racicot et al. 2011 ; Millman et al. 2017). Par ailleurs, dans un sas sanitaire, le fait d'avoir un banc crée un obstacle physique rappelant aux gens qu'un changement de bottes est nécessaire (Racicot et al. 2011). Il a été montré dans le milieu hospitalier que le fait d'avoir des lavabos bien équipés (eau chaude, savon, essuie-mains, solution hydro-alcoolique) augmentait la fréquence du lavage des mains (Widmer, Weinstein 2000).

L'aspect économique lié à la mise en œuvre des mesures de biosécurité n'est bien sûr pas négligeable (Gunn et al. 2008 ; Nöremark et al. 2016). Des travaux suggèrent que, plus que le surcoût lié à l'achat de matériel adapté (tenues à usage unique par exemple) ou à l'investissement dans des installations spécifiques (sas sanitaire), c'est le rapport coût-bénéfice qui influence l'intention de l'éleveur de mettre en œuvre les mesures de biosécurité (Laanen et al. 2014 ; Niemi et al. 2016 ; Fraser et al. 2010).

De manière générale, le manque de temps peut s'avérer être un obstacle à la bonne observance. En effet, le respect strict de certaines pratiques de biosécurité nécessite un surcroît de temps par rapport à l'intervention concernée, ce qui est fréquemment cité comme une des contraintes majeures à la mise en place de ces pratiques (Gunn et al. 2008 ; Svensson et al. 2019). Il a ainsi été démontré que les employés d'élevage ont une observance significativement plus faible lorsque la durée de leur visite est en deçà de cinq minutes

(Racicot et al. 2012a). Des travaux soulignent par ailleurs l'existence d'injonctions parfois paradoxales. Les attrapeurs de volailles expliquent ainsi se trouver dans une situation où les délais accordés pour mener à bien leur travail en élevage ne leur permettent pas de respecter les règles de biosécurité, dont ils ont pourtant une bonne connaissance (Racicot et al. 2013 ; Millman et al. 2017).

1.4.2.5. Facteurs psychologiques

Différents travaux ont mis en évidence l'effet de facteurs psychologiques, en particulier la personnalité de l'éleveur ou des employés d'élevage, sur la gestion des troupeaux et les performances technico-économiques en élevage (Ravel et al. 1996 ; Willock et al. 1999). Une étude conduite en production avicole (chair et ponte) au Québec a investigué les profils de personnalité des éleveurs avicoles et de leur personnel en relation avec l'observance des règles de biosécurité (Racicot et al. 2012b). La grille d'analyse retenue est celle du modèle des "Big five", regroupant différents traits spécifiques au sein de cinq facteurs : stabilité émotionnelle, extraversion, ouverture d'esprit, amabilité et capacité à être consciencieux. Les résultats de ces travaux ont démontré que, outre l'expérience et le niveau d'éducation, deux traits de personnalité liés à la capacité à être consciencieux (responsabilité et complexité) sont associés à l'observance du port des bottes et de la visite, respectivement. Dans le domaine de l'élevage, le fait d'être consciencieux a aussi été associé à une observance plus élevée de la biosécurité dans le domaine porcin (Döring et al. 2019) et à un risque diminué de maladies dans le domaine ovin (O'Kane et al. 2017). En médecine humaine, le fait d'être consciencieux est associé à une meilleure observance des traitements (Christensen, Smith 1995 ; Axelsson et al. 2011 ; Axelsson 2013). En sus des traits de personnalité, un autre déterminant inconscient dans la mise en place des comportements de santé concerne les émotions (Mankad 2016 ; Maye, Chan 2020). La peur et le stress peuvent être associés à une augmentation de la perception du risque, mais aussi dans certains cas à une forme de découragement, ou de sentiment de fatalité (Enticott, Vanclay 2011 ; Enticott et al. 2015), avec une moindre sensation de contrôle sur les infections.

1.4.2.6. Facteurs sociaux : normes sociales, identité

Des facteurs sociaux peuvent entrer en jeu dans les comportements de biosécurité des éleveurs.

Dans les modèles de psychologie, cette dimension est souvent prise en compte en tant que « norme sociale ». Il s'agit dans ce cas de la valeur accordée par l'éleveur aux opinions des gens qui ont de l'importance pour lui. Il peut s'agir d'autres éleveurs (Gunther et al. 2019 ; Best et al. 2020), des techniciens et conseillers d'élevages (Sayers et al. 2014), des vétérinaires mais aussi du grand public (Roche et al. 2019 ; Ellis-Iversen et al. 2010). Les vétérinaires semblent bénéficier d'une confiance particulière de la part des éleveurs (Adam et al. 2017 ; Ellis-Iversen et al. 2010 ; Frössling, Nöremark 2016 ; Heffernan et al. 2008 ; Laanen et al. 2014 ; Marier et al. 2016 ; Moya et al. 2019 ; F. Vande Velde et al. 2018). Les autorités sanitaires ont une influence variable sur les éleveurs, en fonction du contexte (Elbers et al. 2010 ; Brennan, Christley 2013 ; Heffernan et al. 2008). Les autres éleveurs sont parfois déclarés comme peu influents, même si un mimétisme peut être néanmoins mis en évidence (F. Vande Velde et al. 2018). La confiance envers les autres éleveurs serait plus importante dans les petites

exploitations (Ritter 2015 ; Hernández-Jover et al. 2012). Il est intéressant de noter que les éleveurs peuvent dans certains cas reporter la responsabilité de la bonne application des mesures de biosécurité et de ses conséquences sur les « autres » éleveurs ne faisant pas assez d'efforts (Heffernan et al. 2008 ; Gunther et al. 2019 ; Doidge et al. 2020), sur les vétérinaires (F. Vande Velde et al. 2018 ; Doidge et al. 2020) ou sur les autorités sanitaires (Heffernan et al. 2008).

Les facteurs sociaux ne se limitent pas à la norme sociale. Un autre aspect des facteurs sociaux est celui des identités personnelles et professionnelles de l'éleveur, et par extension de ce qu'il considère être un « bon éleveur » (Burton 2004). Dans un contexte donné, l'éleveur va, de manière consciente ou inconsciente, mettre en place des comportements compatibles avec les valeurs morales attribuées à l'identité considérée (Shortall et al. 2018 ; Hidano et al. 2019 ; Toma et al. 2013). La perception de ce que doit faire un « bon éleveur » dans le domaine de la biosécurité dépend du contexte (Maye, Chan 2020). Pour illustration, une étude conduite en Grande-Bretagne montre qu'en fonction des espèces élevées, les capacités attendues d'un « bon éleveur » pour évaluer l'état de santé des animaux peuvent varier (Naylor et al. 2018).

L'observance des comportements de biosécurité constitue un défi dans le champ de la santé (tant humaine qu'animale) et pour les différentes filières d'élevage. La combinaison d'approches quantitatives, utilisées classiquement en épidémiologie, et de travaux qualitatifs s'inscrivant à l'interface avec les sciences humaines et sociales a permis de mettre en évidence une constellation de facteurs, tant techniques qu'économiques, sociaux ou psychologiques influençant l'observance. Les résultats de tels travaux constituent aujourd'hui une base de connaissances qui demande à être utilisée pour l'élaboration de dispositifs visant à accompagner les éleveurs dans le changement des pratiques en matière de biosécurité. Les méthodes d'épidémiologie d'intervention pourront s'avérer particulièrement utiles pour évaluer l'efficacité de tels dispositifs, mais l'évaluation du maintien de l'observance sur un temps long constitue probablement un des principaux défis à relever.

1.5. Questions de recherche et objectifs scientifiques

Considérant les défis liés à la gestion des crises liées à l'influenza aviaire mais aussi la volonté grandissante de maîtriser une multitude de pratiques de biosécurité, plus ou moins spécifiques de productions avicoles, le travail de thèse a visé à apporter des réponses aux objectifs suivants :

- **Explorer l'hétérogénéité des pratiques dans les élevages de volailles français, à différentes échelles**

La grande diversité des filières volailles et la structuration spatiale de ces productions laissent à penser que l'application des mesures en élevage n'est pas homogène sur le territoire national. Afin d'étudier à large échelle l'application des mesures, nous avons construit une typologie des pratiques sur la base des données générées par les inspections officielles de biosécurité conduites entre 2016 et 2018 par les services de l'Etat. Sur cette base, l'effet de quelques facteurs structurels (bassin de production, espèce, historique sanitaire ...) sous-tendant cette hétérogénéité a été analysé.

Afin d'analyser plus finement l'hétérogénéité des pratiques, nous avons mené une première enquête dans des élevages de palmipèdes à foie gras du Sud-Ouest, avant la survenue de l'épidémie d'IAHP de 2015-2016. Cette étude visait plus spécifiquement à : (i) produire un état des lieux détaillé de l'observance des pratiques de biosécurité, en optimisant la fiabilité des données de biosécurité récoltées par des questionnaires croisant les réponses des éleveurs à des données objectives (observations en élevage, calculs de distances, etc.), et (ii) explorer l'effet de contraintes spécifiques (intégration dans un groupement d'éleveurs, vente en circuits-courts, spécialisation dans certaines phases d'élevage, type et nombre de bâtiment, etc.) sur les pratiques observées en élevage.

- **Identifier les déterminants associés aux pratiques observées en élevage**

Une fois l'hétérogénéité des pratiques mieux décrite à différentes échelles, nous avons porté notre attention sur les déterminants associés aux comportements observés en élevage.

Outre les déterminants structurels (localisation, espèces, historique sanitaire, puis modes de production) précédemment décrits, nos travaux ont visé à étudier finement l'effet des déterminants psycho-sociaux propres aux éleveurs (connaissances, attitudes, traits de personnalité) sur l'application des mesures de biosécurité. Un protocole d'enquête spécifique a permis de générer un jeu de donnée original, combinant une évaluation quantitative des traits de personnalité élaborée dans le cadre de tests de psychologie en lien avec les comportements de santé et de sécurité au travail, des données sur les connaissances et attitudes collectées suivant des méthodes classiques d'épidémiologie ainsi qu'une évaluation de l'observance de la biosécurité suivant la méthode testée dans la précédente enquête.

2. EVALUATION DE LA BIOSECURITE EN ELEVAGES DE VOLAILLES : UNE APPROCHE A L'ECHELLE DU TERRITOIRE NATIONAL, VIA L'ANALYSE DES RAPPORTS D'INSPECTION OFFICIELLE

2.1. Contexte, objectifs et problématique

Les enjeux de cette phase de notre travail étaient d'évaluer l'observance des pratiques de biosécurité en élevages de volailles, sur le territoire français, à la lumière des deux épidémies successives d'influenza aviaire entre 2015 et 2017. En 2016, après la première crise, a paru un arrêté visant à encadrer les pratiques de biosécurité en élevages de volailles : l'arrêté du 8 février 2016 (dit « arrêté biosécurité ») (DGAI 2016a). Cet arrêté prévoit que les éleveurs de volailles construisent un plan de biosécurité, qui présente une analyse de risque et un ensemble de protocoles de gestion de la biosécurité propres à l'exploitation. La mise en place de cet arrêté étant accompagnée d'inspections par les DDecPP, nous avons choisi d'exploiter les informations fournies par ces rapports d'inspection. Cela nous a par ailleurs permis d'évaluer de quelle manière ces données pouvaient être valorisées en recherche en épidémiologie. L'une des grilles d'inspection utilisée est présentée en annexe.

2.2. Méthode

D'un point de vue matériel, il n'est pas envisageable d'inspecter toutes les exploitations de volailles du territoire national. C'est pourquoi, dans un contexte sanitaire d'émergence régulière d'épidémies d'influenza aviaire, une priorité a été donnée par les services de l'Etat aux exploitations jugées plus à risque vis-à-vis de cette maladie. Les DDecPP ont donc ciblé pour leurs inspections, autant que possible, des exploitations hébergeant ou ayant hébergé des lots séropositifs pour le virus de l'influenza aviaire, des exploitations de palmipèdes reproducteurs, des exploitations de palmipèdes situées à moins de 250 mètres d'un couvoir ou d'ateliers hébergeant des troupeaux reproducteurs (palmipèdes ou autres volailles), des exploitations de palmipèdes polyvalentes (croissance et engraissement), des exploitations élevant à la fois des palmipèdes et d'autres espèces de volailles, des exploitations situées dans une zone à forte densité d'élevages de volailles et des exploitations implantées à proximité d'une zone riche en avifaune sauvage (DGAI 2016c). Nous avons pu exploiter un total de 1622 rapports d'inspections, s'étalant de janvier 2016 à mars 2018. Une carte représentant la distribution de l'ensemble des visites est présentée dans l'article associé à ce travail.

Les inspections étaient divisées en deux phases. Une première phase était dédiée à un contrôle documentaire (éléments constitutifs du plan de biosécurité) et une deuxième phase était dédiée à la visite des locaux d'élevage. Les items à inspecter étaient référencés dans une grille d'inspection (DGAI 2017, disponible dans l'Annexe 1) appuyée par un *vademecum* détaillant les critères de conformité (échelle allant de « A » - conformité - à « D » - non-conformité majeure). Par la suite, nous avons considéré uniquement le caractère conforme (note « A ») ou non-conforme (notes « B », « C » ou « D ») des items. Des données sur les espèces de volailles élevées et la localisation des élevages ont aussi été enregistrées. Les photographies des rapports d'inspections nous ont été transmises soit par la DGAI soit directement par les DDecPP, et la saisie des données a été conduite par plusieurs étudiantes vétérinaires, dont certaines dans le cadre de leur thèse d'exercice. Des adaptations à la grille d'inspection ont été mises en place entre 2016 et 2018, ce qui a conduit à la distinction de deux versions de la grille d'inspection. Par la suite un travail important d'uniformisation des items d'inspections a été mené à partir des deux versions de la grille d'inspection. Les items

liés à une même thématique ont été fusionnés en faisant le choix de conserver la note de conformité la plus sévère. Par exemple, la variable « formation en biosécurité » a été constituée à partir des items qui décrivent la formation du chef d'exploitation, mais aussi de celle de ses employés. En outre, des variables ont été retirées lorsque le nombre de données manquantes était trop important. Cette démarche a conduit à exploiter neuf variables de biosécurité à partir de 47 items. En outre, deux variables de description du type d'élevage ont été exploitées, dont une incluant à la fois les types d'espèces élevées dans l'exploitation (palmipèdes, gallinacées ou les deux) et le bassin de production (Sud-Ouest, Grand-Ouest et autre).

Les données ont été analysées en produisant des profils d'élevages sur la base des pratiques de biosécurité. Les profils ont été construits par une analyse factorielle (analyse des composantes multiples) suivie d'une classification (classification ascendante hiérarchique, en utilisant la méthode de Ward et en consolidant les profils par la méthode des K-means). Dans chacun de ces profils, un test hypergéométrique a permis de décrire dans quelle mesure les pratiques de biosécurité sont sur-représentées, ou à l'inverse, sous-représentées.

Les résultats de l'étude des résultats d'inspections de la biosécurité en France métropolitaine sont en cours de soumission sous forme d'un article dans une revue scientifique internationale à comité de lecture, et dont le manuscrit est présenté en fin de chapitre.

2.3. Résultats

Les résultats de 1 004 visites ont pu être exploités. Les rapports non-exploités correspondaient à des visites de suivi et des visites dont les données renseignées étaient incomplètes.

Cette étude a mis en évidence les items les plus et les moins respectés. Les meilleurs taux d'observance ont concerné la formation en biosécurité, le niveau de propreté autour des bâtiments d'élevage (absence de matériel inutile, végétation coupée), ou le respect des durées de vide sanitaire. A l'opposé, les taux d'observance les plus faibles concernaient les procédures de nettoyage et désinfection, la délimitation des zones de et dans l'exploitation, et les sas sanitaires.

Ensuite, quatre profils ont pu être établis :

- Le premier profil, qui regroupait la moitié des éleveurs, était majoritairement caractérisé par des élevages de palmipèdes du Sud-Ouest, et des élevages de gallinacées du Nord-Ouest. C'est le profil dans lequel la biosécurité présentait la plus forte observance, car les pratiques « en conformité » y étaient sur-représentées pour les neuf variables de biosécurité considérées.
- Dans le deuxième profil, étaient sur-représentés les élevages de canards du Nord-Ouest et du Sud-Ouest. C'était un profil de niveau d'observance intermédiaire, car même si une seule pratique « en conformité » y était sur-représentée (formation en biosécurité), comparativement aux troisième et quatrième profils, les pratiques « en non-conformité » y étaient moins intensément représentées.

- Dans le troisième profil, étaient sur-représentés les élevages de gallinacées du bassin de production « autres », et plus particulièrement des élevages « de chair » (par opposition à la production d'œufs). Dans ce profil étaient également bien représentés les élevages comprenant à la fois des gallinacées et des palmipèdes. Il s'agissait aussi d'un profil de niveau d'observance intermédiaire, avec cependant deux pratiques dont le caractère « en conformité » était bien représenté (propreté autour des bâtiments d'élevage, et formation en biosécurité). En revanche, pour les sept autres pratiques de biosécurité, les « non-conformités » y étaient très représentées.
- Dans le quatrième profil, étaient sur-représentés les élevages de gallinacées du bassin de production « autre », et plus particulièrement des élevages de poules pondeuses. Dans ce profil étaient également bien représentés les élevages comprenant à la fois des gallinacées et des palmipèdes. C'est le profil dans lequel l'observance de la biosécurité y était la plus faible, car c'est le groupe dans lequel les « non-conformités » en biosécurité y étaient le plus sur-représentées, pour l'ensemble des neuf pratiques de biosécurité considérées.

2.4. Discussion et perspectives

2.4.1. Echantillonnage et fiabilité des données de biosécurité

Dans cette étude, l'échantillonnage n'était pas aléatoire, ce qui a pu conduire à des biais de sélection. Dans un contexte d'épidémie d'influenza aviaire, le choix des élevages suivait des consignes priorisant des types d'élevage jugés les plus à risque. Il n'était pas envisageable pour les services sanitaires de visiter toutes les exploitations de volailles. Cela a conduit à sur-représenter les élevages de palmipèdes, ainsi que les élevages localisés dans le Sud-Ouest. De ce fait, l'état des lieux des pratiques de biosécurité est plus révélateur de la situation des élevages de canards prêts-à-engraisser du Sud-Ouest. En revanche, comme les analyses multidimensionnelles et de classification visent à capturer la variabilité des jeux de données, les typologies d'élevages obtenues auraient probablement été équivalentes avec un échantillonnage aléatoire.

Nous avons valorisé des données dont le but principal n'était pas la collecte et la valorisation pour des enquêtes épidémiologiques. Plutôt que d'évaluer l'observance réelle des pratiques de biosécurité dans ces élevages, ces données ont permis de statuer sur la conformité des élevages relativement à la réglementation en cours. Ainsi, la grille d'inspection de la biosécurité en élevage ne cible que des items dont il existe une référence réglementaire. De ce fait, des éléments de biosécurité n'apparaissant pas dans la réglementation n'ont pu être jugés, alors qu'ils sont susceptibles d'avoir des effets biologiques importants. Les chiens de travail sont autorisés à entrer dans les unités de production, notamment pour rentrer les volailles dans le bâtiment d'élevage lorsqu'un parcours de plein-air est autorisé, alors qu'il n'existe aucune obligation et qu'il est en pratique impossible de décontaminer le chien à l'entrée et à la sortie des unités de production. Sont aussi absents de la grille d'inspection les items relatifs à l'hygiène de l'eau de boisson (origine de l'eau, traitement de l'eau, nettoyage des circuits d'eau, analyses microbiologiques de l'eau de boisson) ou au partage de matériel entre exploitations. La conformation des abreuvoirs (possibilité pour les animaux de boire une

eau contaminée par des matières fécales), ne pas traiter l'eau de boisson et l'utilisation d'une eau issue de forage au lieu d'une eau de réseau ont été démontrés comme facteurs de risque de contamination de volailles par *Campylobacter* au Canada, au Danemark et en Norvège (Arsenault et al. 2007 ; Borck Høg et al. 2016). Lors des enquêtes que nous avons menées dans le Sud-Ouest en filières de palmipèdes à foie gras, il s'est avéré que du matériel servant à manipuler ou étendre le fumier était régulièrement partagé entre différents éleveurs de volaille, avec des procédures de décontamination souvent insuffisantes ou absentes (confère études suivantes). Le partage d'outils servant à manipuler des fumiers ou lisiers a été décrit comme facteur de risque de la laryngotrachéite infectieuse ou de l'influenza aviaire (Volkova et al. 2012 ; Nishiguchi et al. 2007).

Il est en revanche intéressant de voir que certains aspects de biosécurité négligés dans la première version de la grille d'inspection ont été ajoutés par la suite, comme la supervision des pratiques de biosécurité (changement de tenue, notamment) des équipes de ramassage et de vaccination (DGAI 2017b).

La grille d'inspection étant fondée sur l'application de l'arrêté du 8 février 2016 qui prévoit l'élaboration d'un plan de biosécurité, de très nombreux items d'inspection sont liés à la présence de documents faisant partie du plan de biosécurité. La présence de ces documents atteste de la rigueur avec laquelle les différents protocoles faisant partie du plan de biosécurité ont été renseignés, mais n'atteste pas nécessairement de leur respect effectif au quotidien. On peut citer par exemple les items relatifs au plan de nettoyage et désinfection, pour lesquels manquent des éléments objectifs de contrôle. Le recours à des éléments déclaratifs peut comporter des biais dans l'évaluation des mesures de biosécurité routinières, comme cela avait été montré dans une étude canadienne (Nespeca et al. 1997). De la même manière, il n'est pas possible d'évaluer si les cadavres sont bien collectés quotidiennement ou s'ils sont bien acheminés vers des installations agréées. En revanche, l'un des atouts de l'inspection de biosécurité est qu'elle associe aux contrôles documentaires des observations directes dans l'exploitation, permettant d'identifier si les structures en place permettent la réalisation optimale des mesures de biosécurité. Par exemple, la conformation des bâtiments, le type de matériaux utilisés et leur bon état sont des éléments permettant de garantir une décontamination efficace des locaux d'élevage. Le fait d'associer à des questionnaires des observations directes en élevage a aussi été plébiscité dans d'autres travaux de recherche afin d'optimiser l'évaluation de l'observance des pratiques de biosécurité (Huang et al. 2017 ; Scott, Singh, et al. 2018). Un autre élément à prendre en compte pour les items relatifs à un contrôle documentaire est que la configuration d'un élevage est amenée à évoluer, et la présence des documents du plan de biosécurité de l'élevage n'indique pas forcément qu'ils soient toujours adaptés à la situation actuelle.

En outre, les nombreux inspecteurs qui ont mené ces inspections avaient une expérience variable en élevage avicole, ce qui pouvait conduire à juger de manière différente une même situation. C'est pourquoi un *vademecum* leur a été fourni. Nous avons malgré cela pu mettre en évidence une variabilité d'appréciation après lecture des commentaires associés aux notes de conformité des items. Le manque de rigueur avec lequel certains items ont été abordés a eu pour conséquence leur non-analyse, du fait d'un nombre trop important de valeurs

manquantes. Par exemple, nous n'avons pas pu étudier les flux de véhicules entre les différentes zones de l'élevage. En revanche, le nombre d'exploitations incluses dans une enquête de biosécurité utilisant des observations directes (à la différence d'enquêtes par téléphone ou courrier, basées uniquement sur des éléments déclaratifs) est particulièrement élevé (n=1 004). Par comparaison, d'autres études sur la biosécurité en élevage mettant en œuvre des visites d'élevage, ont recruté un nombre bien moins important de participants - entre 64 et 339 (Van Steenwinkel et al. 2011 ; Huang et al. 2016 ; Van Limbergen et al. 2018 ; Scott, Singh, et al. 2018). Une étude sur l'utilisation de questionnaires de biosécurité a mis évidence le risque de biais de prévarication lors de l'utilisation d'éléments déclaratifs, les éleveurs ayant parfois tendance à donner les réponses qu'ils pensaient « désirables » pour l'enquêteur (Nespeca et al. 1997). En outre, les modes d'élevages en production de volailles sont parfois très différents, et certaines mesures de biosécurité ne peuvent pas être comparées d'un élevage à l'autre. Par exemple, en canards à foie gras, il est possible de placer des mangeoires à l'extérieur, alors que ça n'est pas autorisé en élevages de poulets « Label », et cela ne concerne pas les élevages sans accès à un parcours extérieur. De ce fait certains aspects de biosécurité qui ont une importance non-négligeable (dans cet exemple, la contamination des animaux d'élevage par l'avifaune sauvage), n'ont pas pu être évalués.

2.4.2. Disparités géographiques des pratiques de biosécurité : culture et historique sanitaire ?

Des disparités géographiques dans l'application des mesures de biosécurité ont pu être mises en évidence dans l'étude des rapports d'inspection. En effet le bassin de production « autres » semble rassembler les élevages avec l'observance la plus faible. Une première façon d'interpréter ce résultat est qu'il s'agit d'un bassin qui regroupe les zones dans lequel la production de volaille est moins importante, et l'on peut supposer que la plus faible présence de filières intégrées diminue aussi l'accès à un encadrement technique sur les pratiques de protection sanitaire. Enfin, si l'on considère aussi la plus forte présence d'exploitations moins spécialisées (élevages à la fois de palmipèdes et de gallinacées), on peut aussi y considérer la technicité des éleveurs comme plus faible. Une taille plus importante des élevages est régulièrement reliée à des niveaux de biosécurité importants (Cui et al. 2019 ; Hernández-Jover et al. 2012 ; Niemi et al. 2016 ; Nöremark et al. 2009 ; 2016), probablement car la survenue de maladies y causerait des pertes plus importantes. Cependant, nous n'avons pas pu explorer plus en profondeur l'effet de la taille des exploitations car la donnée n'était pas enregistrée dans les rapports d'inspection. Si l'on considère cette fois que les élevages de canards du Sud-Ouest – les plus impactés par les épidémies d'influenza aviaire en France entre 2015 et 2017 – et les élevages de galliformes du Nord-Ouest présentent la plus forte observance des mesures de biosécurité, on peut aussi émettre l'hypothèse que le fait d'avoir eu l'expérience d'épisodes infectieux favorise l'adoption de comportements de protection sanitaire. On peut considérer dans ces cas-là que la perception du risque et de la gravité des infections est plus importante. Cet effet est souvent décrit pour expliquer l'adoption des mesures de biosécurité (Brennan et al. 2016 ; Roche et al. 2019 ; Manyweathers et al. 2017 ; Merrill et al. 2019 ; Gunther et al. 2019). Dans les faits, la filière de production des palmipèdes à foie gras a entrepris, à la suite des épidémies successives d'influenza aviaire, des actions importantes visant à améliorer les mesures de biosécurité. En témoignent la mise en place de

la charte « palmi G confiance » (qui contient un volet sanitaire) et des démarches de progrès sur les mesures avant, pendant et après le transport des canards, ainsi qu'un appui aux travaux de recherche sur la biosécurité. Les éleveurs de gallinacées du Grand-Ouest n'ont pas été impactés de manière directe par les épidémies récentes d'influenza aviaire. En revanche, la densité en élevages et le fait que les marges de profit sont plus faibles dans les secteurs de production « standard » (qui y sont très présents) pourrait marquer une fragilité plus importante vis-à-vis des maladies (Bonney et al. 2018 ; Franzo et al. 2020), et cette fragilité serait perçue par les éleveurs du Grand-Ouest.

2.4.3. Des marges de progrès identifiées

Cette étude a permis de mettre en évidence des marges de progrès dans l'application des mesures de biosécurité. Ces informations ont contribué, dans la suite de ce travail de thèse, à identifier les aspects de la biosécurité à cibler dans un projet d'intervention (en particulier la conception des sas, l'utilisation des sas, et la délimitation des zones au sein de l'exploitation).

2.4.4. Prise en compte des résultats d'inspections dans les stratégies de ciblage des inspections de biosécurité

Les inspections officielles contribuent à maintenir une pression vis-à-vis de la mise en conformité de la biosécurité dans toutes les exploitations de volailles. Elles ont permis, localement, d'identifier les élevages dans lequel l'observance des mesures de biosécurité est la plus faible. Au niveau national, ces inspections ont permis de rendre compte de manière plus générale des territoires et des types de production dans lesquelles l'observance des mesures de biosécurité est susceptible d'être la plus faible (DGAI 2019b). L'appréciation des faibles niveaux de biosécurité est désormais prise en compte pour qualifier les élevages à risque, au moment de prioriser les visites d'inspection de biosécurité (DGAI 2018b). Il est à noter qu'à partir de 2018, des éléments relatifs à la réglementation propre à la lutte contre les salmonelles ont aussi été intégrés dans les critères d'échantillonnage. Ainsi, les élevages de volailles n'adhérant pas à la « charte sanitaire », et donc moins régulièrement contrôlés vis-à-vis de mesures de biosécurité propres à la lutte contre les salmonelles, sont désormais ajoutés à la liste des élevages à inspecter en priorité.

L'analyse des résultats d'inspection nous a permis d'identifier les typologies d'élevages susceptibles de présenter des niveaux faibles d'observance, sur la base de données de localisation et sur la base de types d'espèces ou de filière (chair, ponte, canards gras, etc.). En revanche, alors que cela aurait fourni des éléments d'interprétation supplémentaires, il n'a pas été possible d'obtenir d'indications sur le caractère intensif ou organisé des élevages (taille de l'élevage et des lots, appartenance à un système intégré versus indépendant ou pratiquant la vente en circuit court, élevage en plein-air, élevage sous signe de qualité). Les élevages en petits effectifs ne bénéficient pas du conseil technique et sanitaire d'une coopérative agricole. On ne peut pas non plus évaluer si les élevages en plein-air sont susceptibles d'avoir un niveau d'observance de la biosécurité faible ou au contraire important. Il existe des jeux de données renseignant ce type d'informations mais leur incorporation présente un défi technique important. Nous recommandons, pour augmenter les capacités d'interprétation, que des items de description des modes de productions soient ajoutés à la grille d'inspection.

2.4.5. Utilisation des données d'inspections pour étudier les facteurs de risque de contamination par l'influenza aviaire de sous-type H5N8

Le travail engagé sur les rapports d'inspections nous a donné la possibilité de valoriser ces derniers afin d'étudier les facteurs de risque associés à l'épizootie H5N8 *via* une approche de type « cas-témoins ». Cette approche, bien qu'imparfaite, a permis d'apporter des réponses sur les pratiques d'élevage à risque, sans avoir à réaliser de nouvelles visites d'élevages - qui étaient de fait inenvisageables dans le contexte de crise. Cette étude, qui présente l'originalité d'analyser les relations directes et indirectes entre variables, a permis de mettre en évidence les pratiques de biosécurité associées à la survenue des cas d'IAHP de sous-type H5N8 dans les élevages des Landes, en considérant 133 cas et 133 témoins (Guinat, Comin, et al. 2020). La mauvaise délimitation des zones a été identifiée comme facteur de risque direct vis-à-vis de la contamination par l'IAHP, et la mauvaise gestion des flux de personnes et de véhicules comme un facteur de risque indirect. Contre-intuitivement, mais probablement suite à des changements de pratiques survenus rapidement entre la déclaration d'un foyer et les inspections de biosécurité, il est apparu qu'une bonne gestion des cadavres était associée à un risque élevé de contamination par l'IAHP.

2.5. Article 1

Biosecurity measures in French poultry farms are associated with farm type and location

Authors: M. Delpont¹, C. Guinat¹, J.L. Guérin¹, E. Le Ieu², M-B. Peyrat³, J-P.Vaillancourt⁴, M.C. Paul¹

Affiliations:

¹IHAP, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, Toulouse, France.

²Direction régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Bretagne, Rennes, France.

³Direction Générale de l'Alimentation, Paris, France.

⁴Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Université de Montréal, St-Hyacinthe, QC, Canada.

Abstract word count: 179

The severe impact of recently reported Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) outbreaks have emphasized the need to better monitor biosecurity practices among the different French poultry production systems. Between September 2016 and May 2018, a large national cross-sectional study was carried out in France to assess biosecurity levels in high-risk poultry farms and identify farm biosecurity profiles, using Multiple Correspondence and Hierarchical Cluster Analyses. Results indicate that there is substantial room for improvement in cleaning and disinfection, anteroom management and delimitation of farm and production units for more than 50% of farms. The farm biosecurity profile showing the highest level of

biosecurity included commercial intensive poultry farms (gallinaceous poultry farms, in North-Western France), and those with a recent history of HPAI outbreak (duck farms, in South-Western France). The farms biosecurity profiles showing the lowest level of biosecurity included farms with multiple species (duck and gallinaceous poultry) or multiple production types (broilers and egg-layers), located in regions with a lower poultry density and without a recent history of HPAI outbreak. Outcomes provide support to adapt biosecurity improvement and inspection plans.

Keywords: biosecurity, French poultry farms, cluster analysis, highly pathogenic avian influenza, disease prevention

Main text word count: 3406

Introduction

Within the European Union (EU), France is the largest egg producer (15%) and the third largest poultry producer (11.4%), with a poultry meat production of 1.7 metric million tons in 2018 (Eurostat 2019). France is also the world's second leading duck producer (5.3%), behind China, with up to 250,000 tons of meat duck per year (FAOSTAT 2018). Specificities of the French poultry industry stem from the diversity of production systems (i.e. conventional, free-range, organic, etc.) and poultry species (i.e. broiler, turkey, duck, quail, etc.) that are spatially aggregated, with 70% of the national production located in the western part of the country. Between 2015 and 2017, the French poultry industry was severely hit by unprecedented

waves of highly pathogenic avian influenza (HPAI) outbreaks (Briand and others 2017; Guinat and others 2018), causing severe socio-economic losses for the poultry sector due to mass culling and restricted access to national and international trade. The 'foie gras' duck industry, highly developed in the south-western part of the country, was particularly affected by the outbreaks (Guinat and others 2018). One of the main features of this industry is the common separation of growing farms (raising ducks up to 12 weeks of age) and fattening farms (from 12 to 14 weeks of age), leading to intense live duck transportation between the different types of production farms.

Biosecurity has been highlighted as a key component in the prevention of many important infectious diseases affecting poultry, such as HPAI (Guinat and others 2020; Garber and others 2016; Gonzales and others 2017), infectious laryngotracheitis (Volkova and others 2012), Newcastle Disease (Wiseman and others 2018) and Salmonellosis (Snow and others 2010). A number of external biosecurity measures (i.e. farm entrance design, flow of vehicles, management of dead birds and manure disposal, etc.) are applied to prevent pathogens from entering the farm while internal biosecurity measures (i.e. cleaning and disinfection, distinction between clean and unclean areas, etc.) help to reduce the spread of pathogens within the farm. Following the recent HPAI outbreaks, biosecurity has become a major concern for French veterinary authorities, with the publication of new regulations on biosecurity related to the poultry industry, both at farm and regional (during transportation) levels (DGAI 2016). Similar regulatory initiatives can be found in other countries, such as the National Poultry Improvement Plan in the United States (NPIP Animal Health 2020), with some programs targeting specific diseases - such as salmonellosis or campylobacteriosis

(Koutsoumanis and others 2020) - and/or programs associated with some production guidelines (British Lion Code of Practice 2020).

However, it is unclear to which extent French poultry producers comply with on-farm biosecurity practices. Biosecurity gaps have been recently identified within a small subset of poultry farms specialized in 'foie gras' duck production, prior to HPAI epidemics (Delpont and others 2018). These gaps included the use of shared equipment, the absence of logbooks and non-functional anterooms. Several factors affecting compliance were suggested, including social pressure, perceived benefits of biosecurity and the level of farmer conscientiousness (Delpont and others 2020). As these studies only focused on duck production, results could not be generalized to the other French poultry industries. In other countries, a number of studies have investigated biosecurity on poultry farms. However, most of them have focused on a specific location and/or a specific epidemic context (Dorea and others 2010), have involved a low number of farms (Gelaude and others 2014; Scott and others 2018) or a single type of poultry production (Huang and others 2017; Van Limbergen and others 2018; Tanquilut and others 2020a,b).

In order to verify whether poultry farms adopted the new regulations, the French veterinary authorities launched biosecurity audits in January 2016.

Given the important socio-economic impact of recent HPAI outbreaks to the poultry sector, the objective of this study was to describe biosecurity practices among different poultry production systems in France, using veterinary authorities' inspection reports, and identify farm biosecurity profiles. Data generated by these audits may help adapt biosecurity management plans and also offer considerable opportunities for research, providing a

baseline assessment of biosecurity practices and enabling the identification of practices related to higher risk of poultry infectious disease incursion and spread at the national level.

Materials and methods

Farm selection

A total of 1,622 farms was selected as part of a large national campaign conducted by the French veterinary authorities to evaluate the level of adoption of biosecurity practices in poultry farms, following the HPAI outbreaks (between January 2016 and March 2018). They resulted from a targeted sampling of poultry farms carried out by local veterinary authorities, based upon an assessment of the level of risk of HPAI infection. The risk assessment took into account the following criteria: (i) having a history of HPAI in the farm, (ii) being close to a hatchery or a breeder farm (iii) producing ducks (or geese), alone or in combination with other poultry, since they were the most affected species by the H5N8 epidemic (Guinat and others 2018), (iv) being located in a zone with a high density of poultry farms (**Figure1**), (v) being located in a zone with a high density of wild birds. All selected farms were visited, as it was a government requirement.

Biosecurity practices

Data on biosecurity practices were collected through face-to-face questionnaires filled by official veterinary inspectors. All inspectors stemmed from local veterinary authorities and two inspectors were present during each farm audit. The inspectors had received training in biosecurity and the questionnaire was accompanied by an interview guide, which aimed at

standardizing data collection. The questionnaire consisted of 47 closed questions, covering internal and external biosecurity items. Responses, which were initially coded into four scores, from A (adequate) to D (major inadequacy), were recoded into binary variables: adequate (score A) and inadequate (scores B, C and D) in order to clearly differentiate farms following regulations from others. The total number of variables initially present in the questionnaire (n=47) was reduced after merging variables related to the same topic. Indeed, the initial questionnaire was designed to deal with a wide variety of farm layouts, leading at times to a few questions addressing the same issue. For example, the variable “training in biosecurity” encompassed two questions regarding biosecurity training certificates for farmers and farm employees. Also, variables with too numerous missing data were removed (i.e. when more than 90 farms lacked data). The final list of nine variables considered in this study is presented in **Table 1**. Additional data were also collected on farm characteristics (species, type of production and location). “Species” included farms producing only commercial waterfowl (ducks and geese are thereafter referred to as “ducks”), only gallinaceous poultry (chicken, turkeys and minor species such as guinea fowl or quail) or both commercial waterfowl and gallinaceous poultry (referred to as “mixed”). “Type of production” referred to the various stages of ‘foie gras’ production, meat duck production, breeder farms, egg-layers, meat-type gallinaceous poultry and finally farms combining different types of production. “Location” included: “Northwest” (comprising Bretagne, Pays-de-la-Loire, Normandie and Poitou-Charentes regions), “Southwest” (comprising Aquitaine and Midi-Pyrénées regions), and “Other” (comprising the rest of the territory), representing the main poultry production areas based on poultry farm density distribution (**Figure S1**). A variable combining “location” and “species” (referred to as “species, by region”) was produced in order to distinguish poultry industries (with a different history and culture) within a same production area. The two

variables on farm characteristics considered in this study are presented in **Table 2**. The full questionnaire is available in French (DGAI 2017).

Data analysis

The relationships between the biosecurity variables were first described using a Multiple Correspondence Analysis (MCA) (Dohoo and others 1997). MCA is an exploratory technique which allows the representation of the different variable categories as points in a low-dimensional space, using synthetic axes (or factors). The more variable categories are associated, the closer they are plotted to each other and the more frequent variable categories are recorded, the closer they are plotted to the origin of the axes. Farm characteristics were included as supplementary variables, meaning that they did not influence the analysis but were used to interpret the results. Farms sharing similar biosecurity practices were then aggregated into clusters (or profiles) according to the results of the MCA, using a Hierarchical Cluster Analysis (HCA), based on Ward's method. The over-representation of variables within each cluster (i.e. the identification of variables which best describe each cluster) was computed with a hypergeometric test (Husson and others 2017). The analysis was implemented in R software (R Core Team 2011) using the *FactomineR* package (Lê and others 2008).

Results

All inspections reports were not used in the analysis. As MCA does not allow missing data, 374 inspection reports with missing data for the chosen variables were discarded. Another 151 inspection reports were discarded for they were not filled accordingly to the

guidelines. Moreover, 93 inspection reports corresponding to follow-up visits were also discarded. A total of 1004 inspection reports were finally analyzed.

Most of the farms were located in the “Southwest” (514/1,004, 51.2%), followed by “Other” (312/1,004, 31.1%) (**Figure 1** and **Table 3**). Most of the farms were raising ‘foie gras’ ducks (510/1,004, 50.8%), followed by meat-type gallinaceous poultry (207/1,004, 20.6%) and egg-layers (99/1,004, 9.9%). Among the biosecurity variables, “training in biosecurity” showed the highest level of reported adoption (843/1,004, 84.0%) (**Table 3**), followed by “clear area around poultry units” (801/1,004, 80%) and “downtime” (784/1,004, 78%). Conversely, “cleaning and disinfection” showed the lowest level of reported adoption (509/1,004, 51%), followed by “delimitation of farm and units” (622/1,004, 62%) and “anterooms” (627/1,004, 62%).

The MCA was conducted on the six first factorial axes, accounting for 83.5 % of the variance. The HCA analysis resulted in the identification of four groups (or clusters) of farms based on their biosecurity level (**Table 3**). Most farms were classified as cluster 1 (529/1,004, 52.7%). Overall, farms in cluster 1 showed the highest reported level of adoption of biosecurity practices, with 9/9 adequate practices which were over-represented (meaning that they had a statistically higher percentage of adequacy than the average). Cluster 1 included a majority of duck farms located in the Southwest (294/529, 55.6%). To a lesser extent, this cluster was also characterized by gallinaceous poultry farms located in the Northwest (50/529, 9.5%). Farms in cluster 2 and 3 showed an intermediate reported level of adoption of biosecurity practices, with respectively 2/7 and 2/9 adequate practices which were over-represented. In cluster 2, 2/9 adequate practices were neither over- nor under-represented. Farms in cluster 2 had a higher reported level of adoption of biosecurity practices than in cluster 3, as in cluster

3 adequate practices were more often or more strongly under-represented (7/9 practices). Cluster 2 (141/1,004, 14.0%) was characterized by duck farms, predominantly located in the Southwest (71/141, 50.4%) and to a lesser extent in the Northwest (25/141, 17.7%) regions. However, duck farms located in the Southwest region were less represented in cluster 2 than in cluster 1 and duck farms located in the Northwest region were overall more represented in cluster 2. Cluster 3 (210/1,004, 20.9%) was predominantly characterized by gallinaceous poultry farms located in “Other” region (73/210, 34.8%), and, in terms of production type, by meat-type gallinaceous poultry (62/210, 29.5%). Overall, farms in cluster 4 (124/1,004, 12.4%) showed the lowest reported adoption of biosecurity practices, with 9/9 adequate practices which were under-represented. As in cluster 3, cluster 4 was predominantly characterized by gallinaceous poultry located in the “Other” region (46/124, 37.1%), but in terms of production type, cluster 4 was predominantly characterized by egg-layers (20/124, 16.1%). More generally, cluster 3 and 4 were rather well characterized by farms located in the “other” region and included a relatively high proportion of “mixed” production types.

Discussion

This study provides adoption rates of observable biosecurity measures in high-risk French poultry farms and proposes four farm profiles, based on farm structure and protocols. The biosecurity profiles are linked with specific poultry production types, species and region.

The sampling frame of this study is not representative of all poultry farms in France. It originates from an audit tool aimed at enforcing the proper application of biosecurity measures on high infection risk farms in the context of unprecedented epidemics of HPAI. For that reason, a non-random sampling targeting these high-risk farms was obtained. To achieve this, a number of farm characteristics associated with higher risk of HPAI infection were listed

in order to help local veterinary authorities perform their sampling. However, given the spatial heterogeneity in poultry production, these inclusion criteria could not always be met. Therefore, the inclusion criteria were different among French regions, in spite of sharing a similar objective. However, as MCA and HCA capture the variability within a dataset, the identification of profiles (linked with type of poultry and region) should have been similar with a random sampling. Considering that the 1,004 inspection reports involved on-site visits, this study provides data on a high number of farms and therefore a valuable overview on the degree of adequate biosecurity structures and protocols observed in various farm types and regions of France. Studies on biosecurity that involved on-site visits usually include a lower number of farms (64 to 339) (Van Steenwinkel and others 2011; Huang and others 2016; Van Limbergen and others 2018; Scott and others 2018; Delpont and others 2018) by contrast to phone interviews (1,715 farms; East, 2007). The participation rate was 100% since farm inspections were compulsory, as they were performed by veterinary authorities. As a consequence, selection bias is not an issue.

It is difficult to assess effective compliance with biosecurity measures (i.e. the proportion of times that a given measure is correctly applied), as routine biosecurity measures cannot be properly assessed, unless cameras or tracing devices are installed on farms (Racicot and others 2011). Such tools can only be used for research purposes, on a low number of farms. However, data obtained during farm visits may be more reliable than in postal or telephone questionnaires, as direct observations provide a more objective assessment of farm biosecurity (Nespeca and others 1997). In this study, different sources of information were used: formal observations, verification of farm-records and questions asked to the farmer. The questions which only relied on farmer statements may lead to inaccurate answers on the part

of some respondents, more importantly considering of the formal aspects of these inspections by veterinary authorities. The high number of inspectors involved with biosecurity auditing may introduce a bias: biosecurity practices might be assessed with variable severity. To prevent this, the inspectors were given inspection guidelines and received a training in biosecurity. The questionnaire was designed to fit several types of production while some biosecurity measures are type-specific. As a consequence, some variables had to be removed as numerous missing data could not be avoided. For example, variables related to the management of outdoor ranging areas were not assessed in this study, as the study population also included farm types which do not provide outdoor access.

Among the 1,004 farms, the variable which showed the highest rate of reported adoption was “Training in biosecurity”. This result is not surprising since this training is compulsory and requires little investment (usually a day-long training and attendance fees were supported by various organizations). Concerning the farmers who did not comply, as the first official training sessions in biosecurity only started in 2016, it is possible that they had already planned to attend such workshops by the time they were inspected. Although knowledge in biosecurity is necessary (Delpont and others 2020), it may not be sufficient for the effective application of biosecurity measures. In a study conducted among poultry catchers, knowledge in biosecurity was satisfactory but the catchers explained that they did not perform the biosecurity measures because they were not given enough time to do so (Millman and others 2017). Overall, 70.6% of farmers had a comprehensive biosecurity plan for their farm. Similarly, in Australia, this item presented rates of adoption between 50 and 100%, depending on the type of poultry (Scott and others 2018). Two of the variables with the lowest level of reported adoption, namely “anterooms” and the “delimitation of farm and

units”, refer to the concept of separating specific zones, both within the farm and with the outside. Inadequate “Delimitation of farm and units” was recently found to be positively associated with a previous HPAI infection in duck farms (Guinat and others 2020). Although the separation of zones is one of the key principles of biosecurity (Dewulf and others 2018), it is not often well understood in practice by farmers. The complexity of applying proper anteroom biosecurity measures (including the proper separation of zones) was demonstrated in a study reporting a total of 44 different biosecurity errors related to broiler and turkey barn anterooms (Racicot and others 2011).

This study distinguished four groups of farms according to their level of biosecurity. Results showed that farms with the highest level of biosecurity (cluster 1) were mainly mule duck farms located in the southwest of France. Since this type of farm was the most affected by the HPAI outbreaks (Briand and others 2018; Napp and others 2018), this result may indicate that having experienced HPAI outbreaks is likely to lead farmers to improve the structural layout of their facilities in order to apply biosecurity measures and to have proper protocols in place. We considered here that the whole Southwest area did experience the outbreaks, as strict control measures were implemented in the area (poultry movement restrictions, culling of healthy flocks, temporary ban on duck production). The effect of disease experience on the adoption of biosecurity measures was also described in a different context: in poultry farms in Georgia, USA, biosecurity measures were more respected in the area where outbreaks of infectious laryngotracheitis occurred (Dorea and others 2010). A possible explanation for the effect of disease experience on biosecurity is that of an increase in risk perception (Garforth 2015). The high level of reported adoption of biosecurity measures in gallinaceous poultry farms located in the “Northwest” region may be due to experiencing

more endemic diseases, such as infectious bronchitis, as it is the region with the highest poultry-farm density (**Figure S1**) and the risk of farm-to-farm transmission is therefore more important (Fernandez 1995; Bonney and others 2018; Franzo and others 2020). Also, the fact that it is a highly integrated industry may increase the availability of technical advice in the field of biosecurity (Niemi and others 2016; Cui and others 2019). The presence in low-biosecurity clusters (clusters 3 and 4) of mix production farms may be linked to a lower degree of specialisation and technicity by the farmers. In that regard, it would have been interesting to study the effect of farm size, as it has been previously shown that farm size may be related to the level of biosecurity (Hernández-Jover and others 2012; Niemi and others 2016; Delpont and others 2020; Tanquilut and others 2020a). However, such information was not available for our study.

This study optimizes the use of data collected during on-farm biosecurity inspections (DGAI 2019). It provides a baseline assessment and compares biosecurity practices in a high number of farms, in multiple production types and in different French poultry-producing regions, differently impacted by epidemic outbreaks of HPAI. The results of this study may change the sampling criteria for future biosecurity inspection campaigns. For instance, mix farms (producing ducks and gallinaceous poultry) and egg-layer farms, especially in the “other” region should receive special consideration. Also, data generated on high-risk farms should enable the design of more context-adapted training, diseases awareness campaigns and other types of intervention, in the view of decreasing the risk of disease incursion and spread at national level.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the Direction Générale de l'Alimentation (DGAI) of the French Ministry of Agriculture for providing the data. They are also grateful to Aurelia Payot (ENVT-INRAE, France) for providing useful comments on this research. This work was carried out within the framework of the Chaire de Biosécurité at the École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT), which is funded by the French Ministry of Agriculture and was supported by the UMR IHAP 1225 ENVT-INRAE. This work was financially supported by the FEDER/Région Occitanie Recherche et Sociétés 2018 - AI-TRACK.

Conflict of interest statement

The authors have no competing interests to declare.

Ethical approval

Due to the nature of the study, formal approval from an Ethic Committee was not a requirement at the time of the study.

Data availability statement

Data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author. Data are not publicly available due to privacy or ethical restrictions.

References

- BONNEY, P.J., MALLADI, S., BOENDER, G.J., WEAVER, J.T., SSEMATIMBA, A., HALVORSON, D.A. and CARDONA, C.J. (2018) Spatial transmission of H5N2 highly pathogenic avian influenza between Minnesota poultry premises during the 2015 outbreak. *PLOS ONE* **13**, e0204262.
- BRIAND, F.X., NIQUEUX, E., SCHMITZ, A., HIRCHAUD, E., QUENAULT, H., ALLÉE, C., LE PRIOUX, A., GUILLOU-CLOAREC, C., OGOR, K., LE BRAS, M.O., GARES, H., DANIEL, P., FEDIAEVSKY, A., MARTENOT, C., MASSIN, P., LE BOUQUIN, S., BLANCHARD, Y. and ETERRADOSSI, N. (2018) Emergence and multiple reassortments of French 2015–2016 highly pathogenic H5 avian influenza viruses. *Infection, Genetics and Evolution* **61**, 208–214.
- BRIAND, F.-X., SCHMITZ, A., OGOR, K., LE PRIOUX, A., GUILLOU-CLOAREC, C., GUILLEMOTO, C., ALLÉE, C., LE BRAS, M.-O., HIRCHAUD, E., QUENAULT, H., TOUZAIN, F., CHERBONNEL-PANSART, M., LEMAITRE, E., COURTILLON, C., GARES, H., DANIEL, P., FEDIAEVSKY, A., MASSIN, P., BLANCHARD, Y., ETERRADOSSI, N., VAN DER WERF, S., JESTIN, V. and NIQUEUX, E. (2017) Emerging highly pathogenic H5 avian influenza viruses in France during winter 2015/16: phylogenetic analyses and markers for zoonotic potential. *Eurosurveillance* **22**. doi:10.2807/1560-7917.ES.2017.22.9.30473.
- British Lion Code of Practice (2020). <https://www.egginfo.co.uk/british-lion-code-practice>. Accessed July 7, 2020.
- CUI, B., LIU, Z.P., KE, J. and TIAN, Y. (2019) Determinants of highly pathogenic avian influenza outbreak information sources, risk perception and adoption of biosecurity behaviors among poultry farmers in China. *Preventive Veterinary Medicine* **167**, 25–31.
- DELPONT, M., BLONDEL, V., ROBERTET, L., DURET, H., GUERIN, J.-L., VAILLANCOURT, J.-P. and PAUL, M.C. (2018) Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France. *Preventive Veterinary Medicine* **158**, 78–88.
- DELPONT, M., RACICOT, M., DURIVAGE, A., FORNILI, L., GUERIN, J., VAILLANCOURT, J. and PAUL, M.C. (2020) Determinants of biosecurity practices in French duck farms after a H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza epidemic: The effect of farmer knowledge, attitudes and personality traits. *Transboundary and Emerging Diseases*.
- DEWULF, J., IMMERSEEL, F.V., DEWULF, J. and IMMERSEEL, F.V. (2018) Biosecurity in Animal Production and Veterinary Medicine. *Acco*.
- DGAL (2016) Arrêté du 8 février 2016 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire [Available at:

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000032000273>
(Accessed in March 2018)].

DGAL (2017) Instruction Technique. Modalités d'application et de contrôle des mesures de biosécurité dans les exploitations de volailles. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2017-756>. Accessed February 7, 2020.

DGAL (2019) Note de Service. Biosécurité en élevages de volailles - Bilan des inspections réalisées par les DD(CS)PP et les DAAF de 2016 à 2018. <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2019-601>. Accessed December 29, 2020.

DOHOO, I.R., DUCROT, C., FOURICHON, C., DONALD, A. and HURNIK, D. (1997) An overview of techniques for dealing with large numbers of independent variables in epidemiologic studies. *Preventive veterinary medicine* **29**, 221–239.

DOREA, F.C., BERGHAUS, R., HOFACRE, C. and COLE, D.J. (2010) Survey of biosecurity protocols and practices adopted by growers on commercial poultry farms in Georgia, US A. *Avian diseases* **54**, 1007–1015.

EUROSTAT (2019) Poultry meat production in EU at new high in 2018 [Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190325-1> (accessed in February 2020)].

FAOSTAT (2018) Livestock primary - meat duck [Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> (Accessed in February 2020)].

FERNANDEZ, D.V. (1995) Determinants of Productivity in Commercial Tom Turkey Operations. https://books.google.fr/books/about/Determinants_of_Productivity_in_Commerci.html?id=CehIAAAAYAAJ&redir_esc=y.

FRANZO, G., TUCCIARONE, C.M., MORENO, A., LEGNARDI, M., MASSI, P., TOSI, G., TROGU, T., CERUTI, R., PESENTE, P., ORTALI, G., GAVAZZI, L. and CECCHINATO, M. (2020) Phylodynamic analysis and evaluation of the balance between anthropic and environmental factors affecting IBV spreading among Italian poultry farms. *Scientific Reports* **10**, 7289.

GARBER, L., BJORK, K., PATYK, K., RAWDON, T., ANTOGNOLI, M., DELGADO, A., AHOLA, S. and MCCLUSKEY, B. (2016) Factors Associated with Highly Pathogenic Avian Influenza H5N2 Infection on Table-Egg Layer Farms in the Midwestern United States, 2015. *Avian Diseases* **60**, 460–466.

GARFORTH, C. (2015) Livestock Keepers' Reasons for Doing and Not Doing Things Which Governments, Vets and Scientists Would Like Them to Do. *Zoonoses and Public Health* **62**, 29–38.

- GELAUDE, P., SCHLEPERS, M., VERLINDEN, M., LAANEN, M. and DEWULF, J. (2014) Biocheck.UGent: A quantitative tool to measure biosecurity at broiler farms and the relationship with technical performances and antimicrobial use. *Poultry Science* **93**, 2740–2751.
- GONZALES, J.L., ELBERS, A.R.W. and BEERENS, N. (2017) Risk factors of primary introduction of highly pathogenic and low pathogenic avian influenza virus into European poultry holdings, considering at least material contaminated by wild birds and contact with wild birds. *EFSA Supporting Publications* **14**, 1282E.
- GUINAT, C., COMIN, A., KRATZER, G., DURAND, B., DELESALLE, L., DELPONT, M., GUÉRIN, J.L. and PAUL, M.C. (2020) Biosecurity risk factors for highly pathogenic avian influenza (H5N8) virus infection in duck farms, France. *Transboundary and Emerging Diseases* **n/a**. doi:10.1111/tbed.13672.
- GUINAT, C., NICOLAS, G., VERGNE, T., BRONNER, A., DURAND, B., COURCOUL, A., GILBERT, M., GUÉRIN, J.L. and PAUL, M.C. (2018) Spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N8 spread, France, 2016 to 2017. *Eurosurveillance* **23**. doi:10.2807/1560-7917.ES.2018.23.26.1700791.
- HERNÁNDEZ-JOVER, M., TAYLOR, M., HOLYOAKE, P. and DHAND, N. (2012) Pig producers' perceptions of the Influenza Pandemic H1N1/09 outbreak and its effect on their biosecurity practices in Australia. *Preventive Veterinary Medicine* **106**, 284–294.
- HUANG, Z., LOCH, A., FINDLAY, C. and WANG, J. (2017) Adoption of HPAI biosecurity measures: The Chinese broiler industry. *Journal of Integrative Agriculture* **16**, 181–189.
- HUANG, Z., ZENG, D. and WANG, J. (2016) Factors affecting Chinese broiler farmers' main preventive practices in response to highly pathogenic avian influenza. *Preventive Veterinary Medicine* **134**, 153–159.
- HUSSON, F., LE, S. and PAGÈS, J. (2017) *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R*, Second Edition. CRC Press.
- KOUTSOUMANIS, K., ALLENDE, A., ALVAREZ-ORDÓÑEZ, A., BOLTON, D., BOVER-CID, S., DAVIES, R., CESARE, A.D., HERMAN, L., HILBERT, F., LINDQVIST, R., NAUTA, M., PEIXE, L., RU, G., SIMMONS, M., SKANDAMIS, P., SUFFREDINI, E., ALTER, T., CROTTA, M., ELLIS-IVERSEN, J., HEMPEN, M., MESSENS, W. and CHEMALY, M. (2020) Update and review of control options for *Campylobacter* in broilers at primary production. *EFSA Journal* **18**, e06090.
- LÊ, S., JOSSE, J. and HUSSON, F. (2008) FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software* **25**, 1–18.

- MILLMAN, C., CHRISTLEY, R., RIGBY, D., DENNIS, D., O'BRIEN, S.J. and WILLIAMS, N. (2017) "Catch 22": Biosecurity awareness, interpretation and practice amongst poultry catchers. *Preventive Veterinary Medicine* **141**, 22–32.
- NAPP, S., MAJÓ, N., SÁNCHEZ-GÓNZALEZ, R. and VERGARA-ALERT, J. (2018) Emergence and spread of highly pathogenic avian influenza A(H5N8) in Europe in 2016-2017. *Transboundary and Emerging Diseases* **65**, 1217–1226.
- NESPECA, R., VAILLANCOURT, J.-P. and MORROW, W.M. (1997) Validation of a poultry biosecurity survey. *Preventive veterinary medicine* **31**, 73–86.
- NIEMI, J.K., SAHLSTRÖM, L., KYRÖ, J., LYTIKÄINEN, T. and SINISALO, A. (2016) Farm characteristics and perceptions regarding costs contribute to the adoption of biosecurity in Finnish pig and cattle farms. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies* **97**, 215–223.
- NPIP Animal Health (2020). <http://www.poultryimprovement.org/default.cfm>. Accessed July 7, 2020.
- R CORE TEAM (2011) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, [Available at: <http://www.R-project.org> (Accessed in April 2017)].
- RACICOT, M., VENNE, D., DURIVAGE, A. and VAILLANCOURT, J.-P. (2011) Description of 44 biosecurity errors while entering and exiting poultry barns based on video surveillance in Quebec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine* **100**, 193–199.
- SCOTT, A.B., SINGH, M., GROVES, P., HERNANDEZ-JOVER, M., BARNES, B., GLASS, K., MOLONEY, B., BLACK, A. and TORIBIO, J.-A. (2018) Biosecurity practices on Australian commercial layer and meat chicken farms: Performance and perceptions of farmers. *PLOS ONE* **13**, e0195582.
- SNOW, L., DAVIES, R., CHRISTIANSEN, K., CARRIQUE-MAS, J., COOK, A. and EVANS, S. (2010) Investigation of risk factors for Salmonella on commercial egg-laying farms in Great Britain, 2004–2005. *Veterinary Record* **166**, 579–586.
- TANQUILUT, N.C., ESPALDON, M.V.O., ESLAVA, D.F., ANCOG, R.C., MEDINA, C.D.R., PARASO, M.G.V. and DOMINGO, R.D. (2020a) Biosecurity assessment of layer farms in Central Luzon, Philippines. *Preventive Veterinary Medicine* **175**, 104865.
- TANQUILUT, N.C., ESPALDON, M.V.O., ESLAVA, D.F., ANCOG, R.C., MEDINA, C.D.R., PARASO, M.G.V., DOMINGO, R.D. and DEWULF, J. (2020b) Quantitative assessment of biosecurity in broiler farms using Biocheck.UGent in Central Luzon, Philippines. *Poultry Science* **99**, 3047–3059.
- VAN LIMBERGEN, T., DEWULF, J., KLINKENBERG, M., DUCATELLE, R., GELAUDE, P., MÉNDEZ, J., HEINOLA, K., PAPA SOLOMONTOS, S., SZELESZCZUK, P., MAES, D., and ON BEHALF

- OF THE PROHEALTH CONSORTIUM (2018) Scoring biosecurity in European conventional broiler production. *Poultry Science* **97**, 74–83.
- VAN STEENWINKEL, S., RIBBENS, S., DUCHEYNE, E., GOOSSENS, E. and DEWULF, J. (2011) Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. *Preventive Veterinary Medicine* **98**, 259–270.
- VOLKOVA, V., THORNTON, D., HUBBARD, S.A., MAGEE, D., CUMMINGS, T., LUNA, L., WATSON, J. and WILLS, R. (2012) Factors associated with introduction of infectious laryngotracheitis virus on broiler farms during a localized outbreak. *Avian diseases* **56**, 521–528.
- WISEMAN, A., BERMAN, E. and KLEMENT, E. (2018) Risk factors for Newcastle disease in broiler farms in Israel. *Preventive veterinary medicine* **149**, 92–97.

Tables

Table 1. Description of the nine variables related to biosecurity practices

Variable name	Description	Number of farms (%)
Biosecurity plan	Presence of a biosecurity plan	709 (70.6)
Training in biosecurity	Farmer and employees have a biosecurity training certificate	843 (84.0)
Delimitation of farm and units	Adequate definition and actual delimitation of zones within and around the farm (sheds and outdoor range, professional zone, public zone), with signs, fences, chains, etc.	622 (62.0)
Management of vehicle movements	Presence of a traffic map reporting movements of vehicles in the different zones (identification of intersection of movements in time or space, putative entry of the rendering truck within the farm, etc.)	735 (73.2)
Anterooms	Adequate anteroom location, conformation (clear distinction of at least two zones) and equipment (should allow proper handwashing and changing of boots and overalls)	627 (62.5)
Cleaning and disinfection	Existence of an updated cleaning and disinfection protocol, sheds are in a condition which allows proper decontamination, easy access to ventilation, feeding, watering and manure disposal systems	509 (50.7)
Clear area around poultry units	The area around poultry sheds is clear of useless material, food spillage and vegetal overgrowth	801 (79.8)
Pest management protocol	Existence of an updated pest management protocol (location of baits, recording of bait consumption)	654 (65.1)
Downtime	Downtime durations are respected	784 (78.1)

Table 2. Description of the two variables related to farm characteristics

Variable name	Number of farms (%)
Production type	
'Foie gras' ducks: fattening stage	163 (16.2)
'Foie gras' ducks: growing stage	180 (17.9)
'Foie gras' ducks: both stages	167 (16.6)
Meat ducks (i.e., non-related to 'foie gras' production)	18 (1.8)
Mixed: ducks and gallinaceous poultry*	81 (8.1)
Mixed: meat-type gallinaceous poultry* and egg-layers	39 (38.9)
Meat-type gallinaceous poultry* (i.e., egg-layers are excluded)	207 (20.6)
Egg-layers	99 (9.9)
Breeders (reproduction)	50 (5.0)
Species, by region	
Gallinaceous poultry*, "Southwest"	57 (5.7)
Gallinaceous poultry*, "Northwest"	79 (7.9)
Gallinaceous poultry*, "Other**"	218 (21.7)
Ducks, "Southwest"	423 (42.1)
Ducks, "Northwest"	87 (8.7)
Ducks, "Other**"	41 (4.1)
Mixed (both ducks and gallinaceous poultry*), "Southwest"	34 (3.4)
Mixed (both ducks and gallinaceous poultry*), "Northwest"	12 (1.2)
Mixed (both ducks and gallinaceous poultry*), "Other**"	53 (5.3)

*: gallinaceous poultry refers to chicken, turkey of guinea fowl

**: "Other" refers to the zone which neither comprises Southwest nor Northwest

Table 3. Results of the hierarchical clustering analysis (HCA) performed on the multiple correspondence analysis (MCA). No data is given when the variable is not statistically over- or under-represented in a group (hypergeometric test, p.value > 0.05).

Variable	Cluster 1 (n=529)	Cluster 2 (n=141)	Cluster 3 (n=210)	Cluster 4 (n=124)	total
	% in the cluster	% in the cluster	% in the cluster	% in the cluster	%
Biosecurity variables					
Biosecurity plan	96.2	-	41.0	19.4	70.6
Training in biosecurity	93.8	97.2	100.0	0.0	84.0
Delimitation of farm and units	86.2	48.9	33.3	21.8	62.0
Management of vehicle movements	95.8	64.5	48.1	29.0	73.2
Anterooms	87.9	46.8	33.3	21.0	62.5
Cleaning and disinfection	83.2	22.0	10.0	13.7	50.7
Clear area around poultry units	97.9	0.0	96.7	64.5	79.8
Pest management protocol	92.2	47.5	29.5	29.8	65.1
Downtime	99.1	-	51.0	35.5	78.1
Farm characteristics					
Production type					
<i>'Foie gras' ducks: growing stage</i>	20.2	27.0	8.6	-	17.9

<i>'Foie gras' ducks: fattening stage</i>	18.5	22.7	-	6.5	16.2
<i>'Foie gras' ducks: both stages</i>	20.2	-	-	8.1	16.6
<i>Meat ducks</i>	0.9	-	-	-	1.8
<i>Mixed: ducks and gallinaceous poultry</i>	5.5	-	11.9	14.5	8.1
<i>Mixed: meat-type gallinaceous poultry and egg- layers</i>	0.8	-	9.5	8.9	3.9
<i>Meat-type gallinaceous poultry</i>	-	13.5	29.5	-	20.6
<i>Egg-layers</i>	-	2.8	-	16.1	9.9
<i>Species, by region</i>					
<i>Gallinaceous poultry, "Other"</i>	15.7	11.3	34.8	37.1	21.7
<i>Gallinaceous poultry, "Northwest"</i>	9.5	-	-	-	7.9
<i>Mixed (both ducks and gallinaceous poultry), "Other"</i>	2.3	1.4	9.5	15.3	5.3
<i>Ducks, "Other"</i>	1.7	-	7.6	9.7	4.1
<i>Ducks, "Northwest"</i>	4.9	17.7	-	16.1	8.7
<i>Ducks, "Southwest"</i>	55.6	50.4	21.4	10.5	42.1

Figure legends

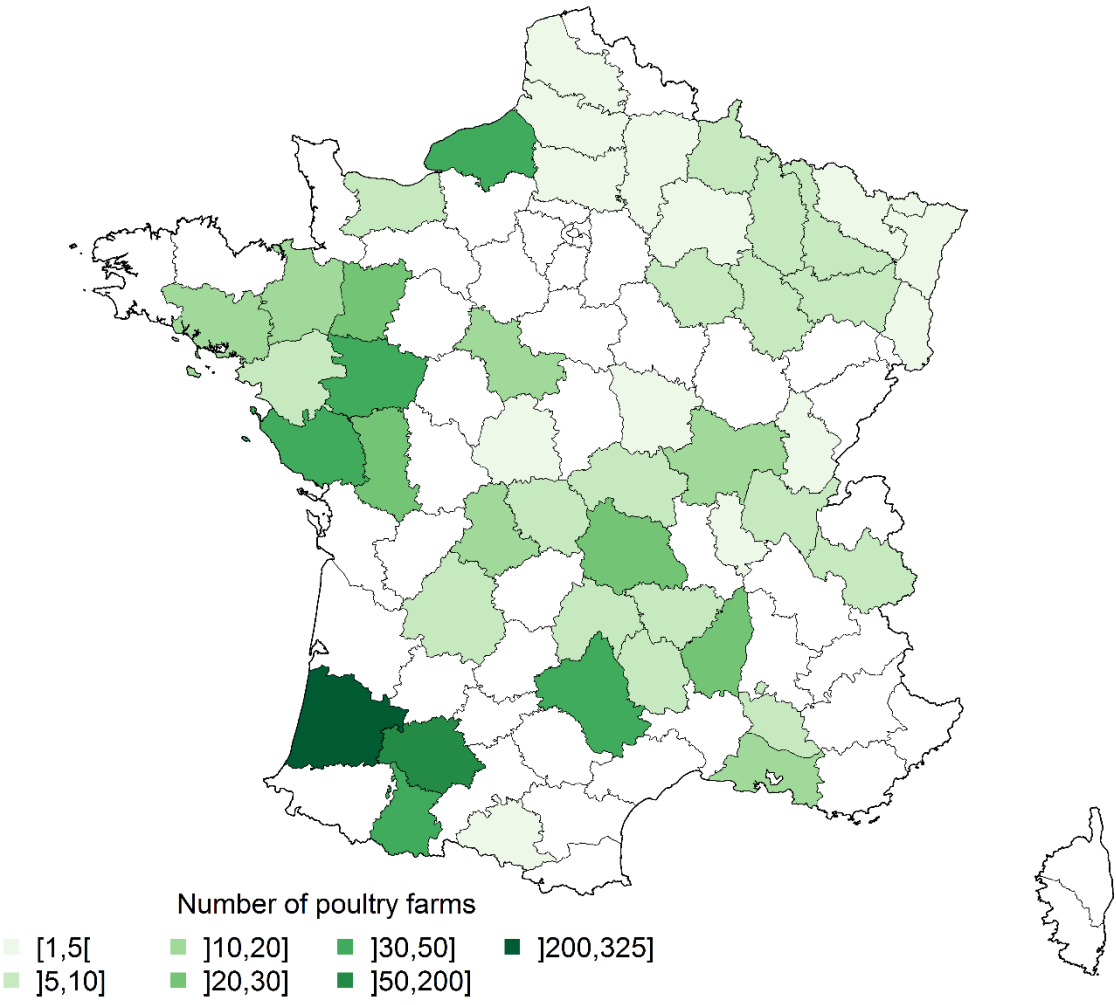


Figure 1. Spatial distribution of the 1004 poultry farms investigated in the study

Supplementary information

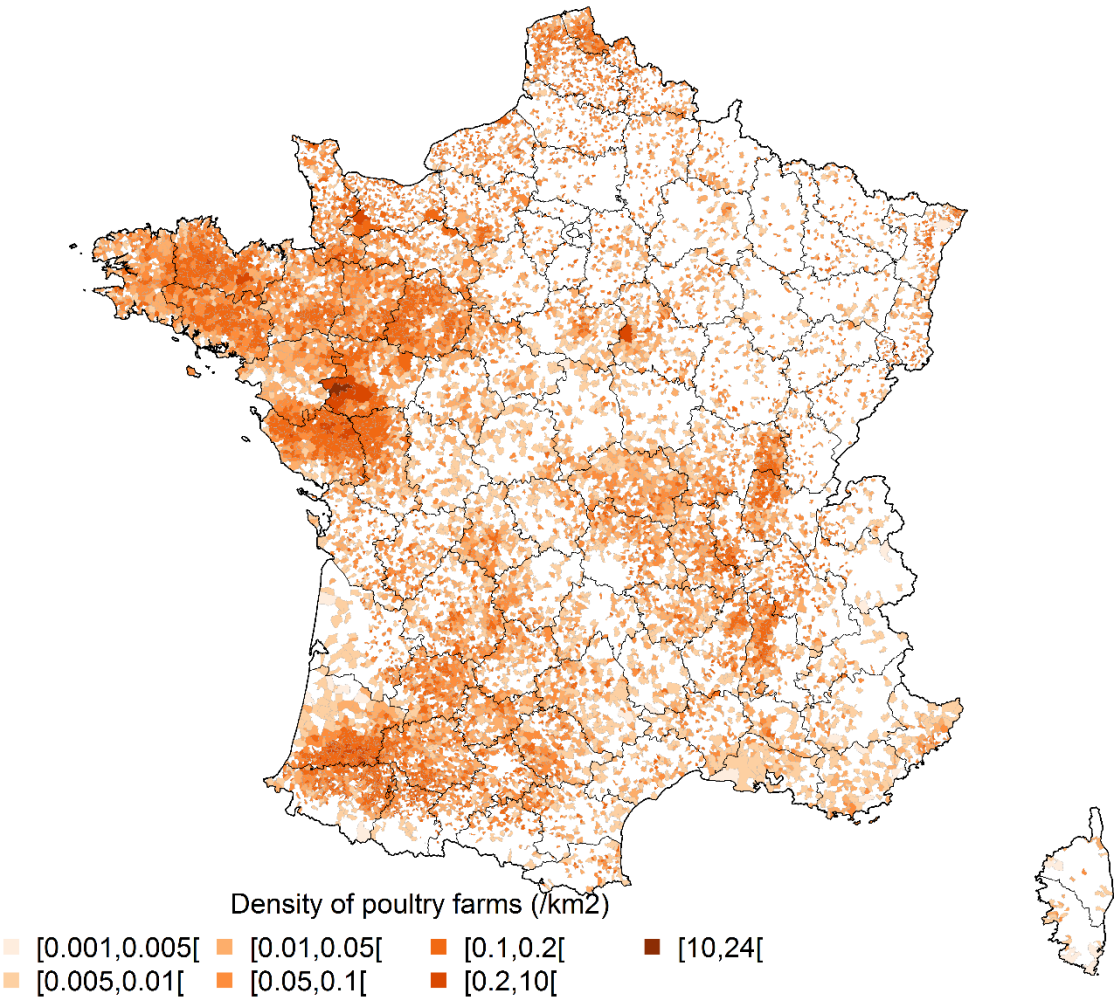


Figure S1. Spatial distribution of French poultry farms

3. EVALUATION DE LA BIOSECURITE EN ELEVAGES DE VOLAILLES : ETAT DES LIEUX A L'ECHELLE DE LA FILIERE DES PALMIPEDES A FOIE GRAS DU SUD OUEST, AVANT LA SURVENUE DES EPIDEMIES D'INFLUENZA AVIAIRE DE 2015-2017

3.1. Contexte, objectifs et problématique

Suite à l'ampleur de l'épidémie d'influenza aviaire de 2015-2016, il est apparu que les mesures de biosécurité en élevage demandaient une attention particulière. C'est pourquoi nous avons décidé de dresser un état des lieux des pratiques de biosécurité avant la mise en place du nouveau cadre réglementaire en 2016, dans la filière et le bassin qui ont été le plus touchés. Ce travail exploratoire devait nous permettre de mettre en évidence des failles de biosécurité pouvant expliquer l'ampleur de l'épidémie, autant que de constituer une référence servant à décrire les changements de pratiques de biosécurité attendus dans la filière. En outre, la filière des palmipèdes est composée d'élevages de types variés, liés aux choix de spécialisation dans les différentes phases d'élevages et aux modes de commercialisation. Nous avons donc fait l'hypothèse que la mise en oeuvre de certaines pratiques de biosécurité pouvait être reliée au type d'élevage considéré.

Dans la filière des palmipèdes à foie gras, la majorité de la production est réalisée par des élevages en intégration, dans les grands groupes coopératifs. On estime à 90% le volume de production généré au sein des huit plus grandes intégrations de palmipèdes à foie gras (FranceAgriMer 2020). En revanche, compte-tenu du caractère traditionnel et haut-de-gamme des produits issus des canards gras, un nombre important d'exploitations fonctionne en circuits courts, c'est-à-dire pratiquant la vente directe ou avec très peu d'intermédiaires. De ce fait, les exploitations concernées proposent l'abattage et la transformation à la ferme. La production de palmipèdes à foie gras se divise en deux phases. La première phase comprend l'élevage des palmipèdes avec accès à un parcours de plein air pendant un minimum de 12 semaines jusqu'à l'obtention des canards (ou oies) prêts-à-engraisser. La deuxième phase concerne le gavage (ou engraissement) des canards pendant une douzaine de jours en confinement dans des salles adaptées. Dans les systèmes en intégration, les élevages sont le plus souvent spécialisés soit en élevages de canards prêts-à-engraisser, soit en engraissement. Dans les systèmes en circuits-courts, les élevages proposent le plus souvent les deux phases de la production, ce qui conduit à considérer les élevages « en autarcie » (ou en « cycle fermé »), dans la mesure où les transports de canards prêts-à-engraisser sont limités. En réalité, l'autarcie est souvent incomplète dans la mesure où les calendriers de production et les tailles de bâtiments conduisent aussi les éleveurs en circuits-courts à acheter ou vendre des canards prêts-à-engraisser. C'est ce que nous désignerons par la suite par « cycle-ouvert ».

Le travail précédent ayant permis de rendre compte de l'hétérogénéité des pratiques à l'échelle du territoire national, celui-ci permet de se focaliser sur un même territoire et une même filière, rendant possible la mise en évidence d'autres facteurs à l'origine de l'hétérogénéité des pratiques. En outre, il permet d'inclure des élevages en « circuits-courts », caractérisés par un modèle économique et logistique différent de celui des élevages en intégration.

3.2. Méthode

Des visites ont été menées dans 46 élevages de palmipèdes à foie gras, sur la base d'un échantillonnage de convenance qui prenait en compte la diversité des modes d'élevage : éleveurs de canards prêts-à-engraisser, engraisseurs et élevages pratiquant à la fois la phase d'élevage et d'engraissement (cycle ouvert et cycle fermé). Par ailleurs, nous avons inclus à la fois des éleveurs pratiquant la vente directe et des éleveurs intégrés à des groupements de production. Dans ces élevages, un questionnaire de 80 questions ouvertes et fermées permettait de décrire les caractéristiques de la production (localisation de l'élevage, nombre de bâtiments, capacité des bâtiments) et d'y évaluer les grands domaines de la biosécurité (nettoyage et désinfection, gestion des effluents, utilisation des sas sanitaires par l'éleveur, les employés et les visiteurs, alimentation, véhicules et matériel, bâtiments, canards malades et cadavres, nuisibles, basse-cours et autres animaux de compagnie). Afin d'affiner la fiabilité des réponses au questionnaire, des données objectives ont aussi été collectées, sur la base d'observations directes de la part des enquêteurs (ex : indices de l'utilisation du lavabo tels que la présence de savon et d'essuie-mains, distance entre la zone de stockage du fumier et les aires d'élevage les plus proches, présence d'une basse-cour), ou de documents d'élevage (références des désinfectants utilisés). Ces visites, d'une durée de deux heures ont été menées par quatre enquêteurs vétérinaires ou étudiants vétérinaires ayant une expérience en productions avicoles.

Les données ont été analysées en produisant des profils d'élevages sur la base des pratiques de biosécurité. Les profils ont été construits par une analyse factorielle (analyse des composantes multiples) suivie d'une classification (classification ascendante hiérarchique, en utilisant la méthode de Ward et en consolidant les profils par la méthode des K-means). Dans chacun de ces profils, un test hypergéométrique permet de décrire dans quelle mesure les pratiques de biosécurité sont sur-représentées, ou à l'inverse, sous-représentées.

Les résultats de cette étude ont été publiés dans une revue internationale à comité de lecture (Delpont et al. 2018) et le manuscrit de cet article est présenté (en anglais) à la fin de cette partie.

3.3. Résultats

Dans cette étude, de nombreuses pratiques de biosécurité classiques présentaient un niveau d'application faible. C'est en particulier le cas des pratiques de biosécurité liées à l'utilisation du sas, qu'il s'agisse de l'éleveur ou des visiteurs : lavage des mains, changements de bottes, changement de tenue ou tenue d'un registre des visiteurs. Il est à noter que dans de nombreux cas (41%), les sas sanitaires n'étaient pas présents. Par ailleurs, nous montrons que les sites d'élevages étaient peu protégés des visiteurs (fermeture des portails, signalisation).

Trois profils d'éleveurs ont pu être établis sur la base des pratiques de biosécurité. Nos résultats montrent que ces profils sont associés à des modes de production (identifiés sur la base des caractéristiques d'élevage : élevage de canards prêts-à-engraisser et/ou engraissement, intégré vs autarcique, volumes de production...).

- Le premier profil (n= 21) était caractérisé par des élevages impliquant toutes les phases d'élevage et échangeant des canards prêts-à-engraisser, mais aussi les élevages de canards prêts-à-engraisser uniquement. Dans ce premier profil, les volumes de production étaient relativement plus importants et on y retrouvait plus fréquemment des élevages pratiquant la bande-multiple. Dans ce profil, il était plus fréquent que des équipements soient partagés avec d'autres éleveurs sans avoir mis en place de procédures de décontamination. En revanche, l'application d'un détergent pendant la phase de nettoyage des bâtiments était relativement fréquente. C'est le profil dans lequel les panneaux de restriction d'accès y étaient le plus utilisés, malgré une tendance à ne pas fermer les accès de l'exploitation. Les éleveurs changeaient plutôt peu les bottes et leur tenue entre les différents bâtiments, mais les sas disposaient de lavabos mieux équipés pour le lavage des mains. Enfin, dans ces exploitations, en fin de bande, les canards étaient le plus souvent ramassés en plusieurs fois.
- Le deuxième profil (n= 17) était majoritairement caractérisé par des élevages impliquant toutes les phases d'élevage, en autarcie, avec un volume de production moins élevé, et pratiquant plus souvent l'abattage et la transformation des canards à la ferme. En outre, les éleveurs avaient leur domicile attenant à l'exploitation. Dans ce profil, les restrictions d'accès y étaient moins signalisées, les visiteurs moins enregistrés dans le registre d'élevage, et le camion d'équarrissage venait vider le bac d'équarrissage au sein de la zone professionnelle. C'est dans ce profil que les sas sanitaires se sont avérés les moins présents. Par ailleurs, les animaux de compagnie (chiens) étaient fréquemment admis sur les parcours et dans les bâtiments d'élevage. En revanche, en fin de bande, les canards étaient ramassés en une seule fois. Enfin, un détergent y était rarement utilisé pour le nettoyage des locaux.
- Le troisième profil (n=8) était caractérisé par des élevages ne pratiquant que l'engraissement des canards, au sein d'un nombre peu important de bâtiments, dans un système en bande-unique. Les éleveurs concernés vivaient en dehors du site d'exploitation. Dans ce profil, il était très rare que les éleveurs partagent des équipements avec d'autres exploitations. En ce qui concerne les sas sanitaires, ils y étaient plus fréquents, le changement de bottes et de tenue plus souvent respecté, et les visiteurs plus souvent inscrits sur le registre des entrées.

En outre, certaines pratiques de biosécurité n'étaient sur- ou sous-représentées dans aucun des profils, et donc peu liées aux contraintes des différents modes de production. En effet, la présence d'une basse-cour, et le fait que les visiteurs changent peu leurs bottes dans l'exploitation étaient des pratiques courantes, quel que soit le profil considéré. Par ailleurs, dans la moitié des cas, les éleveurs avaient recours à de l'entraide (pour la vaccination et le ramassage) par des proches qui possédaient eux-mêmes des volailles.

3.4. Discussion

3.4.1. Echantillonnage et originalité de la population d'étude

Dans cette étude, l'échantillonnage n'était pas aléatoire, ce qui a pu conduire à des biais de sélection. Ce choix est lié à l'absence d'une base de données référençant les éleveurs pratiquant la vente en circuit courts, qui n'a pas permis de mener un tirage au sort.

Nous avons choisi de documenter les pratiques de biosécurité dans des secteurs qui ont rarement fait l'objet de ce type d'étude (les canards à foie gras, les productions de plein-air) (Scott, Singh, et al. 2018 ; East 2007). En outre, nous avons émis l'hypothèse que les contraintes spécifiques aux différents modes de production au sein même de la filière des palmipèdes à foie gras pouvaient avoir un effet sur l'application des mesures de biosécurité. En effet, le caractère autarcique des exploitations vis-à-vis des échanges de canards ou le fait de devoir accueillir des clients dans l'exploitation présentent des défis tout particuliers. C'est d'autant plus important d'étudier ces facteurs que les systèmes de production avec vente en circuits-courts sont en développement, au même titre que les productions de volailles de plein-air, qui font face au défi de l'interaction entre volailles et avifaune sauvage. De nombreuses espèces d'oiseaux sauvages peuvent être observées sur parcours (Burns et al. 2012 ; Scott, Phalen, et al. 2018) et l'utilisation de parcours de plein-air est reliée à un risque élevé de contamination des volailles par l'avifaune sauvage (Artois et al. 2009).

L'hétérogénéité des modes d'élevages considérés a conduit à la non-inclusion de certaines variables dans l'analyse factorielle, les pratiques de biosécurité liées à l'élevage en plein-air n'étant pas documentables chez les engraisseurs. En pratique, pour évaluer au mieux les pratiques de biosécurité dans les types d'élevages que nous avons rencontrés, il faut adapter les questionnaires à leurs particularités. C'est aussi l'une des raisons pour lesquelles nous n'avons pas utilisé de questionnaires de biosécurité déjà utilisés dans d'autres travaux de recherche (Gelaude et al. 2014).

3.4.2. Données récoltées et observance effective des pratiques

Un écart peut être mis en évidence entre les pratiques de biosécurité déclarées et les pratiques effectives, probablement dû à un biais de désirabilité sociale, l'éleveur donnant les réponses qu'il estime attendues par l'enquêteur (Nespeca et al. 1997). Nous avons dans cette étude contourné ce problème en croisant les sources d'informations (recours à des observations directes, et à des données chiffrées), mais aussi en posant des questions univoques, sans jugement de valeur. La formulation des questions a été testée auprès d'experts en biosécurité et nous avons par ailleurs veillé à donner les mêmes consignes à tous les enquêteurs, qui avaient une bonne connaissance des modes de production avicoles.

3.4.3. Pratiques de biosécurité et contraintes d'élevage

Les types d'élevages, et donc les différentes contraintes qui leur sont associés, ont semblé jouer un rôle important dans la constitution des profils de pratiques de biosécurité en élevages de palmipèdes à foie gras.

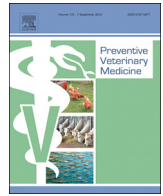
Le deuxième profil incluait de nombreux élevages en autarcie, qui pratiquent la vente à la ferme. L'activité commerciale sur le site d'exploitation a pu inciter les éleveurs à favoriser les comportements « agréables » vis-à-vis des visiteurs, avec une diminution des contraintes

d'enregistrement des visites, une moindre restriction de l'accès à la zone professionnelle et aux zones d'élevage (panneaux d'interdiction d'entrée) et le fait de cacher des matières jugées répugnantes (bac d'équarrissage pas mis évidence à la limite de la zone professionnelle). En outre, le fait d'utiliser plusieurs bâtiments de petite taille pourrait expliquer la moindre utilisation des sas (le coût d'installation des sas est plus important, car il en faut plus). De même, on peut aussi imaginer que les pratiques de changement de bottes et de lavage de mains n'étaient pas respectées car l'éleveur devait y consacrer plus de temps car il avait à visiter de plus nombreux bâtiments. Au sujet du temps passé pour certaines pratiques, on peut faire le même raisonnement pour le premier profil, qui présentait une moindre observance de changement de vêtements, et un nombre important de bâtiments d'élevage. En revanche, le fait d'avoir des bandes de canards moins nombreuses requiert un seul ramassage et diminuait donc les visites par des prestataires extérieurs. Les élevages du troisième profil, qui en majorité n'avaient qu'une activité d'engraissement, utilisaient moins de bâtiments et passaient donc plus de temps dans ceux-ci. Considérant en plus qu'il s'agit d'une activité qui demande un contact étroit avec les animaux, elle est plus « salissante » et pouvait de ce fait inciter les éleveurs à utiliser des vêtements de travail plus fréquemment. La relation entre durée des visites et observance des pratiques de biosécurité dans le sas a été mise en évidence en élevages de volailles, au Canada (Racicot et al. 2011). En outre, les bâtiments d'engraissement sont généralement plus autonomes (système souvent sur caillebotis, ne demandant pas de faire entrer des véhicules ni pour le paillage, ni pour le curage de la litière) et pourraient expliquer le recours moins fréquent au partage d'équipement.

3.4.4. Des failles de biosécurité identifiées

Cette étude a permis de mettre en évidence des failles de biosécurité en élevages de palmipèdes à foie gras, avant la survenue des crises influenza aviaire. Ces informations ont contribué à surveiller particulièrement certaines pratiques lors de changements qui ont eu lieu dans cette filière. Elles ont constitué une référence permettant d'évaluer – dans les grandes lignes – les domaines ayant fait l'objet des plus importantes transformations. Un aperçu de cette évolution est donné dans la partie suivante. Les failles de biosécurité les plus importantes concernent l'absence de sas dans les élevages ou bâtiments d'élevage et les pratiques qui y sont associées, comme le changement de bottes, de tenue, ou le lavage de mains. Ces pratiques sont pourtant nettement associées au risque de contamination en élevage, y compris par les virus influenza aviaire (Wells et al. 2017 ; Garber et al. 2016). En outre, le fait de posséder une basse-cour, sur le site de production ou à son domicile, fréquent dans cette étude, est jugé comme à risque et interdit dans différents filières et pays (communication personnelle).

3.5. Article 2



Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France

Mattias Delpont^{a,*}, Vincent Blondel^b, Luc Robertet^b, Hugues Duret^b, Jean-Luc Guerin^a, Jean-Pierre Vaillancourt^c, Mathilde C. Paul^a

^a IHAP, Université de Toulouse, INRA, ENVT, Toulouse, France

^b Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT), Toulouse, France

^c Clinical sciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Montreal, Canada

ARTICLE INFO

Keywords:

Epidemiology
Compliance
Waterfowl
Avian Influenza

ABSTRACT

On-farm biosecurity can be assessed by analyzing patterns of practices to better tailor technical advice to producers. Given their close contact with environmental and wildlife disease reservoirs, free-range duck farms are exposed to multiple risk factors of pathogen exposure that are rare or absent in indoor production. The recurrent emergence of Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) viruses in Southeast Asia and Europe has emphasized the importance of farm-level biosecurity on free-range duck farms.

This study was conducted on 46 French duck farms. The farms were visited and an 80-question survey was administered to assess biosecurity practices. Patterns of practices were explored with multiple correspondence analysis and hierarchical cluster analysis.

Farms were assigned to one of three clusters in which specific farm types were overrepresented: farms specialized in rearing to grow-out phases and open-circuit full cycle (i.e., all production phases on the farm) farms in cluster 1, closed-circuit full cycle farms in cluster 2, and farms specialized in gavage in cluster 3. Differences in practices might be linked with differences in production constraints.

This study provides a baseline assessment of biosecurity practices on foie gras duck farms in Southwest France and will help efforts to adapt biosecurity programs to farm types.

1. Introduction

Biosecurity and farm hygiene play a capital role in preventing the introduction and spread of infectious agents within and between poultry farms (Racicot and Vaillancourt, 2015). On-farm biosecurity measures have been shown to effectively prevent and control emerging or reemerging infectious diseases such as infectious laryngotracheitis (Volkova et al., 2012), reduce the incidence of endemic infections such as *Campylobacter* (Newell et al., 2011), improve technical and economic indicators (Fasina et al., 2012; Gifford et al., 1987; Tablante et al., 2002; Van Schaik et al., 2001) and tackle antibioresistance by reducing the use of antimicrobials (Laanen et al., 2013; Postma et al., 2017; Rojo-Gimeno et al., 2016). Biosecurity can be assessed by analyzing patterns of practices in order to better tailor advice to producers (Nöremark et al., 2010; Relun et al., 2015; Ribbens et al., 2008; Sarrazin et al., 2014). Several evaluation tools have been designed to assess biosecurity in pig, poultry and cattle production (Dorea et al., 2010; Laanen et al., 2013; Lewerin et al., 2015; Postma et al., 2016;

Sarrazin et al., 2014; Van Steenwinkel et al., 2011). Regarding poultry, Biocheck.UGent provides a scoring system tool based on external and internal biosecurity characteristics for broiler chickens (Gelaude et al., 2014); other works have explored biosecurity in backyard poultry (Conan et al., 2012; Madsen et al., 2013). However, the actual use of these tools remains limited to the specific production contexts in which they were developed. In addition, biosecurity-related literature regarding poultry production systems other than conventional broiler and layer farms remains scarce. In indoor layers, biosecurity has been described in different regions: Japan (Nishiguchi et al., 2007), Canada (Medhanie et al., 2013) and Bangladesh in smaller farms (Osmani et al., 2014). Biosecurity was also recently analyzed in both indoor and outdoor layer and broiler farms in Australia (Scott et al., 2018b). In France, some biosecurity practices were examined in regard to the risk of avian influenza in duck breeder flocks (Duvauchelle et al., 2013).

With 40,000,000 ducks produced in 2014, foie gras duck production represents an important share of the high-end poultry market in France. Southwest France is the world's leading producing region of fattened

Abbreviations: CM, closed-circuit full cycle farm; F, farm specialized in the gavage phase; HCA, hierarchical cluster analysis; HPAI, highly pathogenic avian influenza; MCA, multiple correspondence analysis; OM, open-circuit full cycle farm; RG, farm specialized in the rearing and grow-out phases

* Corresponding author at: UMR ENVT INRA 1225 IHAP, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23, Chemin des Capelles, 31076, Toulouse, France.

E-mail address: m.delpont@envt.fr (M. Delpont).

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.07.012>

Received 7 January 2018; Received in revised form 2 July 2018; Accepted 23 July 2018

0167-5877/© 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

ducks, supplying over 70% of world production. The production cycle of foie gras ducks consists of three different stages that may take place on a single farm or on separate specialized production sites: (i) rearing in confinement, (ii) grow-out with outdoor access, (iii) and gavage in adapted barns. In integrated companies, it is more frequent (however not systematic) for farms to be specialized either in rearing and grow-out or in gavage. It is not unusual in France for customers to buy agricultural goods directly on farms. This practice increases demand for farm visits and the need for farmers to comply with customers' ideals of production. This mostly applies to extensive farming and/or high added-value products. Given their close contact with environmental and wildlife disease reservoirs (Burns et al., 2012; Scott et al., 2018a), free-range farms - including duck farms - are potentially exposed to higher infectious pressure than indoor systems (Artois et al., 2009). In the Netherlands, the risk of infection by Low Pathogenic Avian Influenza was found to be significantly higher for outdoor-layers than for indoor-layers (Gonzales et al., 2013). Due to increasing consumer demand for food produced in extensive systems (Walley et al., 2015), the management of biosecurity under free-range conditions is a new challenge (Newell et al., 2011) that is poorly documented. Biosecurity issues in duck production have been receiving considerable attention with the reemergence of Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) viruses in Southeast Asia and Europe. First hit by H5N1, H5N2 and H5N9 HPAI subtypes in late 2015 (Briand et al., 2018), France has also been affected recently by a large HPAI H5N8 (clade 2.3.4.4) epidemic (Napp et al., 2018). Despite the implementation of extensive control measures, a total of 485 HPAI-H5N8 outbreaks have been reported to date throughout the country, mostly in duck flocks located in the Southwest region (Guinat et al., 2018). Given the specific reservoir role that ducks play in the epidemiology of avian influenza viruses (Alexander, 1997), important efforts are necessary to improve biosecurity in the French duck industry.

The present study aims to provide a baseline assessment of biosecurity practices on foie gras duck and goose farms in Southwest France prior to the 2015–2016 HPAI epidemic, based on data collected through farm visits and a statistical cluster analysis.

2. Material and methods

2.1. Selection of farms

The study focused on Southwest France, the most important region for foie gras production, and the area where most of the HPAI H5N8 outbreaks have been reported.

A total of 51 farms were selected. They were recruited by duck industry representatives for the purpose of the study based on a reported representativeness of the farms and their potential willingness to participate in the study. Two farmers refused to participate and three farms could not be visited because the farmers were unavailable. Hence, 46 farms were visited. The sample encompassed a diversity of farm types, with farms specialized in rearing to grow-out only (referred to as RG-type, $n = 16$), farms specialized in gavage (F-type, $n = 9$), and full cycle farms handling both phases (rearing to grow-out, as well as gavage). Some farms were “open-circuit” full cycle farms (OM-type, $n = 12$), selling or buying ducks between grow-out and gavage, or “closed-circuit” farms (CM-type, $n = 9$) corresponding to traditional farms on which the entire production process is carried out without purchase or sale of ducks for the gavage phase of production. CM, OM and RG-type farms contained both integrated and independent farms. The study farms were scattered across six departments in Southwest France: Aveyron ($n = 2$), Dordogne ($n = 6$), Gers ($n = 8$), Landes ($n = 22$), Lot ($n = 2$) and Pyrénées-Atlantiques ($n = 6$). A map is presented in Fig. 1.

2.2. Data collection

All farms were visited between February and July 2016 by four trained interviewers. The aim of the study, as well as the confidential nature of the data management and analysis, were explained to each participating farmer.

A questionnaire was developed to collect data on biosecurity practices, focusing on the situation before 2016 (i.e., before the avian influenza epidemics). It included 80 open and closed questions investigating general farm characteristics (location, capacity, duck houses) as well as the management of permanent and occasional farm staff, visitors, material, vehicles, houses, feeding, manure, sick and dead ducks, pests, and the presence of backyard flocks and companion animals.

Additional data were also collected based on the investigator's observations regarding, for example, anterooms (also known as hygiene locks, i.e., rooms which clearly separate a “clean” area closest to the door giving access to the birds and a “dirty” area closest to the exit door), the location of rendering containers and manure stockpiles, detergent labels and the presence of backyard flocks. Euclidian distances such as the shortest distance between duck farms and the shortest distance between farms and the nearest road were calculated using farm coordinates (Google Maps[®]). The farm visits lasted 2 h. Observations and questions were part of the same checklist and carried out simultaneously by the interviewer. The farm interview was made with the farm owner. To avoid spreading diseases, strict biosecurity rules were followed by the research team: single-use boots and coveralls were worn, hands were sanitized after each visit and the car was parked as far as possible from the barns. Furthermore, a maximum of three farms was visited each day and most visits took place during the farm cleanout. The experimental procedures used for this survey were approved by the ethics committee of the Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (Sciences et santé animales, number 115). The questionnaire in French is available upon request to the corresponding author.

3. Data editing and statistical analysis

Data were recorded in a Microsoft Excel[®] datasheet then analyzed using R software, version 3.3.3 (R Core Team, 2017).

In order to look for groups of farmers presenting similar biosecurity practices, a multiple correspondence analysis (MCA) was performed followed by a hierarchical cluster analysis (HCA). The multivariate analysis was performed with the “FactomineR” package (Le et al., 2008).

MCA is a descriptive exploratory method which summarizes into a graphic the information contained in a complex dataset of categorical variables. Data are represented as a “cloud” in a high dimensional Euclidian space and can then be summed up in a lower dimensional approximation, the cloud being projected on a given number of synthetic axes (or dimensions). The coordinates of the points account for the amount of variance. The shorter the distance between two points, the bigger the association. The HCA used Ward's method and was consolidated with the K-means method. HCA with Ward's method is a clustering method which identifies groups of points in the Euclidian space represented in the MCA (Husson et al., 2017).

Out of 80 variables, 40 were introduced in the MCA; farm type was introduced as a supplementary variable in the analysis. The remaining were discarded for various reasons: combination of distinct variables into a new one (7 variables), absence of variability between respondents (3 variables), variables related to outdoor ranges, presented through descriptive statistics in a specific Table (5 variables), lack of relevance and/or missing data (25 variables).

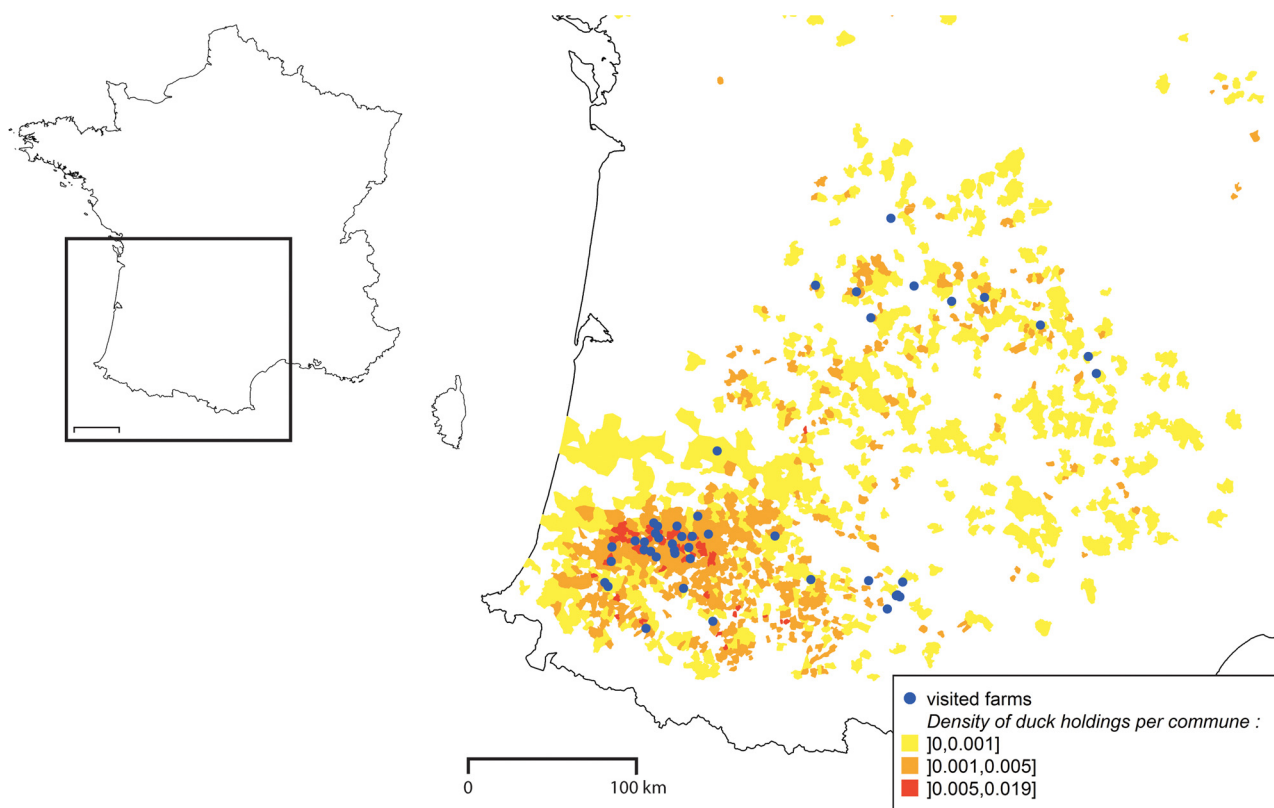


Fig. 1. Location and density of foie gras duck farms in Southwest France. Visited farms are shown in blue dots (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

4. Results

4.1. General characteristics of the study farms

Farm size ranged between an annual production of 1,200 and 75,000 ducks per year (Table 2). Out of the 46 farms studied, only 12 (26%) were single-age farms. Twenty-one farms (46%) had more than 4 barns, 14 (30%) had 3 or 4 barns, and 11 had 1 or 2 barns (24%). A large proportion of farmers lived on the farm site (36, i.e., 78%). The median distance to a neighboring duck farm was 889 m [IQR: 600–1485]. Most of the farms (35, i.e., 76%) were located more than 3 km away from the nearest slaughterhouse. The median distance between ducks and the closest road was 29.5 m [IQR: 7.75–106].

4.2. Multiple correspondence analysis (MCA)

The MCA was performed using five dimensions accounting for a total of 37.96% of the data variance, with the first and second dimensions explaining respectively 10.18 and 9.58% of the inertia. None of the remaining dimensions explained more than 5% of the inertia (Table 1).

The first dimension was best described by the use of barn specific coveralls by the farmer ($R^2 = 0.67$), the simultaneous presence of different flocks on the farm, i.e., flocks with ducks of different age and raised in separate barns ($R^2 = 0.57$), the use of barn specific boots by the farmer ($R^2 = 0.54$), and the number of barns on the farm ($R^2 = 0.46$). The variable related to farm type - although it did not contribute to the construction of the dimensions - was given a R^2 of 0.59 on this dimension. The second dimension was best described by ease of handwashing ($R^2 = 0.54$), the distance to the nearest slaughterhouse ($R^2 = 0.53$), the annual production ($R^2 = 0.52$), and multiple pick-up when ducks leave the farm ($R^2 = 0.41$).

Table 1

Eigenvalues and percentages of variance of the first ten dimensions obtained in the multiple correspondence analysis. They represent the amount of variability in biosecurity practices explained in each synthetic dimension.

	Eigenvalue	Percentage of variance	Cumulative percentage of variance
dim 1	0.153	10.18	10.18
dim 2	0.144	9.58	19.76
dim 3	0.108	7.21	26.97
dim 4	0.087	5.79	32.76
dim 5	0.078	5.21	37.96
dim 6	0.073	4.86	42.83
dim 7	0.067	4.46	47.29
dim 8	0.062	4.11	51.40
dim 9	0.056	3.70	55.10
dim 10	0.054	3.60	58.70

4.3. Hierarchical cluster analysis (HCA)

Based on the decrease in within-group inertia, the consolidated HCA revealed 3 clusters of farmers (Fig. 2). All farms fell inside the cluster boxes. Tables 2–6 show the distribution of biosecurity practices in each cluster together with the total sample population of farmers.

Concerning variables related to structural characteristics (Table 2), cluster 1 comprised both open-circuit full cycle farms (OM, 43%) and rearing to grow-out farms (RG, 48%). Farms from cluster 1 had a high annual production (81% produced more than 25,000 ducks per year) and large flocks (43% had flocks larger than 5,000 ducks). Most of the farms from this cluster were located far from a slaughterhouse (95%). Furthermore, cluster 1 comprised mostly multiple-age farms (90%). In Cluster 2, closed-circuit full cycle farms were over-represented (41% are CM, $p < 0.01$). Farms from cluster 2 had a low annual production (59% produced less than 10,000 ducks per year) and had small flocks (88% had flocks smaller than 2,100 ducks). A large percentage of flocks

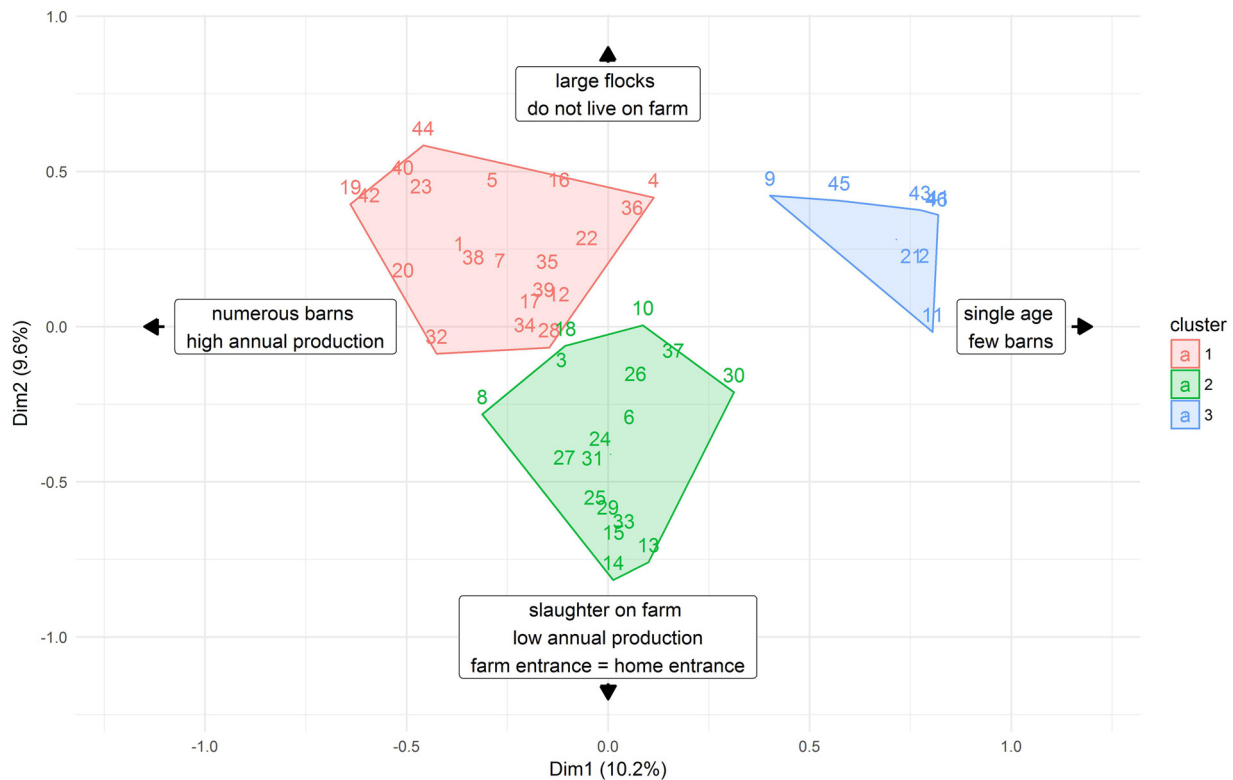


Fig. 2. Projection of the 46 French foie gras duck farms visited in 2016 on the two first dimensions and their clusters identified by the HCA. The boxes present the structural characteristics which contribute most to the construction of the axes.

were slaughtered on the farm (41%) in cluster 2 compared to cluster 1 and 3 (none). Moreover, in this cluster the farmer's home and the farm shared the same entrance road (71%). In Cluster 3, gavage farms were overrepresented (F, 88%). Farms from cluster 3 had a medium annual production (75% produced between 10,001 and 25,000 ducks per year), contained only one or two barns (88%), were single-age farms (100%), and the farmer did not live on the farm (63%).

Significant variation in the distribution of several biosecurity practices was observed over the three clusters. With regard to the flow of people and vehicles (Table 3), it was noted that in cluster 1, equipment was shared between farmers without decontamination ($p < 0.05$), whereas in cluster 3, equipment was never shared ($p < 0.01$). Signs restricting visitor access were on both the farm gates and the barn entrances in cluster 1 ($p < 0.05$), whereas no biosecurity signs were seen in cluster 2 farms ($p < 0.01$). However, cluster 1 farm entrances were less likely to be closed by a gate or a chain ($p < 0.05$). Logbooks were more likely to be found in cluster 3 ($p < 0.01$) but not in cluster 2 ($p < 0.01$), whereas no statistical association was made in cluster 1. The changing of boots and coveralls when entering or leaving the barn was most frequent in cluster 3 ($p < 0.01$). Boots and coveralls were not used in clusters 2 and 1 ($p < 0.05$ for both). However, in cluster 1, hands could easily be washed in anterooms ($p < 0.01$) in contrast with cluster 2, where it was impossible because of a lack of anterooms ($p < 0.01$). Multiple pick-up was often reported by the farmers when ducks left the farm in cluster 1 ($p < 0.01$) but never reported in cluster 2 ($p < 0.01$). Food was delivered in a single location on farm premises in cluster 3 ($p < 0.01$) but was delivered in multiple locations in cluster 1 ($p < 0.01$).

Rendering containers were located at the edge of the farm land in cluster 1 ($p < 0.01$) and within the farm in cluster 2 ($p < 0.05$). They were also located more than 30 m away from the nearest duck barn or range in cluster 1 ($p < 0.01$) as opposed to cluster 3 ($p < 0.01$) (Table 4).

As for pets (Table 5), cats or dogs were more frequently allowed in the barns and on the ranges in cluster 2 ($p < 0.01$).

Finally, cleaning and disinfection practices varied depending on the cluster (Table 6). The use of detergent during cleaning procedures was frequent in cluster 1 ($p < 0.05$) and rare in cluster 2 ($p < 0.01$). However, a complete annual cleanout of the whole farm site was more frequent in cluster 3 ($p < 0.01$) than in cluster 1 ($p < 0.01$). An insecticide treatment during barn cleanout was more frequent in cluster 2 ($p < 0.01$).

Four biosecurity practices were found uniformly distributed in all clusters. The presence of a backyard poultry flock on the premises of the farm (Table 4) was commonplace (65%). Visitors did not change boots when entering barns in 67% of the farms and footbaths were never used according to 50% of the farmers. The provision of occasional assistance for some farm tasks (e.g., catching, vaccination) by relatives who own poultry at home was a common practice (48%) among farmers (Table 3).

Out of the 46 study farms, only 36 provided outdoor access to the ducks. Although they were not introduced in the MCA, practices related to the management of outdoor ranges are described in Table 7. According to the farmers, some disinfectant was applied to ranges (using lime or another disinfectant) in 14 of the 36 farms (39%). Drinkers were placed inside the barns or covered when outside to prevent wild birds from using them in 72% of the farms, while 58% of the farmers reported frequently observing wild birds on the outdoor ranges.

5. Discussion

Despite their key role in the epidemiology of avian influenza (Alexander, 1997; Dhingra et al., 2016), biosecurity practices on duck farms have rarely been explored. The present study, showing three clusters of farms with contrasting patterns of biosecurity practices, is to our knowledge the first to analyze biosecurity practices on duck farms.

Table 2

Frequency of farm structure related categories among the 3 clusters identified in the HCA on the 46 foie gras duck farms visited in 2016. The results of a hypergeometric test checking if categories are more (in bold) or less represented than in the overall mean are given as follow: when the *p*-value for this test is < 0.05 it is labelled “*” and when the *p*-value is < 0.01 it is labelled “**”.

variable (code)	Cluster 1 (n = 21)		Cluster 2 (n = 17)		Cluster 3 (n = 8)		total				
	n	%	n	%	n	%	n	%			
Description of the farm											
Farm type											
Rearing to grow-out only (RG)	10		5	29	1	13	16	35			
Open-circuit full cycle farms (OM)	9	*	43	3	18	0	12	26			
Closed-circuit full cycle farms (CM)	2		7	**	41	0	9	20			
Gavage only (F)	0	**	0	2	12	7	**	88	9	20	
Number of ducks per year											
> 25,000	17	**	81	3	**	18	1	*	13	21	46
[10,001-25,000]	3		14	4	24	6	**	75	13	28	
> 10,000	1	**	5	10	**	59	1	13	12	26	
Number of ducks per flock											
< 5,000	9	**	43	1	*	6	1	13	11	24	
[2,101-5,000]	10	**	48	1	*	6	1	13	12	26	
< 2,100	2	**	10	15	**	88	6	75	23	50	
All flocks on the farm have the same age											
No	19	*	90	15	88	0	**	0	34	74	
Yes	2	*	10	2	12	8	**	100	12	26	
Number of houses											
[1-2]	3		14	1	*	6	7	**	88	11	24
[3-4]	7		33	6	35	1	**	13	14	30	
> 4	11		52	10	59	0		0	21	46	
Location of the farmer's home											
On the farm, with a common entrance	5		24	12	**	71	1	13	18	39	
On the farm, with a separate entrance	11		52	5	29	2		25	18	39	
Not on the farm	5		24	0	**	0	5	**	63	10	22
Shortest distance between road and ducks											
< 15 m	7		33	7	41	1		13	15	33	
[16-70 m]	8		38	5	29	3		38	16	35	
> 70 m	6		29	5	29	4		50	15	33	
Closest duck farm											
< 500 m	4		19	2	12	1		13	7	15	
[501-1,400 m]	13		62	8	47	5		63	26	57	
> 1,400 m	4		19	7	41	2		25	13	28	
Distance to closest poultry slaughterhouse											
Slaughter on farm	0	**	0	7	**	41	0	0	7	15	
[0-3 km]	1		5	3	18	0		0	4	9	
> 3 km	20	**	95	7	**	41	8	100	35	76	
										0	

Although focused on foie gras production, we expect that an important part of our findings may be applicable to other duck producing regions and countries.

This study has some limitations. First, a rigorous random sampling of duck farms in France was not possible due to the absence of a national database when the study was conducted. However, we believe that by encompassing integrated and independent farmers, presenting various levels of specialization over the production cycle, and covering 6 departments, the farm sample likely captured the heterogeneity of duck production in Southwest France. Although no formal probabilistic selection was made, the biosecurity practices of the selected farms were judged comparable to those expected in the general population of the study area based on personal communication with several field veterinarians. Having been identified as a top priority by both professional organizations and national authorities, a national poultry farm database has very recently become available for future studies. Second, potential discrepancies between farmers' declarations and actual practices render the evaluation of biosecurity practices challenging. Such discrepancies may be due to a desire on the part of farmers to give a 'correct' response based on their beliefs and knowledge about biosecurity, or because it is difficult to report in detail practices which are part of daily routines

(Nespeca et al., 1997). To overcome this problem, we combined the administration of the questionnaire with direct observations, which made it possible to verify some answers. Open questions also were asked to avoid influencing answers. Finally, we believe that farmers were not embarrassed to admit which of their practices were unsatisfactory as they knew that these were going to change based on new government regulations that were issued in February 2016 (DGAL, 2016). Exploratory data analysis, combining multiple correspondence analysis with hierarchical cluster analysis, makes it possible to study the resemblances and differences between individuals from a multi-dimensional point of view (Husson et al., 2017). The MCA is designed to reduce the number of variables and therefore specifically intended for situations where the number of variables is high and where variables are correlated. Applied to biosecurity, a major advantage of these methods is their ability to deal with correlated variables and to identify patterns of management practices (Costard et al., 2009; Relun et al., 2015; Ribbens et al., 2008). In this study, three clusters of farms were found based on their biosecurity practices. A detailed examination of practices implemented in each of these clusters would make it possible to tailor technical advice for farmers based on the type of farm to which they belong. It should be noted that it is sometimes difficult to

Table 3

Frequency of “flow of people and vehicles” related categories among the 3 clusters identified in the HCA on the 46 foie gras duck farms visited in 2016. The results of a hypergeometric test checking if categories are more (in bold) or less represented than in the overall mean are given as follow: when the *p*-value for this test is < 0.05 it is labelled “**” and when the *p*-value is < 0.01 it is labelled “***”.

variable (code)	Cluster 1 (n = 21)		Cluster 2 (n = 17)		Cluster 3 (n = 8)		total				
	n	%	n	%	n	%	n	%			
Flow of people and vehicles:											
Hand washing											
Not possible (no anteroom or no sink)	3	**	14	14	**	82	2	25	19	41	
Unlikely to be efficient (lacking equipment)	7		33	2	*	12	5	63	14	30	
Likely to be efficient	11	**	52	1	*	6	1	13	13	28	
Changing of boots – farmer											
Rare	16		76	15	*	88	0	**	0	31	67
Occasional	3		14	1		6	2	25	6	13	
Frequent	2		10	1		6	6	**	75	9	20
Changing of boots – visitors											
No	16		76	10		59	5	63	31	67	
Yes	5		24	7		41	3	38	15	33	
Footbath											
None used	9		43	10		59	4	50	23	50	
Changed at least once a week	7		33	4		24	2	25	13	28	
Changed less than once a week	5		24	3		18	2	25	10	22	
Changing of coveralls – farmer											
Rare	19	*	90	15		88	0	**	0	34	74
Occasional	2		10	2		12	3	38	7	15	
Frequent	0	**	0	0		0	5	**	63	5	11
Signs restricting visitor access											
None	8		38	14	**	82	2	25	24	52	
On the farm or house gates	9		43	3	*	18	6	75	18	39	
On the farm and house gates	4	*	19	0		0	0	0	4	9	
Access to the farm closed by a gate or a chain											
No	13	*	62	15		88	8	100	36	78	
Yes	8	*	38	2		12	0	0	10	22	
Logbook											
No	16		76	17	**	100	3	**	38	36	78
Yes	5		24	0	**	0	5	**	63	10	22
Occasional assistance for farm tasks											
By relatives who own poultry (commercial or backyard)	11		52	7		41	4	50	22	48	
By relatives who do not own poultry (commercial or backyard)	3		14	3		18	1	13	7	15	
No assistance by relatives	7		33	7		41	3	38	17	37	
Equipment is shared with other farmers											
Yes. The equipment is not frequently decontaminated	7	*	33	2		12	0	0	9	20	
Yes. The equipment is frequently decontaminated	6		29	8		47	0	*	0	14	30
No	8		38	7		41	8	**	100	23	50
Multiple pick up of ducks											
Often	11	**	52	0	**	0	0	0	11	24	
Sometimes	5		24	3		18	6	**	75	14	30
Never	5	**	24	14	**	82	2	25	21	46	
Presence of a loading dock for the catching of ducks											
No	11	*	52	15	*	88	6	75	32	70	
Yes	10	*	48	2	*	12	2	25	14	30	
Delivery of food in a single location on the farm											
No	18	**	86	8		47	1	**	13	27	59
Yes	3	**	14	9		53	7	**	88	19	41

distinguish open from closed-circuit farms as many so-called closed-circuit farms were found to be open-circuit, based on our farm visit. Closed-circuit farms may occasionally sell or buy ducks from other farms before gavage. This would be an important point to consider in potential HPAI outbreak investigations when tracing back the movements of ducks.

A specific farm type was overrepresented in each of the three clusters. However, the RG-type was not significantly overrepresented in any cluster, accounting for 10 out of 21 farms in cluster 1, 5 out of 17 in cluster 2, and 1 out of 8 in cluster 3. Cluster 1 comprised almost as many OM and RG farms, although the two types present certain features which are very different, such as the absence of gavage in RG

farms. In this regard, a clustering technique proved to be more meaningful than a simple description of biosecurity practices presented for each farm type.

Department was not considered as a relevant variable for the analysis. Indeed, there is no biological hypothesis suggesting the existence of spatial heterogeneity in biosecurity practices in the Southwest region.

The movements of people, vehicles and other farm equipment potentially acting as fomites are major risk factors after the movements of farm animals (Amass and Clark, 1999). In this regard, four important biosecurity practices were found to be non-uniformly distributed between clusters. First, farms from cluster 3 presented favorable practices

Table 4

Frequency of flow of “animals on farm, other than foie gras ducks” related categories among the 3 clusters identified in the HCA on the 46 foie gras duck farms visited in 2016. The results of a hypergeometric test checking if categories are more (in bold) or less represented than in the overall mean are given as follow: when the *p*-value for this test is < 0.05 it is labelled “*” and when the *p*-value is < 0.01 it is labelled “**”.

variable (code)	Cluster 1 (n = 21)		Cluster 2 (n = 17)		Cluster 3 (n = 8)		total			
	n	%	n	%	n	%	n	%		
Animals on farm, other than foie gras ducks										
Commercial poultry on the farm, other than ducks										
No	12	57	13	76	7	88	32	70		
Yes	9	43	4	24	1	13	14	30		
Other species - excluding poultry - raised on the farm										
No	15	71	14	82	7	88	36	78		
Yes	6	29	3	18	1	13	10	22		
Backyard flock on the farm										
With waterfowl	7	33	3	18	0	0	10	22		
Without waterfowl	8	38	9	53	3	38	20	43		
Absent	6	29	5	29	5	63	16	35		
Pets										
Are frequently in contact with the ducks	7	33	11	**	65	0	*	0	18	39
Are present on the farm but are not in contact with the ducks	8	38	2	12	3	38	13	28		
Do not enter the farm	6	29	4	24	5	63	15	33		
Rodent control										
Managed by the farmer	17	81	11	65	6	75	34	74		
Managed by a professional	4	19	6	35	2	25	12	26		
Presumed absence of rodents										
No	14	67	10	59	5	63	29	63		
Yes	7	33	7	41	3	38	17	37		
Insecticide treatment										
No	19	90	10	**	59	8	100	37	80	
Yes	2	10	7	**	41	0	0	9	20	

Table 5

Frequency of “sick animals, carcasses and byproducts” related categories among the 3 clusters identified in the HCA on the 46 foie gras duck farms visited in 2016. The results of a hypergeometric test checking if categories are more (in bold) or less represented than in the overall mean are given as follow: when the *p*-value for this test is < 0.05 it is labelled “*” and when the *p*-value is < 0.01 it is labelled “**”.

variable (code)	Cluster 1 (n = 21)		Cluster 2 (n = 17)		Cluster 3 (n = 8)		total			
	n	%	n	%	n	%	n	%		
Sick animals, carcasses and byproducts										
Rendering truck stays out of the farm										
No	6	**	29	13	*	76	6	75	25	54
Yes	15	**	71	4	*	24	2	25	21	46
Rendering : number of visits per year										
[0-3]	14	67	9	53	4	50	27	59		
> 3	17	81	8	47	4	50	19	41		
Rendering container is sealed										
No	3	14	2	12	1	13	6	13		
Yes	18	86	15	88	7	88	40	87		
Shortest distance between ducks and rendering container										
< 10 m	2	10	3	18	3	38	8	17		
[11-30 m]	5	*	24	9	53	5	63	19	41	
> 30 m	14	**	67	5	29	0	**	0	19	41

regarding equipment sharing. Gavage farms, which are over-represented in cluster 3, do not require equipment (e.g., used to transport litter or manure) entering the barns while birds are present. When ducks are raised on slatted floors, as in most duck gavage units, a litter is unnecessary and manure can be automatically removed. The use of shared equipment with other farmers in clusters 1 and 2 poses a risk of disease transmission, especially in cluster 1 where decontamination was not performed frequently. As the sharing of equipment was previously identified as a risk factor for the transmission of HPAI and Infectious Laryngotracheitis (ILT) in chickens (McCluskey, 2015; Volkova et al., 2012), attention should be paid to the decontamination of all

equipment moving between farms. Farmers may lack the motivation, time, and facilities to do so, or fail to acknowledge the importance of such a practice. In poultry farms in Georgia, USA, most farmers who share equipment clean the equipment with power washing, although they very rarely disinfect it (Dorea et al., 2010). Unfortunately, we do not have similar information regarding French duck farms. Second, logbooks were often not present on the farms in our study. In the event of an outbreak, properly used logbooks enable the rapid identification of people and farms that may have been in contact with an infectious agent (England, 2002). They also help reminding visitors that they have a role to play in farm biosecurity. In our study, logbooks were more

Table 6

Frequency of “cleaning and disinfection” related categories among the 3 clusters identified in the HCA on the 46 foie gras duck farms visited in 2016. The results of a hypergeometric test checking if categories are more (in bold) or less represented than in the overall mean are given as follow: when the *p*-value for this test is < 0.05 it is labelled “*” and when the *p*-value is < 0.01 it is labelled “**”.

variable (code)	Cluster 1 (n = 21)		Cluster 2 (n = 17)		Cluster 3 (n = 8)		total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cleaning, disinfection and downtime								
Cleaning and disinfection								
Managed by the farmer	18	86	17	100	6	75	41	89
Managed by a professional	3	14	0	0	2	25	5	11
Use of detergent								
No	9	*	43	15	**	88	5	63
Yes	12	*	57	2	**	12	3	38
Ceilings are frequently cleaned								
No	7		33	9	53	4	50	20
Yes	14		67	8	47	4	50	26
Farm-scale clean-out once a year								
No	19	**	90	11	65	1	**	13
Yes	2	**	10	6	35	7	**	88

Table 7

Frequency of categories related to the existence of an outdoor range in farms belonging to cluster 1 and 2 identified in the HCA among the 46 foie gras duck farms visited in 2016. Only farms with an outdoor range were counted in cluster 2 (n = 35 + 1 farm from cluster 3 which also had an outdoor range).

variable (code)	Cluster 1 (n = 21)		Cluster 2 (n = 14)		total	
	n	%	n	%	n	%
Variables related to the presence of an outdoor range						
Drinkers on the outdoor range are protected from wildbirds or are inside the house						
No	5	24	5	36	10	28
Yes	16	76	9	64	26	72
Appearance of puddles on the outdoor range after heavy rains						
Rare	4	19	6	43	11	31
Occasional	11	52	5	36	16	44
Frequent	6	29	3	21	9	25
Presence of wild birds on the outdoor ranges						
Never	2	10	2	14	4	11
Occasionally	6	29	5	36	11	31
Frequently	13	62	7	50	21	58
Use of lime to disinfect the outdoor ranges						
No	11	52	11	79	22	61
Small amounts	5	24	1	7	6	17
Large amounts	5	24	2	14	8	22
Shortest distance between manure pile and ducks						
[0-50 m]	7	33	6	43	13	36
> 50 m	10	48	2	14	13	36
Manure pile is out of the farm						
No solid manure	4	19	5	36	9	25
	0	0	1	7	1	3

frequently used in cluster 3 than in cluster 2. One could argue that having only one or two barns makes the monitoring of visits much easier than on other farms. However, better compliance was reported on Canadian broiler farms with more than five barns (Racicot et al., 2012). On traditional farms (mostly found in cluster 2), logbooks may have been perceived as a negative signal to visitors who buy products on the farm. In France, considerable attention is indeed given to the way food is produced, leading to an idealization of traditional farms (preserving ancestral know-how). In this regard, the use of new technologies and the enforcement of visitor controls might be viewed as detrimental. Since logbooks were observed on a small proportion of farms (22%) at the time of the study, we did not evaluate their actual use by farmers. However, Racicot et al. (2011) have shown that

logbooks are often not filled out by visitors. It is very likely that the situation is similar in France and that significant efforts will be needed to increase the prevalence and use of logbooks on duck farms. Third, hand washing facilities were found to be unequally available in the different clusters. Hand washing by both personnel and visitors is considered critical for farm biosecurity. Hands are exposed to microorganisms when handling animals or contaminated equipment. Nonetheless, a lack of hand washing was one of the most frequent biosecurity mistakes found on Canadian poultry farms (Racicot et al., 2011). Effective hand washing on farms is hard to evaluate in the absence of a specific monitoring device. Rather than relying on the farmer to provide information on this measure, we checked for the presence of a sink, running water, and equipment (e.g., soap, towels) that would make it possible to wash and dry hands. This choice was made following previous studies showing that, in hospitals, hand washing compliance increased when the accessibility of decontamination facilities was higher (Graham, 1990). In cluster 2, many farmers and visitors could not properly wash hands because there were no anterooms or any other facility allowing hand washing. In this cluster, many farms had multiple flocks of different ages, which would be costly to equip with several anterooms and hand washing facilities. In cluster 1, however, anterooms and hand washing facilities were present despite a high number of barns. Fourth, the use of both barn specific boots and coveralls by the farmer was much more common in cluster 3. Boots and clothes have been shown to act as fomites contributing to pathogen transmission (Newell and Fearnley, 2003; Otake et al., 2002). This is why barn specific boots and coveralls are highly recommended (Amass and Clark, 1999). In the Canadian study of the most common biosecurity mistakes, not changing boots and not changing overalls were often reported. (Racicot et al., 2011). It was also demonstrated that personnel and visitors were less likely to comply when visits were of short duration. The results of our study are consistent with this because in cluster 3, farmers stay longer in barns (during gavage, all ducks are fed manually and individually). Moreover, gavage of ducks is messy so farmers need to wear adapted coveralls.

The management of sick animals, carcasses, and byproducts, which harbor high loads of infectious agents in the case of disease, also pose a great risk of disease transmission (Gwyther et al., 2011). In France, rendering is mandatory and the only authorized means to dispose of dead birds. The location of the rendering container is a key issue in the management of biosecurity. Rendering was found to be a risk factor for the spread of avian influenza in poultry (McCluskey, 2015; McQuiston et al., 2005). The latter study reported an increased risk of HPAI occurrence when the rendering truck came close to the poultry barns. In

our study, favorable practices were observed in cluster 1, in which a greater proportion of farms had a rendering container located on the edge of the farm, away from the barns and ranges. Farmers who sell their products on site (cluster 2) may intentionally hide the rendering container from customers (i.e., removing it from the edge of the farm to place it closer to the duck barns or outdoor ranges). Customers might indeed find them unappealing (unpleasant smell and aesthetics).

The cleaning procedure of the poultry barns and their surroundings is of utmost importance to decrease the load of microorganisms. Any residual organic material can harbor and protect microorganisms from disinfectants (Hauck et al., 2017). Therefore, the use of a detergent which ensures an easier removal of organic material is essential. The difference between clusters in this study is difficult to interpret. A possible explanation is that integrated farms – which are more frequent in cluster 1 – benefit from the support of integrators and associated technical advisors regarding cleaning and disinfection procedures, and thus make a greater use of detergent.

All animals found on farms may, depending on their susceptibility, act as carriers of microorganisms or simply as fomites. In our study, backyard flocks were frequently observed on farms in all of the clusters. In total, backyard flocks with waterfowl were observed in 22% of the farms surveyed while 43% had chickens only. In France, backyard flocks are any flock used for private consumption and no official commercialization. In our study, they usually contained less than 100 birds and included layers, meat-type chickens, turkeys, guinea fowls, geese and ducks in variable proportions. They were mainly kept in closed pens except in some cases where they would roam free. A high seroprevalence against poultry pathogens (*Ornithobacterium rhinotracheale*, *Mycoplasma synoviae*, avian metapneumovirus) in backyard poultry might suggest that they could play a reservoir role for those pathogens. (Haesendonck et al., 2014). Evidence regarding the role of backyard flocks in avian influenza transmission also was provided in a case control study (Johnson et al., 2004) and a study using a modeling approach (Bavinck et al., 2009; Smith and Dunipace, 2011). These studies reported on the risk of the presence of backyard flocks in the vicinity of commercial farms. In France, the fact that some of these backyard flocks are within the premises of a commercial farm may likely enhance the risk associated with this factor. There are no strict regulations from integrated companies nor from veterinary services on the ownership of a backyard flock by poultry farmers. In our study, dogs were also mostly found in cluster 2. Most farmers from cluster 2 live on the production site, and it is likely that dogs are also used to gather ducks on the range.

The access of ducks to an outdoor range is a specific feature of French foie gras production. As far as the grow-out phase of the farming process is concerned, variables related to outdoor areas were not included in the farm classification. A classification of the 36 concerned farms would have increased the number of variables and reduced the number of individuals, making the interpretation difficult. However, this study provides important insights on some specific biosecurity risks in free-range systems. The presence of wild birds on outdoor areas is a risk factor for disease transmission at the domestic/wildlife interface (Artois et al., 2009). In the present study, the presence of wild birds on the outdoor range was reported as “frequent” by 58% of the farmers. There is no available quantitative evidence on wild bird presence on the outdoor ranges aside from farmer reports. Direct and indirect contacts between ducks and wildlife often occur around drinkers and feeders, according to farmers. Some studies suggest that ponds, silo feeders and certain types of vegetation on the range attract wild and resident birds seeking for sources of food and water (Burns et al., 2012; Scott et al., 2018a). In this regard, moving drinkers and feeders away from the outdoor range or protecting them from access to wildlife using innovative equipment could help limit transmission risk. The current French regulation allows the presence of feeders and drinkers on the outdoor ranges when they are covered by a roof or a lid. For ducks, the same deterrents as for other free-range poultry productions are used

(scarecrows, hawk kites, propane canons) but are regarded by farmers as of poor efficacy. Different factors can affect the effective use of ranges by the ducks such as the distribution of feed or water on the ranges or the climatic conditions inside and outside the barn. The actual use of the ranges could be visually assessed with the proportion of undamaged vegetation on the ranges. Satellite views or pictures taken by drones could also provide valuable information on this matter. The repeated occurrence of avian influenza outbreaks in France also has focused attention on the need for disinfection protocols adapted to outdoor ranges. The confinement of birds indoors has been used to prevent HPAI transmission during high risk periods, but this cannot be considered to be a sustainable practice for farms which produce ducks and chickens under a quality label requiring access to outdoor areas. In this context, disinfection of outdoor areas is critical to prevent virus survival and resurgence. A long cleanout allowing the exposure of organic matter to the sun (ultraviolet rays) should contribute to disinfecting the range. However, in the case of heavy loads of a very infectious (e.g., avian influenza) or resistant (e.g., parvoviruses) agent, ranges may require additional disinfection measures like the use of lime or peracetic acid on specific spots (ANSES, 2017). Our study demonstrates that, prior to the avian influenza epidemics, 61% of the farms never decontaminated their outdoor areas.

The interpretation of study results regarding the risk of disease spread and persistence should be considered with great care. Important gaps in biosecurity practices were observed in cluster 2, a group of mostly closed-circuit full cycle farms. This finding is consistent with a previous study suggesting that independent farmers have lower compliance with biosecurity rules than those in integrated systems (East, 2007). However, when analyzing the risk for avian influenza, biosecurity gaps in closed-circuit farms should be put in perspective given the low level of connectivity of such farms within poultry trade networks. Farms from this group are less in contact with other duck farms, share less material and have fewer visits from poultry industry visitors than other farm types. Conversely, some gaps in clusters 1 and 3 may be of crucial importance for disease spread given their inclusion in farm networks. Most importantly, regardless of the farm types considered, the compliance of some biosecurity practices remains low on all farms and should be promptly addressed to prevent future HPAI outbreaks or at least minimize their spread. Before the publication of new regulations in 2016 establishing a set of biosecurity requirements (DGAL, 2016), there were no specific biosecurity protocols in French duck farms. In integrated companies, some quality schemes already contained some biosecurity-related items in their guidelines. These items would thus be audited periodically. After 2016, veterinary services launched large-scale inspections of farms, based on a key number of biosecurity items which had been made mandatory by the French regulation.

In the last decades, production of foie gras dramatically increased. This led to profound changes in the foie gras duck industry: evolution from a winter-time production towards a year-long production, increase in flock and farm size and development of an integrated industry. The quick changes in old production sites might have turned them into complex structures where biosecurity rules are difficult to implement.

This study primarily aimed to give an overview of the routines and practice patterns on duck farms to help tailor the biosecurity advice provided by farm technicians and field veterinarians. After the first French HPAI outbreaks in 2015, some recommendations have become mandatory on all poultry farms, such as the absence of multiple pick-up for a given flock, presence of a logbook, and functional anterooms. Increasing awareness and audits should certainly change some of the practices presented in this study. However, compliance with recommended changes will need to be monitored closely.

This exploratory study on French duck farms identified three clusters of farms based on their reported biosecurity practices. Findings may help farm advisors adapt and improve biosecurity measures within the given constraints of each farm. This study also provides an

unprecedented biosecurity baseline in duck production that can be used for subsequent compliance studies and risk assessment regarding the introduction and spread of pathogens such as avian influenza.

Acknowledgements

The authors wish to thank the farmers for their willingness to be interviewed in the study. They also wish to like to thank the foie gras industry and specially, the Comité Interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras (CIFOG, France), for helping contact the farmers. This work was carried out within the framework of the *Chaire de Biosécurité aviaire* at the École Nationale Vétérinaire de Toulouse, which is funded by the French Ministry of Agriculture.

References

- Alexander, D.J., 1997. Newcastle disease and other avian paramyxoviridae infections. *Diseases of Poultry*. Mosby, pp. 554.
- Amass, S.F., Clark, L.K., 1999. Biosecurity considerations for pork production units. *J. Swine Health Prod.* 7, 217–228.
- ANSES, 2017. 14/10/2016 Report - revised on 08/03/2017 - From the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the Efficacious Method for the Disinfection of Poultry Outdoor Ranges (Referral No. 2016- SA-0196). ANSES.
- Artois, M., Bicoût, D., Doctrinal, D., Fouchier, R., Gavier-Widen, D., Globig, A., Hagemeijer, W., Mundkur, T., Munster, V., Olsen, B., 2009. Outbreaks of highly pathogenic avian influenza in Europe: the risks associated with wild birds. *Rev. Sci. Tech. Int. Off. Epizoot.* 28, 69–92.
- Bavinck, V., Bouma, A., van Boven, M., Bos, M.E.H., Stassen, E., Stegeman, J.A., 2009. The role of backyard poultry flocks in the epidemic of highly pathogenic avian influenza virus (H7N7) in the Netherlands in 2003. *Prev. Vet. Med.* 88, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2008.10.007>.
- Briand, F.X., Niqueux, E., Schmitz, A., Hirchaud, E., Quenault, H., Allée, C., Le Prioux, A., Guillou-Cloarec, C., Ogor, K., Le Bras, M.O., Gares, H., Daniel, P., Fediaevsky, A., Martenot, C., Massin, P., Le Bouquin, S., Blanchard, Y., Eterradossi, N., 2018. Emergence and multiple reassortments of French 2015–2016 highly pathogenic H5 avian influenza viruses. *Infect. Genet. Evol.* 61, 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2018.04.007>.
- Burns, T.E., Ribble, C., Stephen, C., Kelton, D., Toews, L., Osterhold, J., Wheeler, H., 2012. Use of observed wild bird activity on poultry farms and a literature review to target species as high priority for avian influenza testing in 2 regions of Canada. *Can. Vet. J.* 53, 158–166.
- Conan, A., Goutard, F.L., Sorn, S., Vong, S., 2012. Biosecurity measures for backyard poultry in developing countries: a systematic review. *BMC Vet. Res.* 8, 240. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-240>.
- Costard, S., Porphyre, V., Messad, S., Rakotondrahanta, S., Vidon, H., Roger, F., Pfeiffer, D.U., 2009. Multivariate analysis of management and biosecurity practices in smallholder pig farms in Madagascar. *Prev. Vet. Med.* 92, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.08.010>.
- DGAI, 2016. Arrêté du 8 février 2016 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire.
- Dhingra, M.S., Artois, J., Robinson, T.P., Linard, C., Chaiban, C., Xenarios, I., Engler, R., Liechti, R., Kuznetsov, D., Xiao, X., Dobschuetz, S.V., Claes, F., Newman, S.H., Dauphin, G., Gilbert, M., 2016. Global mapping of highly pathogenic avian influenza H5N1 and H5Nx clade 2.3.4.4 viruses with spatial cross-validation. *eLife* 5. <https://doi.org/10.7554/eLife.19571>.
- Dorea, F.C., Berghaus, R., Hofacre, C., Cole, D.J., 2010. Survey of biosecurity protocols and practices adopted by growers on commercial poultry farms in Georgia, USA. *Avian Dis.* 54, 1007–1015.
- Duvauchelle, A., Huneau-Salaün, A., Balaine, L., Rose, N., Michel, V., 2013. Risk factors for the introduction of avian influenza virus in breeder duck flocks during the first 24 weeks of laying. *Avian Pathol.* 42, 447–456. <https://doi.org/10.1080/03079457.2013.823145>.
- East, I., 2007. Adoption of biosecurity practices in the Australian poultry industries. *Aust. Vet. J.* 85, 107–112. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2007.00113.x>.
- England, J.J., 2002. Biosecurity: safeguarding your veterinarian:client:patient relationship. *Vet. Clin. Food Anim. Pract.* 18, 373–378. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(02\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(02)00033-6).
- Fasina, F.O., Lazarus, D.D., Spencer, B.T., Makinde, A.A., Bastos, A.D.S., 2012. Cost implications of african swine fever in smallholder farrow-to-Finish units: economic benefits of disease prevention through biosecurity. *Transbound. Emerg. Dis.* 59, 244–255.
- Gelaude, P., Schlepers, M., Verlinden, M., Laanen, M., Dewulf, J., 2014. Biocheck.UGent: a quantitative tool to measure biosecurity at broiler farms and the relationship with technical performances and antimicrobial use. *Poult. Sci.* 93, 2740–2751. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04002>.
- Gifford, D.H., Shane, S.M., Hugh-Jones, M., Weigler, B.J., 1987. Evaluation of biosecurity in broiler breeders. *Avian Dis.* 31, 339. <https://doi.org/10.2307/1590882>.
- Gonzales, J.L., Stegeman, J.A., Koch, G., de Wit, S.J., Elbers, A.R.W., 2013. Rate of introduction of a low pathogenic avian influenza virus infection in different poultry production sectors in the Netherlands. *Influenza Other Respir. Viruses* 7, 6–10. <https://doi.org/10.1111/j.1750-2659.2012.00348.x>.
- Graham, M., 1990. Frequency and duration of handwashing in an intensive care unit. *Am. J. Infect. Control* 18, 77–81. [https://doi.org/10.1016/0196-6553\(90\)90085-7](https://doi.org/10.1016/0196-6553(90)90085-7).
- Guinat, C., Nicolas, G., Vergne, T., Bronner, A., Durand, B., Courcou, A., Gilbert, M., Guérin, J.-L., Paul, M.C., 2018. Spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N8 spread, France, 2016–2017. *Eurosurveillance* 23, 1700791. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.26.1700791>.
- Gwyther, C.L., Williams, A.P., Golyshin, P.N., Edwards-Jones, G., Jones, D.L., 2011. The environmental and biosecurity characteristics of livestock carcass disposal methods: a review. *Waste Manag.* 31, 767–778. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.005>.
- Haesendonck, R., Verlinden, M., Devos, G., Michiels, T., Butaye, P., Haesebrouck, F., Pasmans, F., Martel, A., 2014. High seroprevalence of respiratory pathogens in hobby poultry. *Avian Dis.* 58, 623–627.
- Hauck, R., Crossley, B., Rejmanek, D., Zhou, H., Gallardo, R.A., 2017. Persistence of highly pathogenic and low pathogenic avian influenza viruses in footbaths and poultry manure. *Avian Dis.* 61, 64–69. <https://doi.org/10.1637/11495-091916-Reg>.
- Husson, F., Le, S., Pagès, J., 2017. *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R*, second edition. CRC Press.
- Johnson, Y.J., Colby, M.M., Tablante, N.L., Hegngi, F.N., Salem, M., Gedamu, N., Pope, C., 2004. Application of commercial and backyard poultry geographic information system databases for the identification of risk factors for clinical infectious laryngotracheitis in a cluster of cases on the Delmarva Peninsula. *Int. J. Poult. Sci.* 3, 201–205. <https://doi.org/10.3923/ijps.2004.201.205>.
- Laanen, M., Persoons, D., Ribbens, S., de Jong, E., Callens, B., Strubbe, M., Maes, D., Dewulf, J., 2013. Relationship between biosecurity and production/antimicrobial treatment characteristics in pig herds. *Vet. J.* 198, 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.08.029>.
- Le, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: a package for multivariate analysis. *J. Stat. Softw.* 25, 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.
- Lewerin, S.S., Österberg, J., Alenius, S., Elvander, M., Fellström, C., Tråvén, M., Wallgren, P., Waller, K.P., Jacobson, M., 2015. Risk assessment as a tool for improving external biosecurity at farm level. *BMC Vet. Res.* 11. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0477-7>.
- Madsen, J.M., Zimmermann, N.G., Timmons, J., Tablante, N.L., 2013. Evaluation of Maryland backyard flocks and biosecurity practices. *Avian Dis.* 57, 233–237.
- McCluskey, B.J., 2015. *Epidemiologic and Other Analyses of HPAI-affected Poultry Flocks: July 15, 2015 Report*. USDA APHIS VS.
- McQuiston, J.H., Garber, L.P., Porter-Spalding, B.A., Hahn, J.W., Pierson, F.W., Wainwright, S.H., Senne, D.A., Brignole, T.J., Akey, B.L., Holt, T.J., 2005. Evaluation of risk factors for the spread of low pathogenicity H7N2 avian influenza virus among commercial poultry farms. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 226, 767–772.
- Medhanie, G.A., McEwen, S.A., Weber, L., Sanei, B., Cooley, L., Houghton, S., Slavic, D., Guerin, M.T., 2013. Risk factors associated with the colonization of Ontario layer chicken flocks with *Brachyspira* species. *Prev. Vet. Med.* 109, 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.09.017>.
- Napp, S., Majo, N., Sanchez-Gonzalez, R., Vergara-Alert, J., 2018. Emergence and spread of highly pathogenic avian influenza A(H5N8) in Europe in 2016–2017. *Transbound. Emerg. Dis.* 00, 1–10. <https://doi.org/10.1111/tbed.12861>.
- Nespeca, R., Vaillancourt, J.-P., Morrow, W.M., 1997. Validation of a poultry biosecurity survey. *Prev. Vet. Med.* 31, 73–86.
- Newell, D.G., Fearley, C., 2003. Sources of *Campylobacter* colonization in broiler chickens. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 4343–4351. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.8.4343-4351.2003>.
- Newell, D.G., Elvers, K.T., Dopfer, D., Hansson, I., Jones, P., James, S., Gittins, J., Stern, N.J., Davies, R., Connerton, I., Pearson, D., Salvat, G., Allen, V.M., 2011. Biosecurity-based interventions and strategies to reduce *Campylobacter* spp. on poultry farms. *Appl. Environ. Microbiol.* 77, 8605–8614. <https://doi.org/10.1128/AEM.01090-10>.
- Nishiguchi, A., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Ouchi, Y., Sugizaki, T., Tsutsui, T., 2007. Risk factors for the introduction of avian influenza virus into commercial layer chicken farms during the outbreaks caused by a low-pathogenic H5N2 virus in Japan in 2005. *Zoonoses Public Health* 54, 337–343. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2007.01074.x>.
- Nöremark, M., Frössling, J., Lewerin, S.S., 2010. Application of routines that contribute to on-farm biosecurity as reported by Swedish livestock farmers: on-farm biosecurity as reported by Swedish livestock farmers. *Transbound. Emerg. Dis.* 57 (4), 225–236. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2010.01140.x> no-no.
- Osmani, M.G., Thornton, R.N., Dhand, N.K., Hoque, M.A., Milon, S.M.A., Kalam, M.A., Hossain, M., Yamage, M., 2014. Risk factors for highly pathogenic avian influenza in commercial layer chicken farms in Bangladesh during 2011. *Transbound. Emerg. Dis.* 61, e44–e51. <https://doi.org/10.1111/tbed.12071>.
- Otake, S., Dee, S.A., Rossow, K.D., Deen, J., Joo, H.S., Molitor, T.W., Pijoan, C., 2002. Transmission of porcine reproductive and respiratory syndrome virus by fomites (boots and coveralls). *J. Swine Health Prod.* 10, 59–65.
- Postma, M., Backhans, A., Collineau, L., Loesken, S., Sjölund, M., Belloc, C., Emanuelson, U., Beilage, E.G., Stärk, K.D.C., Dewulf, J., 2016. The biosecurity status and its associations with production and management characteristics in farrow-to-finish pig herds. *Animal* 10, 478–489.
- Postma, M., Vanderhaeghen, W., Sarrazin, S., Maes, D., Dewulf, J., 2017. Reducing antimicrobial usage in pig production without jeopardizing production parameters. *Zoonoses Public Health* 64, 63–74. <https://doi.org/10.1111/zph.12283>.
- R Core Team, 2017. *R: a Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Racicot, M., Vaillancourt, J.-P., 2015. *Biosecurity & poultry production. Manual of Poultry Diseases*. pp. 553–561.
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., Vaillancourt, J.-P., 2011. Description of 44

- biosecurity errors while entering and exiting poultry barns based on video surveillance in Quebec, Canada. *Prev. Vet. Med.* 100, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.04.011>.
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., Vaillancourt, J.-P., 2012. Evaluation of strategies to enhance biosecurity compliance on poultry farms in Québec: effect of audits and cameras. *Prev. Vet. Med.* 103, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.08.004>.
- Relun, A., Charrier, F., Trabucco, B., Maestrini, O., Molia, S., Chavernac, D., Grosbois, V., Casabianca, F., Etter, E., Jori, F., 2015. Multivariate analysis of traditional pig management practices and their potential impact on the spread of infectious diseases in Corsica. *Prev. Vet. Med.* 121, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.07.004>.
- Ribbens, S., Dewulf, J., Koenen, F., Mintiens, K., De Sadeleer, L., de Kruijff, A., Maes, D., 2008. A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. *Prev. Vet. Med.* 83, 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.07.009>.
- Royo-Gimeno, C., Postma, M., Dewulf, J., Hogeveen, H., Lauwers, L., Wauters, E., 2016. Farm-economic analysis of reducing antimicrobial use whilst adopting improved management strategies on farrow-to-finish pig farms. *Prev. Vet. Med.* 129, 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.05.001>.
- Sarrazin, S., Cay, A.B., Laureys, J., Dewulf, J., 2014. A survey on biosecurity and management practices in selected Belgian cattle farms. *Prev. Vet. Med.* 117, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.07.014>.
- Scott, A.B., Phalen, D., Hernandez-Jover, M., Singh, M., Groves, P., Toribio, J.-A.L.M.L., 2018a. Wildlife presence and interactions with chickens on Australian commercial chicken farms assessed by camera traps. *Avian Dis.* 62, 65–72. <https://doi.org/10.1637/11761-101917-Reg.1>.
- Scott, A.B., Singh, M., Groves, P., Hernandez-Jover, M., Barnes, B., Glass, K., Moloney, B., Black, A., Toribio, J.-A., 2018b. Biosecurity practices on Australian commercial layer and meat chicken farms: performance and perceptions of farmers. *PLoS One* 13, e0195582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195582>.
- Smith, G., Dunipace, S., 2011. How backyard poultry flocks influence the effort required to curtail avian influenza epidemics in commercial poultry flocks. *Epidemics* 3, 71–75. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2011.01.003>.
- Tablante, N.L., Myint, M.S., Johnson, Y.J., Rhodes, K., Colby, M., Hohenhaus, G., 2002. A survey of biosecurity practices as risk factors affecting broiler performance on the Delmarva Peninsula. *Avian Dis.* 46, 730–734. [https://doi.org/10.1637/0005-2086\(2002\)046\[0730:ASOBPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1637/0005-2086(2002)046[0730:ASOBPA]2.0.CO;2).
- Van Schaik, G., Nielen, M., Dijkhuizen, A.A., 2001. An economic model for on-farm decision support of management to prevent infectious disease introduction into dairy farms. *Prev. Vet. Med.* 51, 289–305.
- Van Steenwinkel, S., Ribbens, S., Ducheyne, E., Goossens, E., Dewulf, J., 2011. Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. *Prev. Vet. Med.* 98, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.12.004>.
- Volkova, V., Thornton, D., Hubbard, S.A., Magee, D., Cummings, T., Luna, L., Watson, J., Wills, R., 2012. Factors associated with introduction of infectious laryngotracheitis virus on broiler farms during a localized outbreak. *Avian Dis.* 56, 521–528. <https://doi.org/10.1637/10046-122111-Reg.1>.
- Walley, K., Parrott, P., Custance, P., Meledo-Abraham, P., Bourdin, A., 2015. A review of French consumers purchasing patterns, perceptions and decision factors for poultry meat. *World's Poult. Sci. J.* 71, 5–14. <https://doi.org/10.1017/S004393391500001X>.

4. ETUDE DES DETERMINANTS DE L'OBSERVANCE DES PRATIQUES DE BIOSECURITE EN ELEVAGE DE CANARDS PRETS-A-ENGRAISSER

4.1. Contexte, objectifs et problématique

Les failles de biosécurité mises en évidence par l'ampleur des crises influenza aviaire entre 2015 et 2017 et par l'étude sur les pratiques de biosécurité en 2015 a fait apparaître le besoin de faire évoluer les pratiques de biosécurité en élevages de palmipèdes à foie gras. Ainsi, il est apparu important de mieux cerner les facteurs influençant l'adoption des pratiques. Ces facteurs sont a priori complexes, et font intervenir des facteurs matériels et des facteurs psycho-sociaux. Les études menées sur un ensemble hétérogène d'élevages ayant fait apparaître des facteurs associés au mode d'élevage ou à l'historique des bassins de production, il nous parut important d'étudier cette fois-ci les facteurs psycho-sociaux des éleveurs. Nous avons donc choisi d'étudier un mode de production soumis aux mêmes contraintes de production, et d'analyser les facteurs à l'origine des différents types de comportements observés. En outre, nous avons choisi de nous intéresser spécifiquement à un type d'élevage qui (i) représente la majeure partie de la vie des canards, (ii) qui implique une phase avec accès à un parcours de plein-air, au sein d'un système de production (éleveurs en système intégré) qui (iii) favorise les transports de canards ; ceux-ci ayant été mis en évidence comme facteur de risque important dans la contamination entre élevages de canards lors de l'épidémie d'IAHP de sous-type H5N8 (Guinat, Durand, et al. 2020).

Outre les déterminants psycho-sociaux de l'observance classiquement étudiés (données démographiques, perception du risque, connaissance et compréhension des mesures, perception des bénéfices apportés par la biosécurité, pression sociale, sentiment d'auto-efficacité) (Ritter et al. 2017), les traits de personnalité sont encore très peu étudiés en médecine vétérinaire (O'Kane et al. 2017 ; Racicot et al. 2012b), alors qu'ils l'ont été en médecine humaine dans différents contextes préventifs et thérapeutiques (Skinner et al. 2014 ; Axelsson 2013) et qu'ils semblent avoir une influence dans la prise de décision dans le domaine de la santé.

Dans la continuité du travail mené dans la filière des palmipèdes à foie gras, nous avons donc choisi d'analyser les déterminants psycho-sociaux de la biosécurité en élevage en incluant : connaissances, attitudes et traits de personnalité. La compréhension des déterminants avait pour but d'identifier *in fine* des leviers d'actions permettant d'augmenter durablement le niveau de protection sanitaire dans des élevages appartenant à une filière particulièrement touchée par les épidémies d'IAHP.

4.2. Méthode

Des visites d'élevage ont été conduites afin d'évaluer l'observance des pratiques de biosécurité et d'étudier leurs déterminants.

Après tirage au sort de 196 parmi 640 élevages de canards prêts-à-engraisser du Sud-Ouest en contrat avec les sept principales organisations de production présentes dans le Sud-Ouest, 127 visites ont été conduites entre mars et juin 2018 par trois enquêteurs.

Ces visites, d'une durée de deux heures, étaient structurées en deux parties : (1) l'évaluation des pratiques de biosécurité et (2) l'étude des déterminants psycho-sociaux de l'observance. Les pratiques de biosécurité ont été évaluées à l'aide d'un questionnaire, associant des questions posées à l'éleveur et une série d'observations, appuyées si nécessaires par la prise de photographies. Les déterminants psycho-sociaux de l'observance ont été évalués à l'aide de deux questionnaires. Le premier questionnaire renseignait des éléments socio-démographiques (n=6, questions ouvertes et à choix multiples), les attitudes vis-à-vis de la biosécurité (n=27, dont 21 sous la forme d'échelle de Likert de 1 à 5 mesurant le degré d'assentiment à une affirmation et six sous la forme de questions à choix multiples), les connaissances sur la biosécurité (n=4, questions à choix multiple) ainsi que des éléments sur leurs formations à la biosécurité, leurs sources d'information sur la biosécurité et la confiance qu'ils leur accordaient. Les questions sur les attitudes prennent en compte la perception de l'efficacité des mesures de biosécurité, la perception du risque infectieux, le sentiment d'auto-efficacité (se sentir capable d'appliquer les mesures de biosécurité) et la norme sociale (l'importance accordée au regard d'autrui). La dernière partie du premier questionnaire n'a pas été étudiée pour expliquer les déterminants de l'observance mais utilisée en vue d'une future intervention. Le deuxième questionnaire consistait en un test de personnalité (n=108, dont quatre questions à choix multiple et 104 sous la forme d'échelle de Likert de 1 à 4 mesurant le degré d'assentiment à des affirmations). Cet outil a été développé et validé par André Durivage, psychologue à l'université du Québec en Outaouais, dans le cadre d'un outil développé pour les services de ressources humaines d'entreprises qui proposent des tâches qui demandent un respect des mesures de sécurité (SAFE-T : test de santé et sécurité au travail). Il a été choisi car il a fait l'objet d'une adaptation pour le contexte de la biosécurité en élevage, à l'occasion d'un travail de recherche sur le sujet impliquant des collaborateurs de notre projet (Racicot et al. 2012b).

Ces questionnaires ont été testés lors de trois visites, dont les résultats n'ont pas été pris en compte pour l'analyse statistique des résultats.

Pour l'évaluation des mesures de biosécurité, un score de 0 à 1 a été donné pour chaque item et une moyenne de tous ces items a été calculée pour (1) les grandes thématiques de biosécurité et (2) pour chaque élevage. Pour les déterminants psycho-sociaux de l'observance, des profils ont été établis à l'aide d'outils d'analyses multidimensionnelles et de classification. Enfin les scores de biosécurité ont été comparés entre ces profils.

En outre, dans l'optique de préparer une intervention visant à améliorer les mesures de biosécurité, il a été demandé aux éleveurs de donner une note de 1 à 5 à la confiance qu'ils accordaient à différentes sources au sujet de la biosécurité, puis aux moyens de communications qu'ils privilégieraient pour que des informations sur la biosécurité leur soient transmises.

NB : en plus de l'étudiant en thèse, cette enquête a fait intervenir une étudiante ingénieure agronome (INP-ENSAT), Lucie Fornili, dans le cadre de son projet de fin d'études. Elle a activement participé aux visites, au traitement et à l'interprétation des résultats. En outre,

certaines visites ont aussi été menées par Luc Robertet, chargé de consultations de la clinique aviaire de l'ENVT.

Les résultats de cette étude sur les déterminants de l'observance de la biosécurité ont été publiés dans une revue internationale à comité de lecture (Delpont et al. 2020) et le manuscrit de cet article est présenté (en anglais) à la fin de cette partie.

4.3. Résultats

4.3.1. Respect des mesures de biosécurité

Nous présentons dans cet article une évaluation des mesures de biosécurité. Les pratiques de biosécurité les plus respectées par les éleveurs concernaient la gestion des cadavres, les procédures de nettoyage et désinfection, et la protection vis-à-vis des véhicules des visiteurs. A l'opposé, les pratiques de biosécurité les moins respectées concernaient les animaux domestiques sur site (chiens, chats et basse-cour), les mesures de désinfection en extérieur et la protection contre l'avifaune sauvage. Par ailleurs, la gestion des sas sanitaires et les pratiques qui y sont associées, qui sont des composants majeurs de la biosécurité en élevage, ont présenté des scores peu élevés.

4.3.2. Caractérisation des profils psycho-sociaux d'éleveurs

Nous présentons ensuite dans cet article les trois profils de déterminants psycho-sociaux qui ont été distingués après classification :

- Un premier profil, rassemblant 27/127 éleveurs, s'est construit autour d'attitudes négatives vis-à-vis de la biosécurité. Ces éleveurs ont tendance à mettre en place des mesures lorsqu'elles leur sont imposées. Relativement aux autres profils, les éleveurs présentaient un niveau plus faible de connaissances, et percevaient les informations sur la biosécurité comme trop abondantes et pas toujours cohérentes. En outre, ils se sont avérés moins convaincus par les bénéfices apportés par la biosécurité (en termes de productivité ou de protection contre les maladies). Par ailleurs, ces éleveurs ressentaient moins la pression sociale (risque d'infecter d'autres exploitations en cas d'épizootie et sentiment de culpabilité associé). Il ne se sentaient pas non plus capables d'appliquer les mesures de biosécurité en routine (changement de bottes par exemple). Leur personnalité révélait un niveau de « conscience » moins élevée, avec des scores plus faibles pour « approche cognitive » (propension à peser le pour et le contre avant de prendre une décision), « organisation » et « conformité ». Enfin, les exploitations concernées par ce profil fonctionnaient avec des bandes de canards d'effectifs réduits.
- Un second profil, rassemblant 45/127 éleveurs, s'est construit autour d'éleveurs d'un naturel plus stressé, que ce soit au niveau individuel (valeurs faibles pour « confiance en soi », « tolérance au stress » et « tranquillité d'esprit ») ou collectif (importance pour leur réputation d'être indemne d'influenza aviaire, sentiment de culpabilité en cas d'infection, conscience du rôle de l'éleveur pour la santé publique). Leur personnalité révélait aussi une « approche cognitive » relativement importante et ils avaient une expérience plus longue en productions avicoles.

- Un troisième profil, rassemblant 55/127 éleveurs, s'est construit autour d'éleveurs entrepreneurs qui mettaient en place les pratiques de biosécurité pour les avantages qu'elles apportent. En effet, dans ce groupe, les éleveurs, qui avaient un niveau de connaissances relativement plus élevé, avaient plutôt tendance à trouver que la biosécurité permettait de réduire le risque d'infection par de nombreux agents pathogènes et d'augmenter les résultats de production. En outre, ils ne voyaient pas de difficulté majeure à appliquer les mesures de biosécurité au quotidien et pensaient même que certaines d'entre elles pouvaient leur faire gagner du temps. Cette tendance à la confiance s'est aussi confirmée dans les traits de personnalité, avec des scores plus élevés pour « confiance en soi » ou « tolérance au stress ». De même, le côté entrepreneurial de ces éleveurs transparaissait avec un score élevé pour « l'orientation vers l'action ». Il apparaît enfin que ces éleveurs étaient ceux qui avaient une expérience moins longue dans les productions avicoles et des bandes de canards d'effectifs plus importants.

Il est à noter que le fait d'avoir été foyer d'influenza aviaire faiblement ou hautement pathogène entre 2015 et 2017 n'a pas eu d'influence sur la construction des profils psychosociaux.

Les scores de biosécurité des deuxième et troisième profils se sont révélés plus élevés que dans le premier profil, qui réunissait des éleveurs ayant les attitudes les plus négatives. En revanche, pas de différence significative n'a pu être décrite entre les deuxième et troisième profils, pour le score de biosécurité.

4.4. Discussion

4.4.1. Evaluation des pratiques de biosécurité et élevage en plein-air

Le questionnaire utilisé pour évaluer l'observance de la biosécurité en élevage était relativement similaire à celui qui avait testé et utilisé lors de l'enquête précédente menée en élevages de palmipèdes à foie gras (Delpont et al. 2018). En revanche, le choix de n'inclure que des élevages de canards-à-engraisser a permis cette fois-ci d'étudier des pratiques relatives à l'élevage en plein-air, comme la distribution d'eau et d'aliment sur parcours ou la possibilité d'accéder aux parcours depuis les sas sanitaires. Les modes d'élevage donnant un accès à un parcours de plein-air sont actuellement en pleine expansion, notamment en Europe (Augère-Granier 2019). Cette évolution a des conséquences sur la conception de la biosécurité dans ces élevages, notamment avec les risques de contamination par l'avifaune sauvage. En particulier, les palmipèdes sauvages sont décrits comme des espèces "réservoir" de virus influenza aviaire (Swayne et al. 2020), et des études phylogénétiques sur ces virus ont permis de démontrer leur dissémination le long des couloirs de migration (The Global Consortium for H5N8 and Related Influenza Viruses 2016). De manière générale, les études évaluant le respect des pratiques de biosécurité s'intéressent très peu aux élevages de volailles proposant l'accès à un parcours de plein-air. Il existe des travaux incluant dans leur échantillonnage des élevages de plein-air en plus des élevages en confinement, mais ils n'étudient pas spécifiquement les pratiques de biosécurité propres aux élevages de plein-air (Scott, Singh, et al. 2018). Certains travaux s'intéressent presque exclusivement à l'observation de faune

sauvage sur les parcours et dans la zone professionnelle, mais en exploitant peu les pratiques de biosécurité associées (Scott, Phalen, et al. 2018 ; Burns et al. 2012 ; Elbers, Gonzales 2020). Dans notre étude, la thématique qui rassemble les pratiques liées à la protection contre l'avifaune sauvage est une des deux thématiques présentant la plus faible observance. On peut émettre l'hypothèse que ces mesures ne sont pas appliquées car elles nécessitent un investissement important. En effet, l'installation d'une chaîne d'alimentation à l'intérieur des bâtiments, ou la couverture des ouvertures vers l'extérieur (lorsqu'elles sont très larges), demande des travaux de grande ampleur.

4.4.2. Respect des pratiques de biosécurité

Il est tout d'abord intéressant de constater, en élevages de palmipèdes à foie gras, la nette amélioration de l'observance, en prenant pour comparaison la situation de 2015, décrite dans la partie 3. Bien que nous ne comparions pas exactement les mêmes populations (absence des engraisseurs et des éleveurs en autarcie dans l'étude de 2018), l'ampleur de l'amélioration des pratiques de biosécurité semble refléter les efforts consentis par les éleveurs afin de renforcer la protection sanitaire de leurs élevages. A titre d'illustration, le changement de bottes est passé de 23 à 88%. Ensuite, parmi les mesures qui présentent une faible observance, on retrouve certaines observations faites dans la partie 2 dans l'étude qui présente les résultats d'inspections par les DDecPP à l'échelle nationale. C'est notamment le cas de la variable « sas sanitaire » qui présente un taux de conformité de 62%. Ce type de résultats nous a permis par la suite de définir les aspects prioritaires pour la conception de formations en biosécurité plus ciblées.

Les pratiques de biosécurité en élevage sont nombreuses et complexes. Afin de pouvoir lier l'observance de biosécurité à d'autres variables, nous avons choisi de développer pour chaque élevage un score de biosécurité qui ne pondère pas l'importance relative des différentes mesures de biosécurité. Une démarche de pondération aurait nécessité de prendre en compte les voies de transmission d'un agent pathogène en particulier. Bien que notre étude se plaçait dans un contexte d'épidémies d'influenza aviaire, notre objectif de recherche était de se positionner dans un cadre plus général. *A posteriori*, il est probable que nos résultats auraient été similaires, étant donné le caractère très réfractaire des éleveurs appartenant au premier profil de déterminants psycho-sociaux.

4.4.3. Déterminants de l'observance

L'obtention de trois profils d'éleveurs nous a permis de mettre en valeur l'hétérogénéité des mécanismes de prise de décision. C'est une donnée importante car elle souligne le besoin d'adapter les stratégies d'intervention aux différents profils. Une hétérogénéité, aussi bien dans les pratiques de prévention sanitaire que dans leurs déterminants, a aussi été mise en évidence dans une étude britannique conduite en élevage ovin (O'Kane et al. 2017).

Les déterminants psycho-sociaux de l'observance identifiés dans les différents profils d'éleveurs nous ont permis de confirmer des mécanismes déjà décrits pour la biosécurité en élevage tels que la perception des bénéfices associés à la biosécurité (ex : amélioration des résultats techniques d'élevage), l'influence du regard des autres (ex : effet sur la réputation en cas de foyer épidémique déclaré dans l'exploitation) et le sentiment d'auto-efficacité (ex :

se sentir capable de se laver les mains à chaque passage dans le sas) (E. Kristensen, Jakobsen 2011 ; Garforth 2015 ; Mankad 2016 ; Ritter et al. 2017 ; Fiona Vande Velde et al. 2018). Par ailleurs, nous avons pu mettre en évidence une meilleure observance dans des exploitations avec de plus nombreux bâtiments (Racicot et al. 2012b) ou avec des troupeaux plus grands (Hernández-Jover et al. 2012 ; Niemi et al. 2016). Ces éleveurs sont susceptibles de percevoir la gravité des infections comme plus importante. Le niveau de connaissances aussi bien que la confiance associée aux informations sur la biosécurité ont aussi été décrits. Ces connaissances sont nécessaires (Cui, Liu 2016) mais pas toujours suffisantes, comme identifié chez des ramasseurs de volailles, qui n'avaient pas en réalité le temps de mettre en place les mesures qu'ils savaient efficaces (Millman et al. 2017). Nous avons émis l'hypothèse que le fait d'avoir été foyer d'influenza aviaire hautement ou faiblement pathogène entre 2015 et 2017 pouvait être un déclencheur important dans la mise en place de mesures de biosécurité, mais cela n'a pas été mis en évidence dans cette étude. Notre protocole n'a pas permis d'identifier les changements mis en place à l'échelle de chaque exploitation entre 2015 et 2018. Par ailleurs, nous supposons que les participants à cette enquête ont tous subi un traumatisme lié aux épidémies de 2015-2017 suite aux mesures drastiques qui ont été mises en place dans toutes les exploitations de volailles du sud-ouest (interdiction de mise en place de toute nouvelle bande de volailles pendant plusieurs semaines, aux printemps 2016 et 2017). En revanche, nous expliquons les disparités régionales, dans l'enquête conduite à l'échelle nationale (partie 2), par les historiques sanitaires respectifs.

Les traits de personnalité se sont avérés très hétérogènes entre les différents profils. L'un des deux profils avec la meilleure observance de biosécurité présentait des scores élevés pour « l'orientation vers l'action ». Le caractère pro-actif avait pu être mis en évidence chez les éleveurs de volailles québécois (Racicot et al. 2012b). En outre, le fait d'être consciencieux (qui comprend les variables « approche cognitive », « organisation » et « conformité » dans notre étude) est souvent lié au niveau d'observance, que ce soit en médecine vétérinaire chez les éleveurs de moutons (O'Kane et al. 2017) ou de volailles (Racicot et al. 2012b), mais aussi en médecine humaine dans la capacité à respecter les traitements de longue durée, en cas de diabète de type 1 ou 2, d'antibiothérapie ou de maladies cardio-vasculaires (Axelsson 2013 ; Axelsson et al. 2011 ; Christensen, Smith 1995 ; Skinner et al. 2014 ; Stillely et al. 2004). L'approche cognitive, qui met en valeur la capacité à peser le pour et le contre avant de prendre une décision, pourrait avoir un effet sur la perception des bénéfices de la biosécurité. Le caractère organisé pourrait améliorer la gestion du système complexe qu'est la biosécurité en élevage, dans la mesure où il est question de maîtriser de nombreux sources de contamination simultanément. La conformité, enfin, renvoie au respect des règles, donc naturellement au respect des règles de biosécurité. Il a été intéressant de constater que les traits de personnalité reliés au stress et à l'anxiété (domaine du névrosisme) ont été associés à l'un des profils présentant une bonne observance. Le stress peut avoir à la fois des effets positifs ou négatifs sur les comportements, comme cela est décrit en psychologie (Lepine et al. 2005). Dans certaines circonstances, le stress agit comme motivateur, augmentant la perception du risque, comme décrit pour l'influenza porcine (Hernández-Jover et al. 2012). En revanche, le stress peut aussi conduire à l'épuisement et au découragement, comme décrit au sujet de la prévention et du traitement des boiteries chez le mouton (O'Kane et al. 2017).

Les résultats sur l'observance des pratiques de biosécurité et ses déterminants en élevage ont fourni des indications précieuses en vue de mettre en place des interventions auprès des éleveurs. Cet aspect est développé dans la discussion générale.

4.5. Article 3

Determinants of biosecurity practices in French duck farms after a H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza epidemic: The effect of farmer knowledge, attitudes and personality traits

Mattias Delpont¹  | Manon Racicot²  | André Durivage³ | Lucie Fornili¹ | Jean-Luc Guerin¹  | Jean-Pierre Vaillancourt⁴ | Mathilde C. Paul¹ 

¹IHAP, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, Toulouse, France

²Faculty of Veterinary Medicine, Department of Pathology and Microbiology, Université de Montréal, St-Hyacinthe, QC, Canada

³Department of Administrative Science, Université du Québec en Outaouais, Gatineau, QC, Canada

⁴Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Université de Montréal, St-Hyacinthe, QC, Canada

Correspondence

Mattias Delpont, UMR ENVT INRA 1225 IHAP, National Veterinary College of Toulouse, France, 23, Chemin des Capelles, 31076, Toulouse, France.
Email: m.delpont@envt.fr

Abstract

Biosecurity is crucial for infectious disease prevention, more importantly in the absence of vaccination. The need for improving the implementation of biosecurity practices was highlighted in French duck farms following the 2016–2017 H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) epidemic. Farmers have multiple reasons for not implementing biosecurity practices: external (time, money) and internal (socio-psychological). The purpose of this study was to determine how sets of socio-psychological factors (i.e. knowledge on biosecurity and avian influenza transmission, attitudes, personality traits, social background) affect the adoption of on-farm biosecurity practices. Biosecurity practices and socio-psychological determinants were assessed during 127 duck farm visits, in South West France, using both questionnaires and on-farm observations. Factorial analysis of mixed data (FAMD) and hierarchical clustering analysis (HCA) identified three groups of farmers with different socio-psychological profiles: the first group was characterized by minimal knowledge, negative attitudes towards biosecurity, little social pressure and a low level of conscientiousness. The second group was characterized by more extensive experience in poultry production, higher stress and social pressure. The third group was characterized by less experience in poultry production, better knowledge and positive attitudes towards biosecurity, increased self-confidence and orientation towards action. The first group had a significantly lower adoption of biosecurity measures than the two other groups. A better understanding of the factors involved in farmers' decision-making could improve the efficiency of interventions aiming at improving and maintaining the level of on-farm biosecurity in the duck industry.

KEYWORDS

avian influenza, compliance, epidemiology, perception, poultry, socio-psychological factors

1 | INTRODUCTION

In 2016–2017, an epidemic of Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) H5N8 clade 2.3.4.4. severely hit Europe (Alarcon et al., 2018).

In Northern Europe, multiple introductions of H5Nx clade 2.3.4.4. from wild birds to domestic poultry occurred, as shown by genetic analysis (Beerens et al., 2017; Pohlmann et al., 2018; Świątoń & Śmietanka, 2018). However, in Southern Europe, epidemiologic investigations and spatiotemporal patterns suggest that domestic bird

movements and human-related factors played a predominant role in HPAI propagation, especially in France and Hungary, where most of the domestic outbreaks (485 and 307, respectively) clustered in areas of high duck farm density (World Organisation for Animal Health (OIE), 2017a, 2017b; Guinat, Nicolas, et al., 2018; Napp, Majó, Sánchez-González, & Vergara-Alert, 2018; Guinat et al., 2019). In these regions, duck farms appear to be more susceptible to HPAI spread, given the intensity of live duck transport, and the proximity to wildlife disease reservoirs because of the access to outdoor ranges (Artois et al., 2009; Scott et al., 2018). These modes of transmission appear more likely, given that an investigation of wind direction as a risk factor showed no correlation with the propagation of the virus between farms in Southern France (Guinat, Rouchy, Camy, Guerin, & Paul, 2018).

Biosecurity is particularly crucial to prevent the spread of diseases such as HPAI, particularly when vaccination is not available. For example, it was shown that equipment sharing, poor visitor and personnel biosecurity and poor management of vehicles entering the farm perimeter increased the risk of avian influenza infection in poultry farms (Garber et al., 2016; Halvorson, 2009; Wells et al., 2017). The rapid propagation of the HPAI epidemic, along with previous studies on hygiene practices, highlighted the importance to improve adoption and compliance with biosecurity practices in the duck industry (Delpont et al., 2018; Marinova-Petkova et al., 2016). More generally, biosecurity is judged as suboptimal in many farming contexts, regardless of the countries or the species considered (Delabbio, Murphy, Johnson, & McMullin, 2004; Gilbert et al., 2006; Brennan & Christley, 2012; Backhans, Sjölund, Lindberg, & Emanuelson, 2015; Van Limbergen et al., 2018).

Such observations raise questions about which factors may be associated with the adoption of biosecurity measures known to limit the spread of avian influenza. The study of such factors, based on psychological and social sciences, is now emerging as a major determinant in disease prevention (Garforth, 2015; Mankad, 2016). Some external factors—that is not farmer-specific—have been identified: cost of the measures (Alarcon, Wieland, Mateus, & Dewberry, 2014; Gunn, Heffernan, Hall, McLeod, & Hovi, 2008), time spent performing the behaviour (Brennan et al., 2016; Millman et al., 2017) and regulations. Several internal factors, directly related to the farmer, such as socio-demographical characteristics were also described. They include experience and education (Racicot, Venne, Durivage, & Vaillancourt, 2012a) as well as age and gender (Nöremark, Sternberg Lewerin, Ernholm, & Frössling, 2016). Knowledge and understanding of biosecurity principles related to infectious diseases play a role in farmers' decision-making (Cui & Liu, 2016). Also, attitudes towards implementing measures need to be considered. They include perception of danger and risk (Valeeva, Asseldonk, & Backus, 2011; Brennan et al., 2016), confidence in the effectiveness of the measure on disease prevention (Laanen et al., 2014; Ritter et al., 2016), social norms—that is being influenced by the opinion and action of other people (Ellis-Iversen et al., 2010) and self-efficacy—that is feeling able to perform a given measure (Ellis-Iversen et al., 2010; Marier et al., 2016). However, only a few studies have also investigated the effect of personality

traits on disease prevention behaviour (O'Kane, Ferguson, Kaler, & Green, 2017; Racicot et al., 2012a) in spite of evidence in the human medicine literature (Skinner, Bruce, Davis, & Davis, 2014).

This study aimed at evaluating a large number of socio-psychological determinants of biosecurity adoption: personality traits, knowledge and attitudes towards biosecurity and farmer socio-demographic characteristics. The adoption of biosecurity practices was assessed using questionnaires focusing on objective elements and supplemented by on-farm observations.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 | Sampling

Duck grow-out farms (i.e. production stages involving an outdoor access and no fattening) belonging to farmers with contracts with South West French integrators were the targeted population. A random sampling of 196 duck farms was carried out, from a database of 640 farms from the 7 main integrators (accounting for 86% of the targeted population). The database was provided by the foie gras duck industry (Comité Interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras, CIFOG).

2.2 | Visits and questionnaires

Visits took place between March 3rd and June 6th 2018 and lasted two hours. Each visit included the completion of three questionnaires (available in French upon request). The questionnaires were administered by three trained interviewers and pre-tested by four farmers who were not included in the final study. The expected time required to complete the questionnaires was approximately 1.5 hr. In the first questionnaire, a total of 58 numeric or multiple-choice questions provided information on farm characteristics (12/58) and biosecurity practices (46/58). In order to obtain an objective assessment of the practices, 20 out of 46 questions required direct observations inside the farm premises (e.g. 'Does the ante-room provide a clear separation between zones?'). Spaces were left for comments. Then, a second questionnaire, comprising a total of 37 questions, was related to attitudes towards the implementation of on-farm biosecurity practices ($n = 27$), farmer demographic characteristics ($n = 6$) and knowledge about biosecurity ($n = 4$). Most questions related to attitudes (21/27) used a 5-point Likert scales (1 = 'strongly disagree' to 5 = 'strongly agree') measuring the degree of agreement with statements related to social pressure (e.g. 'Not experiencing an outbreak of avian influenza is important for my reputation'), the benefits of a good biosecurity (e.g. 'Good biosecurity may improve my productivity') and self-efficacy in the implementation of biosecurity practices (e.g. 'Should temperatures be high, I would still wear barn-specific coveralls'). The remaining questions on attitudes (6/27) used a multiple-choice format. The six questions on demographic characteristics (e.g. gender, experience

in poultry production) were in a numeric or multiple-choice format. The four questions assessing knowledge of biosecurity were related to the transmission and resistance of avian influenza viruses, the downtime period and other factors affecting the efficiency of disinfection in general. Finally, a personality test was adapted for on-farm biosecurity from a questionnaire on health and safety at work (SAFE-T¹). This validated assessment tool was designed to evaluate personality traits associated with employee safety practices and behaviours (Compmetrica, 2012) and based on the *Big Five* model (Digman, 1990; Goldberg, 1990). It includes 104 questions involving 4-point Likert scales measuring the degree of agreement with different statements and 4 multiple-choice questions. The test provides a score [0; 18] for 12 personality traits that are known to be related to compliance/safety behaviour, those traits being grouped along the *Big Five* factors (Appendix S1).

2.3 | Data analysis

Some questions related to biosecurity practices needed recoding. For example, several questions were merged when numerous situations were taken into account. This was the case for the variable 'equipment sharing'. In this case, farmers were asked to answer the same question for different types of equipment (litter handling, manure removal, manure spreading, vaccination and duck transport). This variable was coded as 'yes' if at least one type of equipment was shared with other farmers. A total of 40 biosecurity variables were given a score, ranging from 0 to 1. Scores closer to 1 represent safer disease prevention practices. For example, for 'backyard poultry', 1 = 'no backyard poultry', 0.5 = 'farmer has backyard poultry, but not on farm site', 0 = 'farmer has backyard poultry on farm site'. The 40 biosecurity variables were grouped under 17 themes and an average score, ranging from 0 to 1, was given for each theme (e.g. 'Domestic animals', comprising 'backyard poultry' and 'dog or cat on the farm'). The same was done for external biosecurity practices (measures preventing the pathogens from entering and leaving the farm), internal biosecurity practices (measures preventing the pathogens from circulating and persisting inside the farm) and overall biosecurity. The list of biosecurity variables scored as part of the current study, along with their related biosecurity themes is presented in Appendix S2. A knowledge score was calculated, based on the sum for the four related questions, and then categorized into three knowledge levels: low, intermediate and high.

The analysis of socio-psychological determinants first involved a factorial analysis of mixed data (FAMD) which synthesized, in a lower Euclidian multidimensional space, the information contained in 42 active variables (all variables on personality traits, attitudes, knowledge and demographic characteristics are provided in Appendices S1 and S3) and in 6 supplementary variables (regarding farm characteristics. They are provided in Appendix S4). In order to obtain profiles of socio-psychological determinants, the FAMD was then followed by a hierarchical cluster analysis

(HCA) which used Ward's method and was consolidated with the K-means method. The over-representation of the variables in each cluster was assessed with a hypergeometric test (Husson, Le, & Pagès, 2017). In the analyses involving variables associated with socio-psychological determinants, the five-point Likert scales were treated as continuous variables (O'Kane et al., 2017). Overall, internal and external biosecurity scores were treated as continuous variables. To compare the magnitude of external and internal biosecurity practices (Gelaude, Schlepers, Verlinden, Laanen, & Dewulf, 2014), a Wilcoxon–Mann–Whitney test was used. The differences in overall biosecurity between the different socio-psychological clusters were examined with Wilcoxon–Mann–Whitney and Kruskal–Wallis tests (Hollander, Wolfe, & Chicken, 2014). All statistical analyses were conducted using R software (R Core Team, 2017). Factorial and clustering analyses used 'FactoMineR' package (Le, Josse, & Husson, 2008).

3 | RESULTS

The participation rate was 65%: out of the 196 farmers contacted, 127 farmers participated in the study, 11 (5.6%) were excluded because they did not own grow-out farms, 13 (6.6%) could not be reached and 45 (23%) refused to participate.

3.1 | General characteristics of study farms and farmers

Most farms in this study were located on a single production site ($n = 92$, 72%) with an average of three barns. Flocks contained a median of 6,000 ducks, with a median annual production of 24,000 ducks. The majority of the farms were all-in/all-out at the farm-level ($n = 109$, 86%). Ducks were usually transported to fattening farms on two different days ($n = 58$, 46%), meaning over two consecutive days or by two different catching crews. Most farmers were males ($n = 101$, 80%) and had completed high school ($n = 78$, 61%). Most farmers had their home on the farm site ($n = 92$, 72%) among which 56 (61%) had a separate entrance. Almost half of the farmers ($n = 54$, 43%) did not have farm employees. Among the participating farmers, 28 (22%) had experienced an outbreak of highly pathogenic or low pathogenicity notifiable avian influenza either during the 2015–2016 or the 2016–2017 epidemic.

3.2 | Biosecurity scores

The biosecurity scores are detailed in Table 1. The overall mean biosecurity score was 0.63, with an average internal and external biosecurity score of 0.72 and 0.61, respectively. The internal biosecurity score proved to be significantly higher than the external biosecurity score ($p < .001$, Wilcoxon–Mann–Whitney test). The highest average scores were related to duck carcass management (0.84), cleaning

TABLE 1 Means, standard deviations (*SD*), medians, minimums and maximums biosecurity scores for the 17 different themes, external, internal and overall biosecurity

Biosecurity theme	Mean	SD	Median	Min	Max
Dead ducks	0.84	0.26	1	0	1
Cleaning	0.82	0.39	1	0	1
Visitors' vehicles	0.82	0.27	1	0	1
Farm access	0.79	0.23	0.83	0	1
Manure	0.76	0.39	1	0	1
Duck transfer	0.76	0.41	1	0	1
Rendering	0.74	0.26	0.75	0	1
Sick ducks	0.72	0.45	1	0	1
Visitor hygiene	0.69	0.19	0.75	0.25	1
Shared equipment	0.68	0.25	0.67	0	1
Downtime	0.65	0.28	0.5	0	1
Pests	0.62	0.28	0.67	0	1
Farmer hygiene	0.62	0.36	0.5	0	1
Anteroom	0.55	0.13	0.57	0.14	0.86
Wild birds	0.52	0.26	0.5	0	1
Disinfection	0.51	0.5	1	0	1
Domestic animals	0.51	0.34	0.5	0	1
Internal biosecurity	0.72	0.15	0.75	0.31	1
External biosecurity	0.61	0.08	0.62	0.41	0.78
Overall biosecurity	0.63	0.07	0.64	0.46	0.79

(0.82) and the management of visitor vehicles (0.82). The lowest average scores concerned domestic animal management (dog or cat on the farm and backyard poultry, 0.51), outdoor disinfection procedures (0.51) and protection against wild birds (0.51). Anterooms and farmer hygiene, which are major components of biosecurity measures, had relatively low average scores (0.55 and 0.62, ranking 13th and 14th out of the 17 biosecurity themes).

3.3 | Classification of the socio-psychological determinants related to biosecurity practices

The FAMD was conducted on the five first factorial dimensions, accounting for 30.8% of the variance. Based on the decrease in within-group inertia, the consolidated HCA revealed 3 clusters of farmers, identified as cluster 1 ($n = 27$), cluster 2 ($n = 45$) and cluster 3 ($n = 55$). The variables or modalities that are under- or over-represented (p -value $< .05$) in the different clusters are presented in Table 2.

Farmers in cluster 1 ($n = 27$) are mainly defined by more negative attitudes towards biosecurity (compared with the farmers in the other two clusters). Overall, they had a lower knowledge score ($v.test = 3.573$) and considered information on biosecurity to be too abundant and inconsistent. Moreover, they did not believe in the benefits of biosecurity since, for example, they

did not expect that it would increase their productivity nor protect their duck flocks from other diseases than avian influenza. Farmers in this cluster felt little social pressure. For example, they did not believe that their farm could be a source of pathogens for other farms ($v.test = -4.693$) and they would not feel any sort of guilt in case of an outbreak of avian influenza on their farm. They also had a low feeling of self-efficacy. For instance, they thought that there are neither cheap nor time-saving biosecurity measures and therefore they did not believe that biosecurity measures could be applied on a routine basis (e.g. like changing boots every time they enter or leave a poultry barn). Their personality profile reveals a low level of conscientiousness, with lower scores in cognitive structure, organization and conformity. Farmers in this group implemented new biosecurity measures only when they were forced to do so ($v.test = 2.119$). Finally, the farms that are over-represented in this cluster had relatively smaller flocks.

Farmers in cluster 2 ($n = 45$) appeared more stressed than those in the other two clusters, both individually and socially. They were characterized by neuroticism-related personality traits including lower scores on peace of mind ($v.test = -6.909$), self-confidence and stress tolerance. Neuroticism is a dimension of personality focusing on the level of emotional stability and anxiety (Goldberg, 1990). Farmers in cluster 2 also had a stronger sense of social responsibility since they thought that farmers have a role to play in public health ($v.test = 2.454$) and that not having avian influenza on their farms was important for their reputation. They also had higher scores in cognitive structure and relatively more experience in poultry production.

Farmers in cluster 3 ($n = 55$) were mainly defined by more positive attitudes towards biosecurity. Indeed, they tended to have higher knowledge scores ($v.test = -2.440$ for low knowledge score). As opposed to farmers in cluster 1, they considered biosecurity to be beneficial and guidelines to be reasonable. They thought biosecurity may increase productivity and prevent other diseases than avian influenza. Moreover, they cited the improvement of animal health and productivity as the main driver for the implementation of new biosecurity measures ($v.test = 2.559$). These farmers also thought that implementing biosecurity was achievable and that they could even save time. They reported being able to wash their hands upon entering or leaving a barn on a routine basis. In addition, in this cluster, it was more likely to find farmers who were more action-oriented ($v.test = 2.828$). Moreover, as opposed to farmers in cluster 2, farmers from cluster 3 had higher scores for personality traits related to neuroticism, such as stress tolerance and self-confidence. They also showed higher scores for conformity, a personality trait related to conscientiousness. Finally, farmers over-represented in this cluster had less experience in poultry production.

3.4 | Biosecurity level in the different clusters

The level of biosecurity was significantly different between the clusters ($p < .05$). More specifically, the biosecurity score was

TABLE 2 Characteristics of the clusters of socio-psychological determinants obtained with the FAMD and the consolidated HCA

Variable	Cluster ^a		
	1	2	3
Attitudes: risk perception			
'Should the epidemic risk increase, I would reinforce biosecurity on my farm'	-3.466		
Past inspection of on-farm biosecurity by public health services: no			1.998
Past inspection of on-farm biosecurity by public health services: yes			-1.998
Attitudes: self-efficacy			
'I would still wear barn-specific coveralls when temperatures are high'	-2.862		
'It is achievable to change boots every time I enter a barn'	-3.149		
'It is achievable to wash hands every time I enter a barn'	-4.311		3.145
'Some biosecurity practices may actually save time'	-3.220		2.622
'Some biosecurity measures require little financial investment'	-3.941		
'Should a visitor not respect biosecurity procedures, I would tell him'	-2.686		
Attitudes: social norms and responsibility			
'A disease may spread from my farm to other farms'	-4.693	2.710	
'I would feel guilty in case of an Influenza outbreak on my farm'	-2.491	3.210	
'Farmers have a role to play in public health'	-5.032	2.454	
'Not having an outbreak of avian influenza is important for my reputation'		1.986	
'The same biosecurity rules should apply to all'			2.157
Attitudes: effect of biosecurity			
'Veterinary health authorities may help prevent a future epidemic crisis'	-3.831		2.326
'Good biosecurity may prevent other diseases than avian influenza'	-4.773		2.680
'Good biosecurity may improve my productivity and my profitability'	-4.059		2.580
'Biosecurity guidelines are exaggerated'	4.997		-4.053
'Raising birds outdoors makes biosecurity useless'	2.170		
Knowledge and information			
Knowledge score: low	3.573		-2.440
Knowledge score: high	-2.196		
'I did read industry biosecurity guidelines'		-1.969	
'There is too much information on biosecurity'	3.631	-1.980	
'The information given on biosecurity is consistent'	-2.830		
Main reason for implementing new biosecurity practices			
It is mandatory	2.120		-1.986
It improves animal health and productivity	-2.489		2.559
Farm characteristics			
Flock size ^b : 0–3,200	2.463		-2.650
Personality traits			
Cognitive approach	-3.961	2.250	
Conformity	-2.330	-2.573	4.407
Organization	-2.110		
Action-oriented			2.828
Peace of mind	2.674	-6.909	4.461
Stress tolerance		-6.385	5.810
Self-confidence		-5.390	4.509
Emotionalism (reverse scaling)		-5.403	3.689
Direct approach (reverse scaling)		-2.706	

(Continues)

TABLE 2 (Continued)

Variable	Cluster ^a		
	1	2	3
Impulsive (reverse scaling)		-2.067	
Tolerance		-3.001	2.455
Team-oriented			2.071
Demographic characteristics			
Gender: male		-2.995	2.326
Gender: female		2.995	-2.326
Experience in poultry production: <14 years		-2.298	2.396
Experience in poultry production: 14–20 years			-2.032

Note: Only variables that were statistically over-represented and underrepresented (p -value < .05) in the clusters are shown.

^aThe v -test value obtained from the hypergeometrical test is given when p -value < .05. The bigger the absolute value, the better the cluster is described by this variable. Negative values refer to under-representation, and positive values refer to over-representation in the given cluster.

^bThis variable was included as supplementary, and it had no influence in the construction of the axes in the factorial analysis.

significantly ($p < .05$) lower in cluster 1 compared with clusters 2 and 3. Also, there was no significant statistical difference between clusters 2 and 3. The results are presented in Figure 1.

4 | DISCUSSION

The current study is one of the few that have investigated and shown the importance of farmers' personality, attitudes, perceptions and motivations as determinants of biosecurity adoption. This work also goes beyond the assessment of mere intentions

to perform biosecurity, as well as beyond the over-simplistic assessment of biosecurity practices by taking into account multiple practices and using reliable sources of information such as observations and quantifiable data.

This study assessed the adoption of different biosecurity measures in French foie gras duck farms. In France, regulations on biosecurity in poultry farms were published in 2016 (DGAI, 2016). They establish a set of biosecurity requirements and state that farmers should elaborate a biosecurity protocol based on a risk analysis. Those regulations are periodically enforced by biosecurity audits, carried out by the veterinary health services. Assessing biosecurity compliance can be challenging as it consists of a complex set of strategies and measures. Yet, its assessment requires simple indicators. Some researchers evaluated biosecurity compliance using video surveillance for specific practices considered of utmost importance, such as the use of anterooms (also known as hygiene locks) (Racicot, Venne, Durivage, & Vaillancourt, 2011). Others looked at a large number of practices by giving the farm an overall biosecurity score (Gelaude et al., 2014; Van Steenwinkel, Ribbens, Ducheyne, Goossens, & Dewulf, 2011) or by reducing the number of biosecurity-related items through factorial and/or cluster analysis (Ribbens et al., 2008; Nöremark, Frössling, & Lewerin, 2010). Nevertheless, information on biosecurity practices may be of poor validity since it is usually obtained indirectly through intentions to perform biosecurity or through declarative statements. There is often a gap between intentions and actual behaviour (Ellis-Iversen et al., 2010; Sniehotta, Presseau, & Araújo-Soares, 2014) and between self-reported practices and actual practices (Nespeca, Vaillancourt, & Morrow, 1997). To address those difficulties, many aspects of biosecurity were covered in the current study. Observable (on-farm observations, farm records) or quantifiable (distance measurements) aspects of biosecurity were assessed whenever it was possible, even though in some cases we had to rely on farmer statements (e.g. equipment shared with other farmers). Then, a biosecurity scoring system was used as it provided simple information which could be understood by farmers and provided specific cues for action (theme-specific scores).

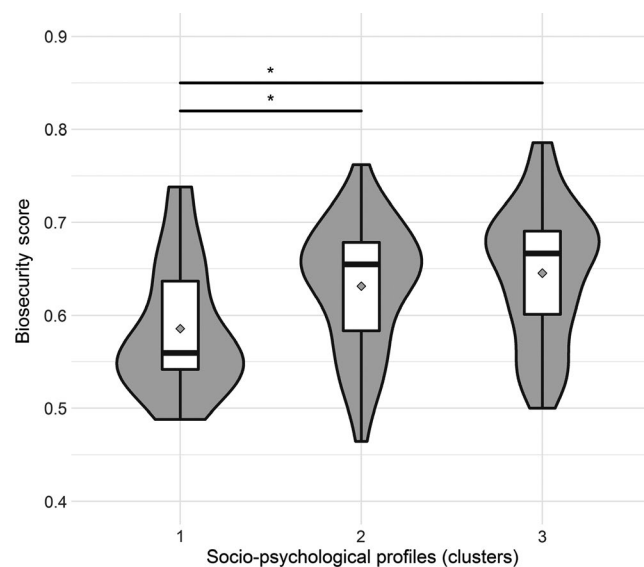


FIGURE 1 Violin plots and superimposed boxplots comparing the biosecurity scores for the different socio-psychological clusters. Violin plots show the probability density curve of the data at different values. The grey dots symbolize mean biosecurity scores. Statistical differences (p value < .05) are labelled with an asterisk (*)

Existing scoring tools such as Biocheck.UGent (Gelaude et al., 2014) were not adapted to foie gras duck production, because of its specific features (access to an outdoor range, ducks being frequently moved from one farm to another for fattening). It would be beneficial for farmers to use the scoring tool developed in the present study. However, this tool is specific to grow-out farms only, and adaptation would be needed for a wider use in the duck industry.

Some conclusions can be drawn from the current level of biosecurity adoption in the studied population. The level of internal biosecurity was higher than the external biosecurity. Although it was already reported in the European poultry industry (Van Limbergen et al., 2018) or swine production (Silva et al., 2019), this finding remains difficult to interpret. A possible explanation is that the biosecurity measures associated with internal biosecurity might be easier to comply with or require less investment: use of detergent during barn cleaning, or proper maintenance of the rendering container. This hypothesis is supported by the fact that, in French duck farms, the proportion of farmers using detergents was significantly higher in the present study (82% vs. 44%, *p*-value for Fisher's exact test < 0.05) than before the 2015–2017 HPAI epidemics for the same farm type (Delpont et al., 2018). Measures of internal biosecurity could also be better understood because they focus more on dirt (e.g. dead animals, manure, cleaning), while the infection with apparently clean fomite is more difficult to conceptualize.

This study evaluated the relationship between various socio-psychological determinants (including personality traits) and adoption of biosecurity measures. Factorial analysis and clustering tools allowed for the distinction of different farmers' profiles. This distinction takes into account the fact that the population of farmers is indeed heterogeneous with regards to decision-making, and therefore provides relevant information for a more tailored advice on biosecurity. A heterogeneity in both prevention practices and their determinants was described for sheep footrot management (O'Kane et al., 2017).

This study showed that the farmer profile with the lowest level of biosecurity had the most negative attitudes towards biosecurity. The difference between low-biosecurity and high-biosecurity profiles also confirmed the importance of previously identified determinants such as perceived benefits of good biosecurity practices (e.g. prevention against several diseases, increased productivity), social norms (e.g. farmer's reputation being affected in case of an Influenza outbreak, being aware that a disease may spread from his farm) and the feeling of self-efficacy (e.g. some biosecurity practices may actually save time) (Kristensen & Jakobsen, 2011; Wauters & Rojo Gimeno, 2014; Garforth, 2015; Mankad, 2016; Ritter et al., 2017; Vande Velde, Charlier, & Claerebout, 2018).

Furthermore, farm type should be taken into account, as farms with smaller flocks were over-represented in the low-biosecurity profile. Similarly, it was shown that having large herds (Hernández-Jover, Taylor, Holyoake, & Dhand, 2012; Niemi, Sahlström, Kyyrö, Lyytikäinen, & Sinisalo, 2016) or a higher number of barns (Racicot, Venne, Durivage, & Vaillancourt, 2012b) was related to an increased

biosecurity compliance. Farmers of larger production sites may consider themselves more at risk, leading to a better understanding of the importance of prevention.

The results also identified knowledge as a significant factor (belief that the information on biosecurity is inconsistent and lower knowledge score in the low-biosecurity profile). Knowledge of biosecurity measures is usually shown to be required (Cui & Liu, 2016; Ellis-Iversen et al., 2010) but in some cases remains insufficient. For example, in a study involving poultry catchers, limited time was a major constraint for performing biosecurity, even though catchers had a good biosecurity knowledge (Millman et al., 2017).

Having experienced a low or highly pathogenic influenza outbreak between 2015 and 2017 was expected to have an influence on the level of biosecurity. Interestingly, this variable was not over-represented in any of the socio-psychological profiles nor directly associated with the biosecurity score. Several hypotheses may explain this result. We may consider that given the extent of the 2015–2017 epidemics and their impact on production (duck movement restrictions, culling of healthy flocks, temporary ban on duck production), all duck farmers in South West France experienced the epidemics and thus equally increased their risk perception. This indirect effect was described after a horse influenza epidemic in Australia where the level of psychological distress among horse owners was found to be high even outside of the control zone (Taylor, Agho, Stevens, & Raphael, 2008). Finally, the probability to have experienced an outbreak of avian influenza could have been influenced by the initial level of biosecurity on the farm, and it is not possible to quantify the extent to which the level of biosecurity changed after the epidemic.

This study also brings evidence on the importance of taking into account farmers' personality. Farmers were asked to provide the main reason that would drive them to implement new biosecurity measures. The low-biosecurity profile was characterized by farmers only complying with mandatory measures and not taking further actions as they did not see any form of benefit. At the opposite, the high-biosecurity profile was characterized by higher scores in 'action-oriented' personality. Being 'action-oriented' was also found to influence positively biosecurity compliance on poultry farms (Racicot et al., 2012a). Furthermore, three personality traits ('cognitive approach', 'conformity' and 'organization') related to 'conscientiousness', one of the Big Five personality factors (Goldberg, 1990), have been shown to be linked with an increased compliance. It is interesting to note that this personality factor was not only found to play a role in veterinary science—with lameness prevention in sheep (O'Kane et al., 2017) and biosecurity compliance in poultry barns (Racicot et al., 2012a), but also in human medicine with adherence to long-term treatments or recommendations for type 1 and 2 diabetes, high cholesterol and antibiotherapy (Axelsson, 2013; Axelsson, Brink, Lundgren, & Lötval, 2011; Christensen & Smith, 1995; Skinner et al., 2014; Stille, Sereika, Muldoon, Ryan, & Dunbar-Jacob, 2004). Taking a close look at the personality traits within the 'conscientiousness' factor was also relevant in this study. 'Cognitive structure' refers to an increased importance given to weighting pros and cons before taking a decision and could be

correlated with the perceived benefits of biosecurity. 'Organization' could prove useful in the management of complex concepts, such as biosecurity itself, which requires managing a great number of different strategies. 'Conformity' is also logically related to a better compliance because it relates to conforming to rules (biosecurity recommendations). Interestingly, stress-related personality traits, relating to personality factor 'neuroticism' showed contrasting profiles in the two high-biosecurity profiles. The absence of a significant difference in the level of biosecurity adoption between these two profiles could be explained by the contrasted effects that stress may have on farmers. The duality behind stress effects has been evidenced in psychological research (Lepine, Podsakoff, & Lepine, 2005). In some circumstances, stress could act as a motivator, leading to an increased risk perception and action, as described in the context of swine influenza (Hernández-Jover et al., 2012). However, stress could also lead to tension, anxiety, exhaustion and therefore reduced action. A related emotion, the feeling of hopelessness, was described in relation to lower compliance in sheep footrot management (O'Kane et al., 2017).

This study provided useful information to implement a tailored intervention among the studied farmers. A 'one-size-fits-all' intervention would not be adapted to the heterogeneity of farmers. Also, specific elements of a biosecurity plan with a low level of adoption could be targeted. Focusing on fewer aspects of biosecurity may improve the efficacy of the intervention. In this study, the quality of anterooms and their use by the farmer and the visitors could be such a high-priority topic. Knowing the farmer socio-psychological profile should also be useful for targeting the intervention. Although personality traits are considered to be stable over-time (Costa & McCrae, 1986), together with attitudes on biosecurity, they could help frame and adapt the messages to the specific profiles. For example, benchmarking strategies and positively framed messages could be more adapted to farmers in the second cluster because of their higher sensitivity to social norms and stress. The understanding of sheep farmer personality, among other psychosocial determinants, helped design an intervention to reduce lameness. However, the intervention was not tailored to farmer profile in this case (O'Kane et al., 2017). Although we could not identify instances when assessing personality traits have been used in the context of animal production, it is well known that other industries or organizations (e.g. financial service organizations) have been using this approach successfully (Johnson, 2018).

This study may not be representative of the biosecurity practices in the whole South West French duck farm population as it only focuses on a single farm type. Duck farmers not working with integrators may be differently organized and therefore have different biosecurity constraints (Delpont et al., 2018) and values about farming. In that regard, they may show different patterns of socio-psychological determinants of biosecurity. Also, some farmers refused to participate and therefore are not accounted for in the psychosocial classification. This could be a significant bias. However, if we assume that farmers refusing to participate are more likely to have negative attitudes towards biosecurity and a putative lower level of compliance with biosecurity measures,

their inclusion in the study would only further evidence the differences between compliant and non-compliant farmers. Moreover, this study presented evidence on the socio-psychological determinants of biosecurity in poultry following severe avian influenza outbreaks. This is why many questions on farmer attitudes specifically referred to avian influenza. However, as our results converge with biosecurity compliance studies conducted in other contexts, we consider that our results could also apply—up to a certain extent—to other diseases or species.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the farmers for their willingness to be interviewed in the study. They also wish to thank the foie gras industry and specially the Comité Interprofessionnel des palmipèdes à Foie Gras (CIFOG, France), for helping contacting the farmers. This work was carried out within the framework of the Chaire de Biosécurité aviaire at the École Nationale Vétérinaire de Toulouse, which is funded by the French Ministry of Agriculture.

ETHICAL APPROVAL

The methodology used for this study was approved by the ethics committee of the Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (Sciences et santé animales, number 115).

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy or ethical restrictions.

ORCID

Mattias Delpont  <https://orcid.org/0000-0002-1361-8956>

Manon Racicot  <https://orcid.org/0000-0002-5003-5901>

Jean-Luc Guerin  <https://orcid.org/0000-0001-7770-4012>

Mathilde C. Paul  <https://orcid.org/0000-0003-2940-8547>

ENDNOTE

¹ **Safety Assessment for Employees Test (SAFE-T)**. The test is available for a fee at the Compmetrica website: <https://www.compmetrica.com/EN/Test/Health-And-Workplace-Safety/>

REFERENCES

- Alarcon, P., Brouwer, A., Venkatesh, D., Duncan, D., Dovas, C. I., Georgiades, G., ... Brown, I. H. (2018). Comparison of 2016–17 and previous epizootics of highly pathogenic avian influenza H5 Guangdong lineage in Europe. *Emerging Infectious Diseases*, 24, 2270–2283. <https://doi.org/10.3201/eid2412.171860>
- Alarcon, P., Wieland, B., Mateus, A. L. P., & Dewberry, C. (2014). Pig farmers' perceptions, attitudes, influences and management of information in the decision-making process for disease control. *Preventive Veterinary Medicine*, 116, 223–242. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.08.004>
- Artois, M., Bicout, D., Doctrinal, D., Fouchier, R., Gavier-Widen, D., Globig, A., ... Olsen, B. (2009). Outbreaks of highly pathogenic avian influenza in Europe: The risks associated with wild birds. *Revue Scientifique Et Technique De L'OIE*, 28, 69–92. <https://doi.org/10.20506/rst.28.1.1854>

- Axelsson, M. (2013). Report on personality and adherence to antibiotic therapy: A population-based study. *BMC Psychology*, 1, 24. <https://doi.org/10.1186/2050-7283-1-24>
- Axelsson, M., Brink, E., Lundgren, J., & Lötvall, J. (2011). The influence of personality traits on reported adherence to medication in individuals with chronic disease: An epidemiological study in West Sweden. *PLoS ONE*, 6, e18241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018241>
- Backhans, A., Sjölund, M., Lindberg, A., & Emanuelson, U. (2015). Biosecurity level and health management practices in 60 Swedish farrow-to-finish herds. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 57(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0103-5>
- Beerens, N., Heutink, R., Bergervoet, S. A., Harders, F., Bossers, A., & Koch, G. (2017). Multiple reassorted viruses as cause of highly pathogenic avian influenza A(H5N8) virus epidemic, the Netherlands, 2016. *Emerging Infectious Diseases*, 23, 1974–1981. <https://doi.org/10.3201/eid2312.171062>
- Brennan, M. L., & Christley, R. M. (2012). Biosecurity on cattle farms: A study in North-West England. (Etienne Joly, Ed.) *PLoS ONE*, 7, e28139. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028139>
- Brennan, M., Wright, N., Wapenaar, W., Jarratt, S., Hobson-West, P., Richens, I., ... O'Connor, H. (2016). Exploring attitudes and beliefs towards implementing cattle disease prevention and control measures: A qualitative study with dairy farmers in Great Britain. *Animals*, 6, 61. <https://doi.org/10.3390/ani6100061>
- Christensen, A. J., & Smith, T. W. (1995). Personality and patient adherence: Correlates of the five-factor model in renal dialysis. *Journal of Behavioral Medicine*, 18, 305–313. <https://doi.org/10.1007/BF01857875>
- Compmetrica (2012). *Test de santé et sécurité au travail - manuel technique*.
- Costa, P. T., & McCrae, R. R. (1986). Personality stability and its implications for clinical psychology. *Clinical Psychology Review*, 6, 407–423. [https://doi.org/10.1016/0272-7358\(86\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0272-7358(86)90029-2)
- Cui, B., & Liu, Z. P. (2016). Determinants of Knowledge and biosecurity preventive behaviors for highly pathogenic avian influenza risk among Chinese poultry farmers. *Avian Diseases*, 60, 480–486. <https://doi.org/10.1637/11361-010116-Reg>
- Delabbio, J., Murphy, B. R., Johnson, G. R., & McMullin, S. L. (2004). An assessment of biosecurity utilization in the recirculation sector of finfish aquaculture in the United States and Canada. *Aquaculture*, 242, 165–179. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.03.005>
- Delpont, M., Blondel, V., Robertet, L., Duret, H., Guerin, J.-L., Vaillancourt, J.-P., & Paul, M. C. (2018). Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France. *Preventive Veterinary Medicine*, 158, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.07.012>
- DGAI (2016). *Arrêté du 8 février 2016 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux capitifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire*. Pub. L. No. NOR: AGRG1603907A.
- Digman, J. M. (1990). Personality structure: Emergence of the five-factor model. *Annual Review of Psychology*, 41, 417–440. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.41.020190.002221>
- Ellis-Iversen, J., Cook, A. J. C., Watson, E., Nielen, M., Larkin, L., Wooldridge, M., & Hogeveen, H. (2010). Perceptions, circumstances and motivators that influence implementation of zoonotic control programs on cattle farms. *Preventive Veterinary Medicine*, 93, 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.11.005>
- Garber, L., Bjork, K., Patyk, K., Rawdon, T., Antognoli, M., Delgado, A., ... McCluskey, B. (2016). Factors Associated with Highly Pathogenic Avian Influenza H5N2 Infection on Table-Egg Layer Farms in the Midwestern United States, 2015. *Avian Diseases*, 60, 460–466. <https://doi.org/10.1637/11351-121715-Reg>
- Garforth, C. (2015). Livestock keepers' reasons for doing and not doing things which governments, vets and scientists would like them to do. *Zoonoses Public Health*, 62, 29–38. <https://doi.org/10.1111/zph.12189>
- Gelaude, P., Schlepers, M., Verlinden, M., Laanen, M., & Dewulf, J. (2014). Biocheck.UGent: A quantitative tool to measure biosecurity at broiler farms and the relationship with technical performances and antimicrobial use. *Poultry Science*, 93, 2740–2751. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04002>
- Gilbert, M., Chaitaweesub, P., Parakamawongsa, T., Premashtira, S., Tiensin, T., Kalpravidh, W., ... Slingenberg, J. (2006). Free-grazing ducks and highly pathogenic avian influenza, Thailand. *Emerging Infectious Diseases*, 12, 227–234. <https://doi.org/10.3201/eid1202.050640>
- Goldberg, L. R. (1990). An alternative "description of personality": The big-five factor structure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59, 1216. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.59.6.1216>
- Guinat, C., Artois, J., Bronner, A., Guérin, J.-L., Gilbert, M., & Paul, M. C. (2019). Duck production systems and highly pathogenic avian influenza H5N8 in France, 2016–2017. *Scientific Reports*, 9, 6177. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42607-x>
- Guinat, C., Nicolas, G., Vergne, T., Bronner, A., Durand, B., Courcou, A., ... Paul, M. C. (2018). Spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N8 spread, France, 2016 to 2017. *Eurosurveillance*, 23, 1700791. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.26.1700791>
- Guinat, C., Rouchy, N., Camy, F., Guerin, J.-L., & Paul, M. C. (2018). Exploring the wind-borne spread of Highly Pathogenic Avian Influenza H5N8 during the 2016–2017 epizootic in France. *Avian Diseases*, 63(sp1), 2016–2017. <https://doi.org/10.1637/11881-042718-ResNote.1>
- Gunn, G. J., Heffernan, C., Hall, M., McLeod, A., & Hovi, M. (2008). Measuring and comparing constraints to improved biosecurity amongst GB farmers, veterinarians and the auxiliary industries. *Preventive Veterinary Medicine*, 84, 310–323. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.12.003>
- Halvorson, D. A. (2009). Prevention and management of avian influenza outbreaks: Experiences from the United States of America. *Revue Scientifique Et Technique De L'OIE*, 28, 359–369. <https://doi.org/10.20506/rst.28.1.1866>
- Hernández-Jover, M., Taylor, M., Holyoake, P., & Dhand, N. (2012). Pig producers' perceptions of the Influenza Pandemic H1N1/09 outbreak and its effect on their biosecurity practices in Australia. *Preventive Veterinary Medicine*, 106, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.03.008>
- Hollander, M., Wolfe, D. A., & Chicken, E. (2014). *Nonparametric Statistical Methods* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Husson, F., Le, S., & Pagès, J. (2017). *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Johnson, C. (2018). *How-To Series, How to Use Personality Assessment Tests to Improve Workplace Culture and Communication* [Online]. Available at <https://www.paycom.com/resources/blog/how-to-use-personality-assessment-tests-to-improve-workplace-culture-and-communication> (accessed November 25, 2019).
- Kristensen, E., & Jakobsen, E. B. (2011). Challenging the myth of the irrational dairy farmer; understanding decision-making related to herd health. *New Zealand Veterinary Journal*, 59, 1–7. <https://doi.org/10.1080/00480169.2011.547162>
- Laanen, M., Maes, D., Hendriksen, C., Gelaude, P., De Vlieghe, S., Rosseel, Y., & Dewulf, J. (2014). Pig, cattle and poultry farmers with a known interest in research have comparable perspectives on disease prevention and on-farm biosecurity. *Preventive Veterinary Medicine*, 115, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.03.015>
- Le, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: A Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25, 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lepine, J. A., Podsakoff, N. P., & Lepine, M. A. (2005). A meta-analytic test of the challenge stressor-hindrance stressor framework: An

- explanation for inconsistent relationships among stressors and performance. *Academy of Management Journal*, 48, 764–775. <https://doi.org/10.5465/amj.2005.18803921>
- Mankad, A. (2016). Psychological influences on biosecurity control and farmer decision-making. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0375-9>
- Marier, E., Piers Smith, R., Ellis-Iversen, J., Watson, E., Armstrong, D., Hogeveen, H., & Cook, A. J. C. (2016). Changes in perceptions and motivators that influence the implementation of on-farm Salmonella control measures by pig farmers in England. *Preventive Veterinary Medicine*, 133, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.09.009>
- Marinova-Petkova, A., Georgiev, G., Petkov, T., Darnell, D., Franks, J., Kayali, G., ... Webster, R. G. (2016). Influenza surveillance on "foie gras" duck farms in Bulgaria, 2008–2012. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 10, 98–108. <https://doi.org/10.1111/irv.12368>
- Millman, C., Christley, R., Rigby, D., Dennis, D., O'Brien, S. J., & Williams, N. (2017). "Catch 22": Biosecurity awareness, interpretation and practice amongst poultry catchers. *Preventive Veterinary Medicine*, 141, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.04.002>
- Napp, S., Majó, N., Sánchez-González, R., & Vergara-Alert, J. (2018). Emergence and spread of highly pathogenic avian influenza A(H5N8) in Europe in 2016–2017. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65, 1217–1226. <https://doi.org/10.1111/tbed.12861>
- Nespeca, R., Vaillancourt, J.-P., & Morrow, W. M. (1997). Validation of a poultry biosecurity survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 31, 73–86. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(96\)01122-1](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01122-1)
- Niemi, J. K., Sahlström, L., Kyyrö, J., Lyytikäinen, T., & Sinisalo, A. (2016). Farm characteristics and perceptions regarding costs contribute to the adoption of biosecurity in Finnish pig and cattle farms. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 97, 215–223. <https://doi.org/10.1007/s41130-016-0022-5>
- Nöremark, M., Frössling, J., & Lewerin, S. S. (2010). Application of routines that contribute to on-farm biosecurity as reported by Swedish livestock farmers. *Transboundary and Emerging Diseases*, 57, 225–236. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2010.01140.x>
- Nöremark, M., Sternberg Lewerin, S., Ernholm, L., & Frössling, J. (2016). Swedish farmers' opinions about biosecurity and their intention to make professionals use clean protective clothing when entering the stable. *Frontiers in Veterinary Science*, 3, 46. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00046>
- O'Kane, H., Ferguson, E., Kaler, J., & Green, L. (2017). Associations between sheep farmer attitudes, beliefs, emotions and personality, and their barriers to uptake of best practice: The example of footrot. *Preventive Veterinary Medicine*, 139, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.05.009>
- Pohlmann, A., Starick, E., Grund, C., Höper, D., Strebelow, G., Globig, A., ... Beer, M. (2018). Swarm incursions of reassortants of highly pathogenic avian influenza virus strains H5N8 and H5N5, clade 2.3.4.4b, Germany, winter 2016/17. *Scientific Reports*, 8, 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16936-8>
- R Core Team (2017). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., & Vaillancourt, J.-P. (2011). Description of 44 biosecurity errors while entering and exiting poultry barns based on video surveillance in Quebec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, 100, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.04.011>
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., & Vaillancourt, J.-P. (2012a). Evaluation of the relationship between personality traits, experience, education and biosecurity compliance on poultry farms in Québec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, 103, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.08.011>
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., & Vaillancourt, J.-P. (2012b). Evaluation of strategies to enhance biosecurity compliance on poultry farms in Québec: Effect of audits and cameras. *Preventive Veterinary Medicine*, 103, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.08.004>
- Ribbens, S., Dewulf, J., Koenen, F., Mintiens, K., De Sadeleer, L., de Kruijf, A., & Maes, D. (2008). A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. *Preventive Veterinary Medicine*, 83, 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.07.009>
- Ritter, C., Jansen, J., Roche, S., Kelton, D. F., Adams, C. L., Orsel, K., ... Barkema, H. W. (2017). Invited review: Determinants of farmers' adoption of management-based strategies for infectious disease prevention and control. *Journal of Dairy Science*, 100, 3329–3347. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11977>
- Ritter, C., Jansen, J., Roth, K., Kastelic, J. P., Adams, C. L., & Barkema, H. W. (2016). Dairy farmers' perceptions toward the implementation of on-farm Johne's disease prevention and control strategies. *Journal of Dairy Science*, 99, 9114–9125. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10896>
- Scott, A. B., Phalen, D., Hernandez-Jover, M., Singh, M., Groves, P., & Toribio, J.-A.-L.-M.-L. (2018). Wildlife presence and interactions with chickens on Australian commercial chicken farms assessed by camera traps. *Avian Diseases*, 62, 65–72. <https://doi.org/10.1637/11761-101917-Reg.1>
- Silva, G. S., Leotti, V. B., Castro, S. M. J., Medeiros, A. A. R., Silva, A. P. S. P., Linhares, D. C. L., & Corbellini, L. G. (2019). Assessment of biosecurity practices and development of a scoring system in swine farms using item response theory. *Preventive Veterinary Medicine*, 167, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.03.020>
- Skinner, T. C., Bruce, D. G., Davis, T. M. E., & Davis, W. A. (2014). Personality traits, self-care behaviours and glycaemic control in type 2 diabetes: The Fremantle diabetes study phase II. *Diabetic Medicine*, 31, 487–492. <https://doi.org/10.1111/dme.12339>
- Sniehotta, F. F., Pesseau, J., & Araújo-Soares, V. (2014). Time to retire the theory of planned behaviour. *Health Psychology Review*, 8, 1–7. <https://doi.org/10.1080/17437199.2013.869710>
- Stilley, C. S., Sereika, S., Muldoon, M. F., Ryan, C. M., & Dunbar-Jacob, J. (2004). Psychological and cognitive function: Predictors of adherence with cholesterol lowering treatment. *Annals of Behavioral Medicine*, 27, 117–124. https://doi.org/10.1207/s15324796abm2702_6
- Świątęń, E., & Śmietanka, K. (2018). Phylogenetic and molecular analysis of highly pathogenic avian influenza H5N8 and H5N5 viruses detected in Poland in 2016–2017. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65, 1664–1670. <https://doi.org/10.1111/tbed.12924>
- Taylor, M. R., Agho, K. E., Stevens, G. J., & Raphael, B. (2008). Factors influencing psychological distress during a disease epidemic: Data from Australia's first outbreak of equine influenza. *BMC Public Health*, 8, 347. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-8-347>
- Valeeva, N. I., van Asseldonk, M. A. P. M., & Backus, G. B. C. (2011). Perceived risk and strategy efficacy as motivators of risk management strategy adoption to prevent animal diseases in pig farming. *Preventive Veterinary Medicine*, 102, 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.08.005>
- Van Limbergen, T., Dewulf, J., Klinkenberg, M., Ducatelle, R., Gelaude, P., Méndez, J., ... on behalf of the PROHEALTH consortium (2018). Scoring biosecurity in European conventional broiler production. *Poultry Science*, 97, 74–83. <https://doi.org/10.3382/ps/pex296>
- Van Steenwinkel, S., Ribbens, S., Ducheyne, E., Goossens, E., & Dewulf, J. (2011). Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. *Preventive Veterinary Medicine*, 98, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.12.004>
- Vande Velde, F., Charlier, J., & Claerebout, E. (2018). Farmer behavior and gastrointestinal nematodes in ruminant livestock—Uptake of sustainable control approaches. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 255. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00255>

- Wauters, E., & Rojo Gimeno, C. (2014). Socio-psychological veterinary epidemiology: A new discipline for an old problem? In: *Proceedings of the 2014 society for veterinary epidemiology and preventive medicine conference* (pp. 133–151). Dublin, Ireland.
- Wells, S. J., Kromm, M. M., VanBeusekom, E. T., Sorley, E. J., Sundaram, M. E., VanderWaal, K., ... Bender, J. (2017). Epidemiologic investigation of highly pathogenic H5N2 avian influenza among upper mid-west U.S. Turkey farms, 2015. *Avian Diseases*, 61, 198–204. <https://doi.org/10.1637/11543-112816-Reg.1>
- World Organisation for Animal Health (OIE). (2017a). *World Animal Health Information Database (WAHIS) Interface, Highly pathogenic avian influenza, France* [Online]. Available at https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review/viewsummary?fupser=&dothis=&reportxml:id=21772 (accessed October 31, 2019).
- World Organisation for Animal Health (OIE). (2017b). *World Animal Health Information Database (WAHIS) Interface, Highly pathogenic avian influenza, Hungary* [Online]. Available at <https://www.oie.int/>

[wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review/viewsummary?fupser=&dothis=&reportxml:id=21772](https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review/viewsummary?fupser=&dothis=&reportxml:id=21772) (accessed October 31, 2019).

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found online in the Supporting Information section.

How to cite this article: Delpont M, Racicot M, Durivage A, et al. Determinants of biosecurity practices in French duck farms after a H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza epidemic: The effect of farmer knowledge, attitudes and personality traits. *Transbound Emerg Dis*. 2020;00:1–11. <https://doi.org/10.1111/tbed.13462>

5. DISCUSSION GENERALE

Les travaux présentés dans cette thèse ont permis de présenter un état des lieux des pratiques de biosécurité en élevages de volailles français au moyen de questionnaires remplis aux cours d'entrevues avec les éleveurs, et complétés avec des observations directes en élevage. Ils ont mis en évidence des niveaux d'application des mesures de biosécurité hétérogènes, à différentes échelles (nationale, filière et mode de production). En outre, ils illustrent les profonds changements opérés à partir de 2016 au sein des filières avicoles françaises, à la suite des épidémies d'IAHP. Enfin ils proposent des éléments d'explication à l'hétérogénéité dans l'application des mesures de biosécurité entre les élevages, liés aux contraintes des systèmes de production, à l'historique sanitaire, mais aussi à des composantes liées aux éleveurs eux-mêmes (connaissances, personnalité, attitudes, etc.).

De manière générale, les travaux menés dans cette thèse mettent en relief les enjeux liés à l'évaluation de la biosécurité, à la capacité à expliquer le comportement des éleveurs, et aux moyens d'intervention visant à améliorer durablement l'observance de la biosécurité.

Malgré l'amélioration importante des pratiques de biosécurité dans les élevages de volailles du Sud-Ouest, une épidémie d'IAHP d'ampleur exceptionnelle a de nouveau récemment touché ces élevages, avec 429 foyers en élevages commerciaux au 11 février 2021, situés pour la plupart dans le département des Landes (Plateforme ESA 2021). Cette épidémie vient souligner l'importance de continuer à renforcer les mesures de biosécurité en dépit d'un risque de découragement de la part des éleveurs. Elle vient aussi insister sur le défi représenté par l'élevage de volailles en plein-air au moment où la circulation d'IAHP se fait de plus en plus intense dans l'avifaune sauvage européenne (Adlhoch et al. 2020).

5.1. Enjeux liés à l'évaluation de l'observance des pratiques de biosécurité

5.1.1. Vers de nouveaux moyens pour évaluer l'observance de la biosécurité en élevage

Il est en réalité compliqué de connaître l'observance réelle des mesures de biosécurité en élevages de volailles. Dans l'idéal, il conviendrait d'avoir un moyen direct et continu de visualisation des pratiques. L'installation de caméras satisfait en partie ces critères. C'est ce qui a été mis en œuvre dans le cadre d'une série d'études sur l'observance de la biosécurité en élevage de volailles au Canada, avec des caméras de surveillance installées dans les sas sanitaires des bâtiments (Racicot et al. 2011 ; 2012b ; 2012a). En revanche, cette approche n'a pu être appliquée qu'aux pratiques de biosécurité dans les sas sanitaires, et a demandé un travail important d'analyse des images par un évaluateur, réduisant la période d'étude et limitant le nombre d'exploitations suivies, tout en posant des questions éthiques liées à l'obtention et l'utilisation des images. C'est pour cette raison que ce système a été mis en place dans un contexte de recherche uniquement. D'autres technologies offrent la possibilité d'automatiser la prise d'information, favorisant un enregistrement en continu et l'application à un nombre important d'élevages. C'est le cas des technologies de traçage, qui, soit par des procédés de géolocalisation, soit par des procédures d'enregistrement des entrées et sorties, rendent compte des flux à risque (de personnes ou d'équipement). Ces technologies peuvent

être associées à des systèmes d'alertes, fournissant alors des rétroactions dès la détection d'un flux à risque. Un système d'enregistrement des déplacements entre les exploitations, dénommé « Farm Health Guardian TM », a été testé en Amérique du Nord et est maintenant commercialisé en tant que moyen de maîtrise sanitaire. Cet outil pourrait être testé en Europe dans des filières d'élevages intégrées, où les flux de personnes et de matériel sont importants. Des travaux ont également été récemment conduits en élevage de poules pondeuses avec l'introduction de puces d'identification dans les bottes, dans le but de s'assurer de leur utilisation dans les zones appropriées (Racicot, non publié), et de générer des rétroactions pour les utilisateurs.

Il existe un moyen indirect d'évaluer, non pas la mise en place, mais l'efficacité des mesures de biosécurité, dans le domaine des mesures de nettoyage et désinfection : il s'agit de la quantification de matière organique ou d'agents microbiens. Ces analyses sont parfois menées lors d'autocontrôles et aussi à l'occasion des procédures de décontamination des foyers de salmonelles réglementées ou d'influenza aviaire dans les élevages de volaille. En effet, en France, la remise en place d'un nouveau de volailles est conditionnée par l'absence de détection de salmonelles ou de virus influenza aviaire (DGAI 2018a). Les prélèvements biologiques constituent donc un outil complémentaire adapté à ces contextes, mais ne rendent pas compte des pratiques en tant que telles.

Même si les questionnaires aux éleveurs et salariés des élevages présentent des limites pour l'évaluation de la biosécurité en élevage, ils demeurent un outil de base, facile à mettre en place, dont la formulation des questions peut être optimisée, et dont les informations peuvent être complétées ou corrigées en les croisant avec d'autres sources : contrôle documentaire, observations directes, prélèvements microbiologiques et enregistrements divers.

Les méthodes d'évaluation employées lors de cette thèse n'ont pas fait appel à des innovations technologiques particulières : elles ont reposé sur des questionnaires en élevage associés à des observations directes et des mesures à partir de photos aériennes. En revanche, les items d'évaluation de la biosécurité que nous avons choisis ont pris spécifiquement en compte les risques liés à l'accès à un parcours de plein-air. Nous avons ainsi documenté le type de végétation, l'alimentation sur parcours, les procédures de désinfection dans les parcours, et l'accès au parcours permis par le sas sanitaire. La prise en compte d'items de biosécurité relatifs aux parcours de plein-air prend une importance particulière à la lumière des épidémies récentes d'IAHP ayant touché particulièrement les élevages de volailles de plein-air du Sud-Ouest (Plateforme ESA 2021 ; Napp et al. 2018). En outre, les modes d'élevage de volailles avec accès à un parcours de plein-air répondent à une demande sociétale et sont en pleine expansion en France (FranceAgriMer 2020) mais aussi dans le reste du continent européen. La définition des bonnes pratiques de biosécurité en lien avec l'accès au plein-air demande encore du travail ; les facteurs à l'origine des interactions entre les volailles d'élevage et les différents espèces d'oiseaux sauvage étant encore mal connus (Burns et al. 2012 ; Scott, Phalen, et al. 2018 ; Elbers, Gonzales 2020 ; Bestman et al. 2018).

5.1.2. La nécessité d'adapter les méthodes d'analyse des pratiques de biosécurité aux objectifs recherchés

Implémentation d'un score de biosécurité et pondération des mesures. La biosécurité en élevage correspond à un ensemble complexe de mesures (de nombreuses mesures reliées les unes aux autres) et il est donc difficile de qualifier le niveau de biosécurité de manière synthétique. Un score de biosécurité sert d'indicateur simple visant à évaluer la fragilité d'une exploitation vis-à-vis du risque d'infection par un agent pathogène. Il existe des scores de biosécurité adaptés aux espèces porcine (Julio Pinto, Santiago Urcelay 2003 ; Silva et al. 2019 ; 2018), bovine (Damiaans et al. 2020), aquacole (Yatabe et al. 2018) et aviaire (Gelaide et al. 2014 ; Greening et al. 2020). Nos travaux ont permis de fournir une méthode d'évaluation adaptée aux systèmes d'élevages en plein-air et de canards à foie-gras, qui n'était jusqu'alors pas disponible. Le risque d'infection en élevage dépend des caractéristiques de l'agent pathogène, et donc en fonction du risque sanitaire il est pertinent d'adapter la façon d'établir le score, en pondérant l'importance relative des mesures de biosécurité. Ainsi un score de biosécurité servant à établir une analyse du risque vis-à-vis du danger salmonelles peut se différencier d'un score servant à établir une analyse du risque vis-à-vis de l'influenza aviaire. En effet, les propriétés de transmission et de résistance de ces deux agents pathogènes font que les mesures de contrôle à employer en priorité diffèrent. Par exemple, les protocoles de dératisation sont particulièrement surveillés dans la lutte contre les salmonelles en élevages de volailles (Snow et al. 2010 ; Rose et al. 2000). Les choix en termes de pondération se font classiquement après réunion de comité d'experts. Il aurait pu être intéressant de conduire un tel travail de pondération vis-à-vis du risque de contamination par l'influenza aviaire dans les élevages de canards prêts-à-gaver que nous avons étudiés, étant donné l'importance prioritaire donnée à l'influenza actuellement. Cependant, nous avons préféré établir un score qui puisse s'appliquer à d'autres agents pathogènes d'importance non négligeable, sans avoir besoin de réévaluer les critères de pondération.

Ergonomie des outils visant à être utilisés en routine. Le développement d'outils d'évaluation de la biosécurité déployés à large échelle fait l'objet d'une attention croissante ces dernières années. En pratique, l'ergonomie de ces outils est primordiale pour faciliter et ainsi généraliser leur utilisation. Ainsi, des applications web ou téléphone permettraient à différents acteurs (éleveur, technicien du groupement, vétérinaire, auditeur externe) de saisir facilement les informations, et d'en obtenir en temps réel les résultats. Des applications utilisables sur le terrain sont déjà en cours de développement ou de déploiement dans le domaine du bien-être animal et de la biosécurité. En France, une application destinée à évaluer le bien-être animal en production de volailles et de lapins, a été récemment développée par l'ITAVI (ITAVI 2018). Une application visant à évaluer la biosécurité en élevage porcin est disponible librement, et portée par l'interprofession de la production porcine (ifip 2019). En volailles, une application évaluant les pratiques de biosécurité est en cours d'élaboration, et portée par l'Anvol (interprofession des volailles de chair). En outre dans le domaine des palmipèdes à foie-gras, la charte Palmi G Confiance, portée par le CIFOG, a permis le développement d'un outil informatisé permettant de suivre la mise en place des mesures de la charte, qui comprend des éléments de biosécurité (CIFOG 2020). De manière plus générale, l'outil « Biocheck UGent » d'évaluation en ligne de la biosécurité en élevages de porcs, bovins,

poulets de chair et poules pondeuses est disponible gratuitement mais propose de comparer les éleveurs au niveau mondial uniquement (UGent [sans date]).

Le principal biais lié à l'utilisation des solutions d'évaluation de la biosécurité en ligne ou *via* des applications mobiles est celui lié à l'enquêteur. En effet, l'objectivité des informations collectées ne peut pas être garantie, dans la mesure où différents types de personnes, qui n'ont pas reçu la même formation et qui n'ont pas la même façon d'évaluer les items de biosécurité, peuvent être amenés à l'utiliser. Nous avons déjà discuté du biais de prévarication lié à l'utilisation des questionnaires pour renseigner la biosécurité en élevage. Dans tous les cas, les stratégies d'évaluation qui prennent en compte l'utilisation de ces outils doivent envisager au cas par cas, la ou les personnes qui sont amenées à saisir les données. Par exemple, à l'échelle d'un groupement de producteurs, il serait souhaitable de restreindre le nombre de techniciens ou de vétérinaires impliqués dans l'évaluation pour diminuer les biais liés à l'enquêteur, et ainsi s'assurer de la capacité à comparer effectivement les éleveurs. De même, à l'échelle d'une filière, un nombre restreint d'auditeurs externes ou de vétérinaires serait souhaitable. Dans la mesure où l'outil est utilisé à des fins d'auto-évaluation, les conséquences sont moins importantes, mais on recommande que l'éleveur lise attentivement le guide d'utilisation. Dans l'hypothèse où l'un de ces outils serait utilisé de manière étendue, la valorisation à des fins de recherche des résultats pourrait s'avérer intéressante. En revanche, dans une telle optique, la qualité de l'analyse et de l'interprétation serait fortement impactée par les conditions dans lesquelles les données sont collectées (notamment par qui).

Evaluer la biosécurité dans le but d'en objectiver les bénéfices attendus. Il est important de démontrer les bénéfices de la biosécurité, et suivant le contexte, d'identifier les pratiques de biosécurité dont l'impact est le plus grand. Ces éléments sont utiles et nécessaires pour convaincre les éleveurs d'appliquer les mesures de biosécurité. Dans l'étude que nous avons menée sur l'observance des mesures de biosécurité en élevages de canards prêts-à-engraisser, le profil présentant la moins bonne observance était caractérisé par une confiance plus faible envers les bénéfices apportés par la biosécurité. Dans cette optique, les outils d'évaluation de la biosécurité en élevage peuvent contribuer à alimenter les études portant sur les facteurs de risque d'infection en élevage. En effet, le fait de disposer d'outils standardisés et/ou adaptés aux contextes d'élevage peut être précieux. Les données issues des rapports d'inspections nous ont permis de conduire une étude de type cas-témoins hiérarchisant les facteurs de risques d'infection par l'influenza aviaire de sous-type H5N8 et leurs liens de causalité respectifs, dans le département des Landes, tout en nous affranchissant de mener nous-mêmes les visites en élevages. Cette étude a mis en évidence, dans le contexte des éleveurs de canards prêts-à-engraisser du Sud-Ouest, l'importance de sécuriser les flux de véhicules et de délimiter clairement les différentes zones des élevages (Guinat, Comin, et al. 2020). Si l'on considère que les mesures de biosécurité doivent être appliquées de manière conjointe pour être efficaces, les scores de biosécurité pourront être d'une aide précieuse. Par ailleurs, il faudrait pouvoir prendre en compte de manière simultanée différents types de bénéfices apportés par la biosécurité : vis-à-vis du risque d'infection par différents agents pathogènes, mais aussi la diminution de l'utilisation d'antibiotiques, l'amélioration des performances technico-économiques et les critères liés à

la pénibilité du travail (organisation du travail, stress). De telles approches ont été entreprises en production porcine notamment, avec la prise en compte d'un score de biosécurité, des paramètres technico-économiques comme le coût alimentaire ou le nombre de porcelets sevrés et des indicateurs de consommation d'antibiotiques et de vaccins (Rojo-Gimeno et al. 2016 ; Postma et al. 2017 ; Collineau et al. 2017). Il serait utile d'envisager de telles approches multicritères en élevages de volailles, notamment en France.

5.2. Enjeux liés aux facteurs influençant l'observance de la biosécurité

Il est compliqué de convaincre les éleveurs de l'importance d'appliquer les mesures de biosécurité. Les effets de la biosécurité ne sont pas nécessairement immédiats, directs, et l'application des mesures de biosécurité ne garantit pas systématiquement une protection contre les infections. En effet, la pression d'infection peut être tellement forte que même avec des pratiques de biosécurité classiquement jugées satisfaisantes, les éleveurs peuvent être touchés par une épidémie, par des voies de transmission qui échappent à leur contrôle. C'est l'un des défis auxquels font face les élevages de volailles plein-air. Même si les flux de véhicules, d'animaux d'élevage et de visiteurs sont maîtrisés, les élevages de plein-air restent sensibles aux infections transmises par la faune sauvage. En témoigne l'épidémie européenne d'IAHP de 2020-2021 (Plateforme ESA 2021). Le sentiment de perte de contrôle sur la contamination de leur élevage peut conduire les éleveurs à un sentiment de découragement, et réduire leur motivation à appliquer les mesures de biosécurité. Cet effet a été décrit chez des éleveurs de bovins britanniques confrontés à la tuberculose (Enticott et al. 2015). Il serait intéressant d'évaluer plus en profondeur ce phénomène chez les éleveurs de volailles du Sud-Ouest à la lumière de la nouvelle épidémie d'influenza aviaire ayant touché la région à l'hiver 2020-2021.

Pour expliquer les facteurs à l'origine de l'observance de la biosécurité chez les éleveurs, les travaux de recherche ont le plus souvent recours à des méthodes quantitatives, qui se basent sur l'application, au niveau individuel, de modèles de comportement tels que la théorie du comportement planifié (Ajzen 1985 ; Wauters, Rojo Gimeno 2014). C'est une approche quantitative, proche des méthodes de psychologie que nous avons utilisées dans l'étude sur les comportements de biosécurité d'éleveurs de canards prêts-à-engraisser. Nous avons en outre mis l'accent sur les traits de personnalité des éleveurs, encore très peu étudiés en médecine vétérinaire (O'Kane et al. 2017 ; Döring et al. 2019), alors que leur influence a été démontrée en médecine humaine pour l'observance des traitements (Skinner et al. 2014 ; Axelsson et al. 2011). Conformément à ces dernières études, il est ressorti que les traits de personnalité associés au caractère « consciencieux » des éleveurs jouent un rôle important dans le respect des consignes de santé. Il ne serait pas surprenant de retrouver à nouveau ce résultat chez d'autres populations d'éleveurs. En revanche, il n'est pas garanti que les profils de déterminants psycho-sociaux que nous avons établis soient similaires dans d'autres contextes. Toutefois, l'une des originalités de notre approche est la mise en évidence du caractère hétérogène des profils psycho-sociaux, qui est sans doute peu abordé dans les études de psychologie basées sur l'établissement des modèles de comportement. Les modèles classiques de psychologie visant à expliquer les comportements des éleveurs en lien avec la

santé sont critiqués pour la place trop importante donnée à leur caractère rationnel, au détriment des logiques sous-jacentes à leur environnement social (Maye, Chan 2020). Il pourrait être pertinent d'employer une approche – plus qualitative - de sociologie pour explorer l'influence de l'environnement social de ces mêmes éleveurs. Il est une catégorie d'éleveurs, commercialisant leurs produits en circuits courts, dont les profils psycho-sociaux seraient vraisemblablement différents de ceux des éleveurs de canards prêts-à-engraisser en contrat avec des organisations de production. Nous avons mis en évidence dans l'étude conduite en 2016 des différences d'application des mesures de biosécurité liées au modèle économique des exploitations des canards à foie gras. En plus des contraintes directes liées à la manière de gérer les cycles de production des animaux, il se pourrait que les valeurs liées à l'élevage, dans un circuit de distribution en circuits courts, soient nettement différentes. De ce fait, les représentations sur la gestion sanitaire de ces exploitations pourraient s'en retrouver changées. C'est pourquoi nous avons initié un projet visant à mieux cerner les difficultés rencontrées par les éleveurs de volailles en circuits courts à s'approprier des mesures de biosécurité, qui semblent plus adaptées aux systèmes d'élevages conventionnels.

5.3. Pistes de réflexion pour la mise en place d'interventions visant à améliorer les pratiques de biosécurité en élevage.

La connaissance des déterminants de la prise de décision au regard des comportements de santé doit permettre d'identifier des moyens d'en améliorer l'observance (Kok et al. 2016). En médecine vétérinaire, les travaux visant à comprendre les processus décisionnels des éleveurs sont souvent conclus par des recommandations sur des plans d'actions futurs (Ritter et al. 2017). En revanche, il est rare que ces plans d'actions soient mis en oeuvre et scientifiquement encadrés dans l'évaluation de leur efficacité (O'Kane et al. 2017 ; Grant et al. 2018 ; Racicot et al. 2012a).

Pour la suite des travaux engagés au cours de cette thèse, nous avons élaboré une intervention pour les éleveurs de canards prêts-à-engraisser ayant participé à l'étude sur les déterminants de l'observance, pour améliorer leur observance des pratiques de biosécurité. Afin d'en augmenter l'efficacité, nous avons choisi de l'adapter aux résultats de l'étude sur les déterminants de l'observance. L'intervention a été préparée mais les difficultés de calendrier des éleveurs et les contraintes sanitaires fortes liées à l'épidémie de Covid-19 ne nous ont pas permis de la mener jusqu'à son terme à ce jour. Cependant, au vu des enjeux soulevés par l'épidémie d'IAHP de 2020-2021, la nécessité d'évaluer une intervention de biosécurité auprès des éleveurs s'annonce primordiale. L'intervention que nous avons élaborée consiste en un ensemble de vidéos de quelques minutes, à destination des éleveurs. Nous proposons une discussion des choix opérés, à la lumière des résultats de cette thèse.

5.3.1. Prendre en compte le fait que les éleveurs constituent un groupe hétérogène
Différents travaux mettent en évidence des profils d'éleveurs différents vis-à-vis de la prise de décision sur les comportements de santé, en production porcine (Simon-Grifé et al. 2013 ; Ciaravino et al. 2020), bovine (Erling Kristensen, Jakobsen 2011) et ovine (O'Kane et al. 2017). Par exemple, dans l'étude conduite au Danemark en élevage bovins (Erling Kristensen,

Jakobsen 2011), quatre profils d'éleveurs sont distingués : coopératifs, confus, transfuge et égoïste. Nous avons dans les élevages de canards prêts-à-engrais mis en évidence trois profils d'éleveurs : réfractaires, angoissés et pro-actifs. Cette hétérogénéité met en évidence le besoin d'adapter les interventions à ces profils. Un seul format d'intervention ne permettrait pas de changer les pratiques dans les différents profils aussi efficacement. En médecine humaine, pour augmenter la fréquence du lavage des mains en milieu hospitalier, des programmes d'intervention différents sont proposés en fonction du profil des personnels soignants (Grayson et al. 2015). En médecine vétérinaire, au Royaume-Uni, la mise en évidence de trois profils d'éleveurs de moutons a conduit à recruter pour une intervention prioritairement les profils d'éleveurs peu associés aux bonnes pratiques sanitaires (Grant et al. 2018). Une autre manière d'aborder les interventions tout en considérant l'hétérogénéité des profils de déterminants, consiste à proposer des interventions qui s'appuient sur plusieurs types de méthodes, s'adaptant ainsi à plusieurs profils de personnes. En médecine humaine, des méthodes d'intervention multiformes sont régulièrement démontrées comme efficaces (van Dulmen et al. 2007). Pour l'intervention que nous avons conçue, nous avons choisi de proposer différents types d'arguments, adaptés aux différents profils d'éleveurs. Ils sont détaillés dans les paragraphes suivants.

5.3.2. Choix du contenu de l'intervention

Apport de connaissances et compréhension des processus infectieux. Dans l'étude menée sur les déterminants de l'observance, nous avons mis en évidence qu'un niveau de connaissances plus faible était rencontré dans le groupe présentant un niveau de biosécurité plus faible, chez qui les éleveurs percevaient les messages autour de la biosécurité comme contradictoires. L'intervention que nous avons conçue intègre ainsi des éléments relatifs aux connaissances sur la biosécurité. Il est connu que les interventions visant à augmenter les niveaux de connaissances sont les plus fréquentes car faciles à mettre en place, notamment par le biais de campagnes d'information (Manabe et al. 2011 ; Nampanya et al. 2012 ; 2014 ; Grant et al. 2018 ; Green et al. 2020 ; Conan et al. 2013). Pour éviter que les éleveurs ne trouvent les messages contradictoires, il est important de diffuser ces messages auprès et par de multiples acteurs. Pour améliorer l'efficacité de ce type d'intervention, il est conseillé de simplifier les messages et de limiter la quantité des points abordés (Conner, Norman 2017). Par exemple, dans une intervention auprès d'éleveurs de moutons en Grande-Bretagne, six messages-clés ont été sélectionnés (Grant et al. 2018). La sélection de messages clés demande d'établir des priorités, notamment en choisissant des mesures de santé dont on sait qu'elles sont peu respectées. C'est pourquoi, dans l'intervention que nous avons conçue, nous nous sommes focalisés sur les messages relatifs à la conception des sas et à leur utilisation. Pour faciliter la compréhension d'éléments difficiles à conceptualiser, notamment dans le respect des zones, nous avons dans un premier temps pensé animer un atelier sur le changement de bottes en y étalant des substances invisibles à l'œil, mais révélables au moyen d'une lampe ultraviolet (Julien, Thomson 2011). Nous avons finalement filmé une séquence vidéo qui relate les résultats d'une telle expérience mettant en évidence, au moyen de bactéries fluorescentes, la manière la plus efficace de changer de bottes. Il existe d'autres méthodes ludiques pour identifier des erreurs de biosécurité au cours d'un geste de santé routinier. Par exemple, en milieu hospitalier, un protocole a été mis en place dans lequel des captations vidéos des gestes

de biosécurité des différents participants sont analysées en groupe afin d'identifier les failles (Wyer et al. 2015).

Convaincre de l'utilité des mesures de biosécurité. Pour convaincre les éleveurs de l'utilité des mesures de biosécurité, des efforts de vulgarisation et d'actualisation des données scientifiques sont nécessaires. Dans une intervention visant à faire diminuer la prévalence des boiteries en élevage ovin, il a fallu expliquer aux éleveurs que les données de recherche scientifique mettaient désormais en évidence le fait que le parage des onglons n'est pas une pratique appropriée (Green et al. 2020). Dans les vidéos que nous avons tournées, nous nous sommes appliqués à citer des références scientifiques justifiant les bénéfices apportés par les mesures de biosécurité ciblées. Un projet de réseau européen, NETPOULSAFE, met en relation un nombre important d'acteurs des filières de production de volailles, afin de produire et diffuser de la documentation sur les bénéfices apportés par la biosécurité

Faisabilité des pratiques. Une des manières de convaincre les éleveurs de la faisabilité des pratiques peut être de leur présenter ce qui est appliqué avec succès par d'autres. C'est dans cette optique que des outils de comparaison entre éleveurs peuvent avoir un effet (confère supra). Nous avons fourni à tous les éleveurs de notre étude un moyen de se comparer aux autres sur les questions de biosécurité. En revanche, nous n'avons pas mis en place de moyen d'évaluer l'effet de cet outil sur les changements d'attitude des éleveurs. En outre, les échanges de pratiques entre éleveurs peuvent aussi jouer sur cet effet. Nous savons ainsi que les réunions d'éleveurs, qui permettent ces échanges, sont plébiscitées pour les conseils sur la biosécurité. En effet, lors de l'enquête sur les déterminants de l'observance, nous avons demandé aux éleveurs de noter différents modes de transfert d'information sur la biosécurité (Figure 8). En outre, le fait de proposer des interventions adaptées à la « réalité » de chaque élevage, permet de s'assurer que les conseils prodigués aux éleveurs soient effectivement applicables, en plus d'être adaptés aux besoins des éleveurs. De fait, en médecine vétérinaire, de nombreuses interventions font le choix de tester des audits personnalisés en élevage (Cardwell et al. 2016 ; Gosling et al. 2014 ; Grant et al. 2018 ; Postma et al. 2017 ; Raasch et al. 2020 ; Witt, Green 2018). Dans l'intervention que nous avons conçue, nous avons cherché à convaincre les éleveurs de la faisabilité des pratiques en leur proposant des « astuces » adaptées à leur quotidien, rencontrées chez d'autres éleveurs.

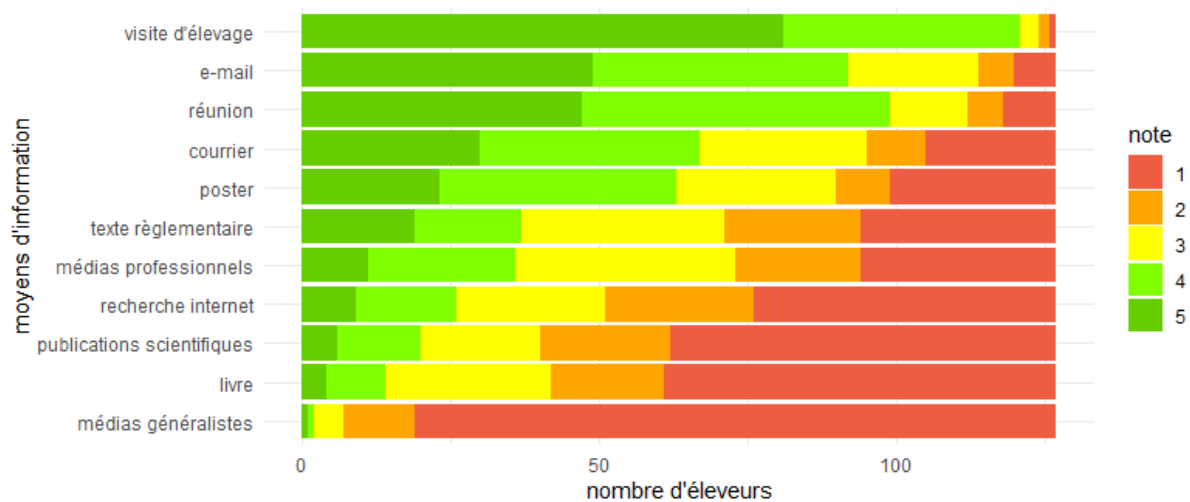


Figure 8. Moyens de communication plébiscités par les éleveurs pour recevoir des informations sur la biosécurité

Pression sociale. Les personnes qui ont le plus d'influence sur l'éleveur, dans le domaine sanitaire, peuvent être d'autres éleveurs ou des acteurs de l'encadrement technique (vétérinaire, technicien). Nous avons aussi pu mettre cet élément en évidence dans l'étude sur les déterminants de l'observance, car nous avons demandé aux éleveurs d'évaluer la confiance qu'ils accordaient à différents intervenants pour les questions de biosécurité (Figure 9). En médecine humaine, des stratégies visant à modifier la pression sociale ont permis de réduire la consommation d'alcool (Prestwich et al. 2016). En médecine vétérinaire, des interventions de biosécurité font le choix de faire intervenir le vétérinaire et/ou le technicien de l'éleveur, qui sont considérés comme des acteurs de confiance (Postma et al. 2017 ; Raasch et al. 2020 ; Cardwell et al. 2016 ; Collineau et al. 2017). Dans l'intervention que nous avons conçue, nous comptons sur notre statut de vétérinaire pour que les éleveurs accordent de l'importance aux messages présentés. Par ailleurs, il serait intéressant de mener une intervention « en cascade », au cours de laquelle ce sont les vétérinaires des élevages et les techniciens de groupement qui seraient chargés de délivrer les messages autour de la biosécurité. Enfin, les outils de benchmarking des pratiques, peuvent aussi jouer sur les aspects de pression sociale, mais cette fois-ci entre éleveurs.

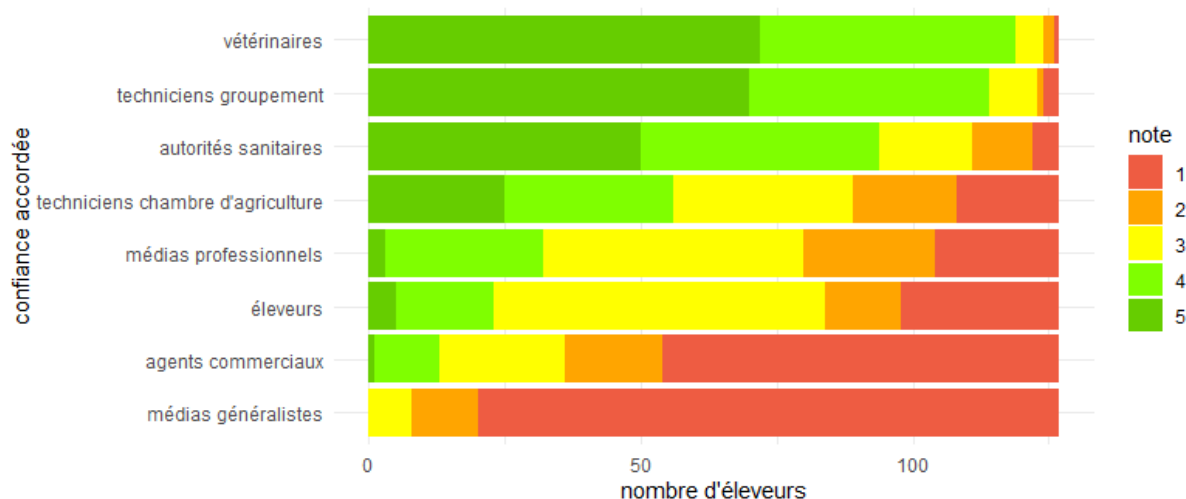


Figure 9. Confiance accordée à différentes sources, au sujet de la biosécurité

5.3.3. Choix du moyen d'administration de l'intervention

Il était ressorti de la question des moyens de distribuer des informations sur la biosécurité (Figure 8) que les e-mails étaient plébiscités par les éleveurs. C'est donc le moyen que nous avons choisi pour diffuser notre intervention. En outre, pour optimiser le côté ludique de l'intervention, nous avons privilégié un format de courtes vidéos, présentant une choix retreint d'informations présentées de manière visuelle et animée. Les vidéos ont été chargées sur un site internet et les liens vers les vidéos distribués aux éleveurs par e-mail. Les liens sont disponibles ci-dessous :

- <https://youtu.be/ec8EBoe7GjE>
- <https://youtu.be/7m-vs0wpQ4M>
- <https://youtu.be/kW8BcxGW81s>
- <https://youtu.be/oyNHjzGrURM>
- <https://youtu.be/oddw6iCuG5Q>

5.3.4. Evaluation de l'efficacité de l'intervention

Afin d'évaluer directement les effets de l'intervention sur les pratiques de biosécurité des éleveurs prenant part à l'étude, il aurait été intéressant de conduire des visites de biosécurité juste avant l'intervention, puis après l'intervention, à court moyen et long terme. Le pas de temps consacré à cette thèse de recherche ne permet pas de mener un tel protocole. En revanche, à court terme, un questionnaire à remplir juste avant et juste après l'intervention a été mis au point dans le but d'évaluer les changements d'intention des éleveurs. Ce questionnaire, construit par un psychologue selon le modèle de la théorie du comportement planifié (Ajzen 1985) permet par ailleurs de savoir quel aspect des interventions a eu le plus d'effet sur les changements d'intention, et si les changements d'intentions potentiels ont activé des mécanismes cognitifs reliés à la pression sociale, au sentiment d'auto-efficacité (faisabilité perçue des mesures) ou la perception de l'utilité des mesures. Il est présenté en Annexe 4.

Quelle que soit l'importance relative donnée aux différents déterminants de l'observance dans la construction de l'intervention, un des facteurs décrits pour la réussite des interventions est l'engagement de l'éleveur dans un processus. Il est important pour l'éleveur d'être actif dans son processus de changement. Ainsi, le fait de fixer par écrit des objectifs et d'obtenir des retours est efficace. Cela a été documenté notamment en médecine humaine dans les interventions visant à augmenter l'activité physique (Rhodes et al. 2017). Le fait de personnaliser les interventions au contexte de l'éleveur et de lui avoir fourni un moyen de se comparer aux autres éleveurs pourrait contribuer à l'impliquer dans l'intervention. En revanche, le protocole actuel ne permet pas de fixer d'objectif de changement par écrit. Toutefois, un tel processus pourrait être mis en place par les organisations de production avec lesquelles travaillent les éleveurs, ou avec leurs vétérinaires.

CONCLUSION

Depuis la survenue en 2015 de la première épidémie d'influenza aviaire hautement pathogène en France, le besoin de maîtriser les mesures de biosécurité a fait l'objet d'une prise de conscience de la part des acteurs des filières de production de volailles ainsi que des autorités sanitaires vétérinaires. Les travaux conduits dans le cadre de cette thèse ont permis d'étudier la biosécurité en élevages de volaille à différentes échelles : dans les élevages de volailles français, puis dans la filière des palmipèdes à foie gras du Sud-Ouest et enfin plus spécifiquement dans les élevages de canards prêts-à-engraisser sous contrat dans des groupements de production. Nous avons, grâce aux techniques statistiques d'analyses multidimensionnelles et de classification, mis en évidence une application hétérogène des pratiques de biosécurité s'expliquant à la fois par des facteurs structurels (bassins de production, modes d'élevage de volailles), techniques, mais aussi psycho-sociaux (attitudes des éleveurs vis-à-vis de l'influenza et la biosécurité, traits de personnalité).

A l'hiver 2020, une nouvelle épidémie d'influenza aviaire hautement pathogène a de nouveau très sévèrement touché les élevages de volailles du sud-ouest, en particulier de canards. L'ampleur de cette épidémie souligne le besoin de continuer à renforcer les mesures de biosécurité dans les élevages, dans un contexte économique compliqué et teinté de découragement.

Les travaux conduits dans cette thèse ouvrent de nouvelles perspectives face aux enjeux actuels. Tout d'abord, nous avons constaté dans cette thèse une amélioration de l'observance de la biosécurité dans les élevages de canards à foie gras suite à la crise sanitaire de 2015-2016, mais des marges de progrès subsistent encore – notamment pour ce qui concerne le respect des zones de l'élevage à l'entrée des unités de production, au niveau des sas sanitaires. A la lumière de ce constat et des résultats générés dans cette thèse, nous avons développé une intervention, sous la forme d'une série de vidéos thématiques, visant à améliorer les pratiques. Nous comptons prochainement mettre en œuvre l'intervention et en évaluer les effets auprès d'éleveurs de canards prêts-à-engraisser du Sud-Ouest. Ensuite, l'intérêt grandissant porté à la biosécurité amène de nombreux acteurs des filières à évaluer fréquemment le niveau de biosécurité en élevage, à l'aide d'outils informatisés. Ce développement ouvre la voie à l'analyse d'une masse importante de données, générées directement par les acteurs professionnels. La prise en compte des biais potentiels et la complexité des méthodes nécessaires pour analyser l'effet des pratiques sur différents indicateurs (sanitaires, technico-économiques, ...) constituent de nouveaux défis pour la recherche. Enfin, nous avons montré que certains types d'élevage peinent à intégrer à leur fonctionnement certains concepts de biosécurité. Les élevages commercialisant leurs animaux en circuits-courts et les élevages en plein-air présentent des spécificités qui rendent les protocoles de biosécurité actuels (comme le respect de la bande-unique et le franchissement des nombreuses zones qui constituent ces élevages) particulièrement compliqués à mettre en œuvre. Nous avons adapté, au cours de cette thèse, les outils classiques d'évaluation de la biosécurité à l'élevage de volailles de plein-air, afin de tenir compte de ces spécificités. Un

important travail d'adaptation des protocoles de biosécurité reste cependant encore à poursuivre pour ces types élevages, qui sont en plein essor, et qui présentent un certain nombre de freins vis-à-vis de la biosécurité.

BIBLIOGRAPHIE

ADAM, Cécile J.M., DUCROT, Christian P.M., PAUL, Mathilde C. et FORTANÉ, Nicolas, 2017. Autonomy under contract: the case of traditional free-range poultry farmers. In : *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*. juillet 2017. Vol. 98, n° 1-2, pp. 55-74. DOI 10.1007/s41130-017-0044-7.

ADLHOCH, Cornelia, FUSARO, Alice, GONZALES, José L., KUIKEN, Thijs, MARANGON, Stefano, NIQUEUX, Éric, STAUBACH, Christoph, SMIETANKA, Krzysztof, TERREGINO, Calogero, STEDE, Yves Van der, AZNAR, Inma et BALDINELLI, Francesca, 2020. Avian influenza overview – update on 19 November 2020, EU/EEA and the UK. In : *EFSA Journal*. 2020. Vol. 18, n° 11, pp. e06341. DOI <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6341>.

AGRESTE, 2008. 3 : *L'aviculture en 2004* [en ligne]. S.l. [Consulté le 29 janvier 2021]. AGreste les dossiers. Disponible à l'adresse : <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos3/Dos3.pdf>.

AJZEN, Icek, 1985. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In : *Action Control* [en ligne]. S.l. : Springer, Berlin, Heidelberg. SSSP Springer Series in Social Psychology. pp. 11-39. [Consulté le 9 novembre 2017]. ISBN 978-3-642-69748-7. Disponible à l'adresse : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-69746-3_2.

ALARCÓN, L. V., MONTERUBBIANESI, M., PERELMAN, S., SANGUINETTI, H. R., PERFUMO, C. J., MATEU, E. et ALLEPUZ, A., 2019. Biosecurity assessment of Argentinian pig farms. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 octobre 2019. Vol. 170, pp. 104637. DOI 10.1016/j.prevetmed.2019.02.012.

ALARCON, Pablo, RUSHTON, Jonathan et WIELAND, Barbara, 2013. Cost of post-weaning multi-systemic wasting syndrome and porcine circovirus type-2 subclinical infection in England – An economic disease model. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 juin 2013. Vol. 110, n° 2, pp. 88-102. DOI 10.1016/j.prevetmed.2013.02.010.

AMASS, S. F., VYVERBERG, B. D., RAGLAND, D., DOWELL, C. A., ANDERSON, C. D., STOVER, J. H. et BEAUDRY, D. J., 2000. Evaluating the efficacy of boot baths in biosecurity protocols. In : *Swine Health and Production*. 2000. Vol. 8, n° 4, pp. 169-173.

ANNEBERG, Inger, ØSTERGAARD, Søren, ETTEMA, Jehan Frans et KUDAHL, Anne Braad, 2016. Economic figures in herd health programmes as motivation factors for farmers. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 novembre 2016. Vol. 134, pp. 170-178. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.10.007.

ARSENAULT, Julie, LETELLIER, Ann, QUESSY, Sylvain, NORMAND, Valérie et BOULIANNE, Martine, 2007. Prevalence and risk factors for *Salmonella* spp. and *Campylobacter* spp. caecal colonization in broiler chicken and turkey flocks slaughtered in Quebec, Canada. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 16 octobre 2007. Vol. 81, n° 4, pp. 250-264. DOI 10.1016/j.prevetmed.2007.04.016.

ARTOIS, M., BICOUT, D., DOCTRINAL, D., FOUCHIER, R., GAVIER-WIDEN, D., GLOBIG, A., HAGEMEIJER, W., MUNDKUR, T., MUNSTER, V. et OLSEN, B., 2009. Outbreaks of highly pathogenic avian influenza in Europe: the risks associated with wild birds. In : *Revue Scientifique Et Technique (International Office of Epizootics)*. avril 2009. Vol. 28, n° 1, pp. 69-92.

AUGÈRE-GRANIER, Marie-Laure, 2019. *The EU poultry meat and egg sector: main features, challenges and prospects : in depth analysis*. [en ligne]. LU : Publications Office. [Consulté le 20 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://data.europa.eu/doi/10.2861/33350>.

AXELSSON, Malin, 2013. Report on personality and adherence to antibiotic therapy: a population-based study. In : *BMC psychology* [en ligne]. 22 novembre 2013. Vol. 1, n° 1. DOI 10.1186/2050-7283-1-24. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4269991/>.

AXELSSON, Malin, BRINK, Eva, LUNDGREN, Jesper et LÖTVALL, Jan, 2011. The Influence of Personality Traits on Reported Adherence to Medication in Individuals with Chronic Disease: An Epidemiological Study in West Sweden. In : *PLOS ONE*. 28 mars 2011. Vol. 6, n° 3, pp. e18241. DOI 10.1371/journal.pone.0018241.

BACKHANS, Annette, SJÖLUND, Marie, LINDBERG, Ann et EMANUELSON, Ulf, 2015. Biosecurity level and health management practices in 60 Swedish farrow-to-finish herds. In : *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2015. Vol. 57, n° 1, pp. 14. DOI 10.1186/s13028-015-0103-5.

BELTRÁN-ALCRUDO, Daniel, KUKIELKA, Esther A., DE GROOT, Nienke, DIETZE, Klaas, SOKHADZE, Mikheil et MARTÍNEZ-LÓPEZ, Beatriz, 2018. Descriptive and multivariate analysis of the pig sector in Georgia and its implications for disease transmission. In : LIU, Gang (éd.), *PLOS ONE*. 24 août 2018. Vol. 13, n° 8, pp. e0202800. DOI 10.1371/journal.pone.0202800.

BEST, Nickala, MENÉNDEZ, Ramón, RAWLIN, Grant, SUTER, Robert, RODONI, Brendan et BEDDOE, Travis, 2020. The Consequences of Stigma for Knowledge Production: Sheep Producers' Attitudes to Footrot Diagnostics and Control in Australia. In : *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. Vol. 7, pp. 354. DOI 10.3389/fvets.2020.00354.

BESTMAN, Monique, DE JONG, William, WAGENAAR, Jan-Paul et WEERTS, Thari, 2018. Presence of avian influenza risk birds in and around poultry free-range areas in relation to range vegetation and openness of surrounding landscape. In : *Agroforestry Systems*. 1 août 2018. Vol. 92, n° 4, pp. 1001-1008. DOI 10.1007/s10457-017-0117-2.

BOKLUND, A., ALBAN, L., MORTENSEN, S. et HOUE, H., 2004. Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: descriptive results and factor analysis. In : *Preventive Veterinary Medicine*. décembre 2004. Vol. 66, n° 1-4, pp. 49-62. DOI 10.1016/j.prevetmed.2004.08.004.

BONNEY, Peter J., MALLADI, Sasidhar, BOENDER, Gert Jan, WEAVER, J. Todd, SSEMATIMBA, Amos, HALVORSON, David A. et CARDONA, Carol J., 2018. Spatial transmission of H5N2 highly pathogenic avian influenza between Minnesota poultry premises during the 2015 outbreak. In : *PLOS ONE*. 21 septembre 2018. Vol. 13, n° 9, pp. e0204262. DOI 10.1371/journal.pone.0204262.

BORCK HØG, B., SOMMER, H. M., LARSEN, L. S., SØRENSEN, A. I. V., DAVID, B., HOFSHAGEN, M. et ROSENQUIST, H., 2016. Farm specific risk factors for *Campylobacter* colonisation in Danish and Norwegian broilers. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 août 2016. Vol. 130, pp. 137-145. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.04.002.

BRENNAN, Marnie L. et CHRISTLEY, Robert M., 2012. Biosecurity on Cattle Farms: A Study in North-West England. In : JOLY, Etienne (éd.), *PLoS ONE*. 3 janvier 2012. Vol. 7, n° 1, pp. e28139. DOI 10.1371/journal.pone.0028139.

BRENNAN, Marnie L et CHRISTLEY, Robert M, 2013. Cattle producers' perceptions of biosecurity. In : *BMC Veterinary Research*. 2013. Vol. 9, n° 1, pp. 71. DOI 10.1186/1746-6148-9-71.

BRENNAN, Marnie L., WRIGHT, Nick, WAPENAAR, Wendela, JARRATT, Susanne, HOBSON-WEST, Pru, RICHENS, Imogen F., KALER, Jasmeet, BUCHANAN, Heather, HUXLEY, Jonathan N. et O'CONNOR, Heather M., 2016. Exploring Attitudes and Beliefs towards Implementing Cattle Disease Prevention and Control Measures: A Qualitative Study with Dairy Farmers in Great Britain. In : *Animals: an open access journal from MDPI*. 11 octobre 2016. Vol. 6, n° 10. DOI 10.3390/ani6100061.

BRENNAN, Marnie, WRIGHT, Nick, WAPENAAR, Wendela, JARRATT, Susanne, HOBSON-WEST, Pru, RICHENS, Imogen, KALER, Jasmeet, BUCHANAN, Heather, HUXLEY, Jonathan et O'CONNOR, Heather, 2016. Exploring Attitudes and Beliefs towards Implementing Cattle Disease Prevention and Control Measures: A Qualitative Study with Dairy Farmers in Great Britain. In : *Animals*. 11 octobre 2016. Vol. 6, n° 10, pp. 61. DOI 10.3390/ani6100061.

BRIAND, F. X., NIQUEUX, E., SCHMITZ, A., HIRCHAUD, E., QUENAULT, H., ALLÉE, C., LE PRIOUX, A., GUILLOU-CLOAREC, C., OGOR, K., LE BRAS, M. O., GARES, H., DANIEL, P., FEDIAEVSKY, A., MARTENOT, C., MASSIN, P., LE BOUQUIN, S., BLANCHARD, Y. et ETERRADOSSI, N., 2018. Emergence and multiple reassortments of French 2015–2016 highly pathogenic H5 avian influenza viruses. In : *Infection, Genetics and Evolution*. 1 juillet 2018. Vol. 61, pp. 208-214. DOI 10.1016/j.meegid.2018.04.007.

BRIAND, François-Xavier, SCHMITZ, Audrey, OGOR, Katell, LE PRIOUX, Aurélie, GUILLOU-CLOAREC, Cécile, GUILLEMOTO, Carole, ALLÉE, Chantal, LE BRAS, Marie-Odile, HIRCHAUD, Edouard, QUENAULT, Hélène, TOUZAIN, Fabrice, CHERBONNEL-PANSART, Martine, LEMAITRE, Evelyne, COURTILLON, Céline, GARES, Hélène, DANIEL, Patrick, FEDIAEVSKY, Alexandre, MASSIN, Pascale, BLANCHARD, Yannick, ETERRADOSSI, Nicolas, VAN DER WERF, Sylvie, JESTIN, Véronique et NIQUEUX, Eric, 2017. Emerging highly pathogenic H5 avian influenza viruses in France during winter 2015/16: phylogenetic analyses and markers for zoonotic potential. In : *Euro Surveillace: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin*. 2 mars 2017. Vol. 22, n° 9. DOI 10.2807/1560-7917.ES.2017.22.9.30473.

BRONNER, Anne, MOISSON, Marie-Cécile, CALAVAS, Didier, HENDRIKX, Pascal, PAUL, Mathilde C., GUINAT, Claire, JABERT, Pierre, GERBIER, Guillaume, SAUSSAC, Mathilde, DURAND, Benoît et COURCOUL, Aurélie, 2017. *Influenza aviaire hautement pathogène en France en lien avec le virus H5N8 : premiers éléments d'interprétation épidémiologique*

[en ligne]. S.I. Plateforme ESA. [Consulté le 13 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.plateforme-esa.fr/article/influenza-aviaire-hautement-pathogene-en-france-en-lien-avec-le-virus-h5n8-premiers-elements>.

BUCINI, Gabriela, MERRILL, Scott C., CLARK, Eric, MOEGENBURG, Susan M., ZIA, Asim, KOLIBA, Christopher J., WILTSHIRE, Serge, TRINITY, Luke et SMITH, Julia M., 2019. Risk Attitudes Affect Livestock Biosecurity Decisions With Ramifications for Disease Control in a Simulated Production System. In : *Frontiers in Veterinary Science* [en ligne]. 2019. Vol. 6. [Consulté le 17 juillet 2019]. DOI 10.3389/fvets.2019.00196. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2019.00196/full>.

BURNS, Theresa E., RIBBLE, Carl, STEPHEN, Craig, KELTON, David, TOEWS, Lorraine, OSTERHOLD, Jason et WHEELER, Hazel, 2012. Use of observed wild bird activity on poultry farms and a literature review to target species as high priority for avian influenza testing in 2 regions of Canada. In : *The Canadian Veterinary Journal*. février 2012. Vol. 53, n° 2, pp. 158-166.

BURTON, Rob J. F., 2004. Reconceptualising the 'behavioural approach' in agricultural studies: a socio-psychological perspective. In : *Journal of Rural Studies*. 1 juillet 2004. Vol. 20, n° 3, pp. 359-371. DOI 10.1016/j.jrurstud.2003.12.001.

CALIBEO-HAYES, Dawn, DENNING, Steve S., STRINGHAM, S. M., GUY, James S., SMITH, Lynda G. et WATSON, D. Wes, 2003. Mechanical Transmission of Turkey Coronavirus by Domestic Houseflies (*Musca domestica* Linnaeus). In : *Avian Diseases*. janvier 2003. Vol. 47, n° 1, pp. 149-153. DOI 10.1637/0005-2086(2003)047[0149:MTOTCB]2.0.CO;2.

CARDWELL, J.M., VAN WINDEN, S., BEAUVAIS, W., MASTIN, A., DE GLANVILLE, W.A., HARDSTAFF, J., BOOTH, R.E., FISHWICK, J. et PFEIFFER, D.U., 2016. Assessing the impact of tailored biosecurity advice on farmer behaviour and pathogen presence in beef herds in England and Wales. In : *Preventive Veterinary Medicine*. décembre 2016. Vol. 135, pp. 9-16. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.10.018.

CARRIQUE-MAS, J. J., BRESLIN, M., SNOW, L., MCLAREN, I., SAYERS, A. R. et DAVIES, R. H., 2009. Persistence and clearance of different Salmonella serovars in buildings housing laying hens. In : *Epidemiology & Infection*. juin 2009. Vol. 137, n° 6, pp. 837-846. DOI 10.1017/S0950268808001568.

CARVER, Donna K., VAILLANCOURT, Jean-Pierre et STRINGHAM, Michael, 2002. Risk factors associated with poult enteritis mortality syndrome-positive turkey flocks. In : *Avian Diseases*. décembre 2002. Vol. 46, n° 4, pp. 1021-1024. DOI 10.1637/0005-2086(2002)046[1021:RFAWPE]2.0.CO;2.

CASAL, J., DE MANUEL, A., MATEU, E. et MARTÍN, M., 2007. Biosecurity measures on swine farms in Spain: Perceptions by farmers and their relationship to current on-farm measures. In : *Preventive Veterinary Medicine*. novembre 2007. Vol. 82, n° 1-2, pp. 138-150. DOI 10.1016/j.prevetmed.2007.05.012.

CAUCHARD, Julien, MERCIER, Alizé et FALALA, Sylvain, 2017. Épisode d'influenza aviaire hautement pathogène en Europe en 2016-2017. In : *Bulletin épidémiologique en santé animales et alimentation*. 2017. n° 79, pp. 22-26.

CHANTZIARAS, Ilias, DEWULF, Jeroen, VAN LIMBERGEN, Tommy, STADEJEK, Tomasz, NIEMI, Jarkko, KYRIAZAKIS, Ilias et MAES, Dominiek, 2020. Biosecurity levels of pig fattening farms from four EU countries and links with the farm characteristics. In : *Livestock Science*. juillet 2020. Vol. 237, pp. 104037. DOI 10.1016/j.livsci.2020.104037.

CHARLES, S. D., NAGARAJA, K. V., HALVORSON, D. A. et RAO, A., 1991. A retrospective analysis on the epizootiological aspects of outbreaks of *Pasteurella anatipestifer* infection in turkeys in Minnesota. In : *Poultry Science*. août 1991. Vol. 70, n° 8, pp. 1704-1708. DOI 10.3382/ps.0701704.

CHAUVIN, Claire, BOUVAREL, Isabelle, BELCÉIL, Pierre-Alexandre, ORAND, Jean-Pierre, GUILLEMOT, Didier et SANDERS, Pascal, 2005. A pharmaco-epidemiological analysis of factors associated with antimicrobial consumption level in turkey broiler flocks. In : *Veterinary Research*. 1 mars 2005. Vol. 36, n° 2, pp. 199-211. DOI 10.1051/vetres:2004064.

CHRISTENSEN, A. J. et SMITH, T. W., 1995. Personality and patient adherence: correlates of the five-factor model in renal dialysis. In : *Journal of Behavioral Medicine*. juin 1995. Vol. 18, n° 3, pp. 305-313.

CHRISTENSEN, N. H., YAVARI, Christine A., MCBAIN, A. J. et BRADBURY, Janet M., 1994. Investigations into the survival of *Mycoplasma gallisepticum*, *Mycoplasma synoviae* and *Mycoplasma iowae* on materials found in the poultry house environment. In : *Avian Pathology*. 1 mars 1994. Vol. 23, n° 1, pp. 127-143. DOI 10.1080/03079459408418980.

CIARAVINO, Giovanna, ESPLUGA, Josep, CASAL, Jordi, PACIOS, Alberto, MERCADER, Irene et ALLEPUZ, Alberto, 2020. Profiles of opinions among farmers and veterinarians towards the Tuberculosis Eradication Programme in cattle in Spain. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 mars 2020. Vol. 176, pp. 104941. DOI 10.1016/j.prevetmed.2020.104941.

CIFOG, 2020. Charte des Professionnels de la Production du Foie Gras. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://elevage-gavage.fr/le-foie-gras/les-engagements>.

COLLINEAU, L., ROJO-GIMENO, C., LÉGER, A., BACKHANS, A., LOESKEN, S., NIELSEN, E. Okholm, POSTMA, M., EMANUELSON, U., BEILAGE, E. grosse, SJÖLUND, M., WAUTERS, E., STÄRK, K. D. C, DEWULF, J., BELLOC, C. et KREBS, S., 2017. Herd-specific interventions to reduce antimicrobial usage in pig production without jeopardising technical and economic performance. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 septembre 2017. Vol. 144, pp. 167-178. DOI 10.1016/j.prevetmed.2017.05.023.

CONAN, Anne, PONSICH, Aurélie, LUCE GOUTARD, Flavie, KHIEV, Ratana, TARANTOLA, Arnaud, SORN, San et VONG, Sirenda, 2013. A community-based education trial to improve backyard poultry biosecurity in rural Cambodia. In : *Acta Tropica*. mars 2013. Vol. 125, n° 3, pp. 294-302. DOI 10.1016/j.actatropica.2012.12.006.

CONNER, Mark et NORMAN, Paul, 2017. Health behaviour: Current issues and challenges. In : *Psychology & Health*. 3 août 2017. Vol. 32, n° 8, pp. 895-906. DOI 10.1080/08870446.2017.1336240.

CORRAND, Léni, DELVERDIER, Maxence, LUCAS, Marie-Noëlle, CROVILLE, Guillaume, FACON, Charles, BALLOY, Dominique, DUCATEZ, Mariette et GUÉRIN, Jean-Luc, 2012. A low-pathogenic avian influenza H6N1 outbreak in a turkey flock in France: a comprehensive case report. In : *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A.* décembre 2012. Vol. 41, n° 6, pp. 569-577. DOI 10.1080/03079457.2012.733931.

CUI, Bin et LIU, Zong Ping, 2016. Determinants of Knowledge and Biosecurity Preventive Behaviors for Highly Pathogenic Avian Influenza Risk Among Chinese Poultry Farmers. In : *Avian Diseases*. juin 2016. Vol. 60, n° 2, pp. 480-486. DOI 10.1637/11361-010116-Reg.

CUI, Bin, LIU, Zong Ping, KE, Jun et TIAN, Yi, 2019. Determinants of highly pathogenic avian influenza outbreak information sources, risk perception and adoption of biosecurity behaviors among poultry farmers in China. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 juin 2019. Vol. 167, pp. 25-31. DOI 10.1016/j.prevetmed.2019.03.018.

DAMIAANS, Bert, RENAULT, Véronique, SARRAZIN, Steven, BERGE, Anna Catharina, PARDON, Bart, SAEGERMAN, Claude et DEWULF, Jeroen, 2020. A risk-based scoring system to quantify biosecurity in cattle production. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 juin 2020. Vol. 179, pp. 104992. DOI 10.1016/j.prevetmed.2020.104992.

DELABBIO, Julie, MURPHY, Brian R., JOHNSON, Gerald R. et MCMULLIN, Steve L., 2004. An assessment of biosecurity utilization in the recirculation sector of finfish aquaculture in the United States and Canada. In : *Aquaculture*. 20 décembre 2004. Vol. 242, n° 1, pp. 165-179. DOI 10.1016/j.aquaculture.2004.03.005.

DELPONT, Mattias, BLONDEL, Vincent, ROBERTET, Luc, DURET, Hugues, GUERIN, Jean-Luc, VAILLANCOURT, Jean-Pierre et PAUL, Mathilde C., 2018. Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 octobre 2018. Vol. 158, pp. 78-88. DOI 10.1016/j.prevetmed.2018.07.012.

DELPONT, Mattias, RACICOT, Manon, DURIVAGE, André, FORNILI, Lucie, GUERIN, Jean-Luc, VAILLANCOURT, Jean-Pierre et PAUL, Mathilde C., 2020. Determinants of biosecurity practices in French duck farms after a H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza epidemic: The effect of farmer knowledge, attitudes and personality traits. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. 20 janvier 2020. pp. tbed.13462. DOI 10.1111/tbed.13462.

DENIS-ROBICHAUD, J., KELTON, D. F., BAUMAN, C. A., BARKEMA, H. W., KEEFE, G. P. et DUBUC, J., 2019. Biosecurity and herd health management practices on Canadian dairy farms. In : *Journal of Dairy Science* [en ligne]. 24 juillet 2019. [Consulté le 2 septembre 2019]. DOI 10.3168/jds.2018-15921. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219306320>.

DGAL, 2016a. *Arrêté du 8 février 2016 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre*

l'influenza aviaire [en ligne]. 2 août 2016. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000032000273>.

DGAL, 2016b. *Arrêté du 9 février 2016 déterminant des dispositions de lutte complémentaires contre l'influenza aviaire hautement pathogène suite à la détection de la maladie sur le territoire français* [en ligne]. 10 février 2016. S.l. : s.n. [Consulté le 2 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000032000306>.

DGAL, 2016c. *Note de Service. Conformité des exploitations commerciales de volailles à l'arrêté du 8 février 2016 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitatins de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire* [en ligne]. 18 octobre 2016. S.l. : s.n. [Consulté le 7 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2016-810>.

DGAL, 2017a. *Arrêté du 31 mars 2017 déterminant des dispositions de prévention, de surveillance et lutte complémentaires contre l'influenza aviaire hautement pathogène dans certaines parties du territoire* [en ligne]. 2 avril 2017. S.l. : s.n. [Consulté le 2 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000034330812>.

DGAL, 2017b. *Instruction Technique. Modalités d'application et de contrôle des mesures de biosécurité dans les exploitations de volailles* [en ligne]. 23 septembre 2017. S.l. : s.n. [Consulté le 7 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2017-756>.

DGAL, 2018a. *Arrêté du 1er août 2018 relatif à la surveillance et à la lutte contre les infections à Salmonella dans les troupeaux de l'espèce Gallus gallus en filière ponte d'œufs de consommation* [en ligne]. 24 août 2018. S.l. : s.n. [Consulté le 12 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037330841>.

DGAL, 2018b. *Note de Service. Programmation des inspections biosécurité en exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention de l'influenza aviaire pour l'année 2018 et jusqu'en 2020*. [en ligne]. 21 mars 2018. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2018-219>.

DGAL, 2019a. *Le plan Écoantibio 2 (2017-2021)*. In : [en ligne]. 31 juillet 2019. [Consulté le 6 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecoantibio-2-2017-2021>.

DGAL, 2019b. *Note de Service. Biosécurité en élevages de volailles - Bilan des inspections réalisées par les DD(CS)PP et les DAAF de 2016 à 2018* [en ligne]. 14 août 2019. S.l. : s.n. [Consulté le 29 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2019-601>.

DGAL, 2019c. *Plan EcoAntibio 2012-2017 : lutte contre l'antibiorésistance*. In : [en ligne]. 21 mai 2019. [Consulté le 6 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/plan-ecoantibio-2012-2017-lutte-contre-lantibioresistance>.

DOIDGE, Charlotte, RUSTON, Annmarie, LOVATT, Fiona, HUDSON, Chris, KING, Lis et KALER, Jasmeet, 2020. *Farmers' Perceptions of Preventing Antibiotic Resistance on Sheep and Beef*

Farms: Risk, Responsibility, and Action. In : *Frontiers in Veterinary Science*. 13 août 2020. Vol. 7, pp. 524. DOI 10.3389/fvets.2020.00524.

DOREA, F. C., BERGHAUS, R., HOFACRE, C. et COLE, D. J., 2010. Survey of biosecurity protocols and practices adopted by growers on commercial poultry farms in Georgia, US A. In : *Avian diseases*. 2010. Vol. 54, n° 3, pp. 1007-1015.

DÖRING, Susanne, GEISTHARDT, Nicole, FREITAG, Henrike, KOBUSCH, Iris, BOELHAUVE, Marc et MERGENTHALER, Marcus, 2019. Animal Hygiene Indexes in Relation to Big-Five Personality Traits of German Pig Farmers Evaluated by Self- and Other-Rating. In : *Frontiers in Veterinary Science*. 20 novembre 2019. Vol. 6, pp. 379. DOI 10.3389/fvets.2019.00379.

DUNOWSKA, Magdalena, 2018. Circles of Disease transmission. In : *Biosecurity in animal production and veterinary medicine*. Leven : Acco. pp. 27-62. ISBN 978-94-6344-378-4.

DUVAUCHELLE, A., HUNEAU-SALAÛN, A., BALAINE, L., ROSE, N. et MICHEL, V., 2013. Risk factors for the introduction of avian influenza virus in breeder duck flocks during the first 24 weeks of laying. In : *Avian Pathology*. 6 août 2013. Vol. 42, n° 5, pp. 447-456. DOI 10.1080/03079457.2013.823145.

EAST, Ij, 2007. Adoption of biosecurity practices in the Australian poultry industries. In : *Australian Veterinary Journal*. 1 mars 2007. Vol. 85, n° 3, pp. 107-112. DOI 10.1111/j.1751-0813.2007.00113.x.

EFSA et ECDPC, 2019. The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. In : *EFSA Journal* [en ligne]. 1 décembre 2019. Vol. 17, n° 12. [Consulté le 9 octobre 2020]. DOI 10.2903/j.efsa.2019.5926. Disponible à l'adresse : <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2019.5926>.

ELBERS, A. R. W., GORGIEVSKI-DUIJVESTIEN, M. J., ZARAFSHANI, K. et KOCH, G., 2010. To report or not to report: a psychosocial investigation aimed at improving early detection of avian influenza outbreaks. In : *Revue Scientifique Et Technique (International Office of Epizootics)*. décembre 2010. Vol. 29, n° 3, pp. 435-449. DOI 10.20506/rst.29.3.1988.

ELBERS, Armin R. W. et GONZALES, José L., 2020. Quantification of visits of wild fauna to a commercial free-range layer farm in the Netherlands located in an avian influenza hot-spot area assessed by video-camera monitoring. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. mars 2020. Vol. 67, n° 2, pp. 661-677. DOI 10.1111/tbed.13382.

ELFADIL, A. A., VAILLANCOURT, J. P. et MEEK, A. H., 1996. Farm management risk factors associated with cellulitis in broiler chickens in southern Ontario. In : *Avian diseases*. 1996. pp. 699-706.

ELFADIL, A A, VAILLANCOURT, J P, MEEK, A H et GYLES, C L, 1996. A prospective study of cellulitis in broiler chickens in southern Ontario. In : *Avian diseases*. septembre 1996. Vol. 40, n° 3, pp. 677-689.

ELLIS-IVERSEN, Johanne, COOK, Alasdair J. C., WATSON, Eamon, NIELEN, Mirjam, LARKIN, Lesley, WOOLDRIDGE, Marion et HOGVEEN, Henk, 2010. Perceptions, circumstances and

motivators that influence implementation of zoonotic control programs on cattle farms. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 mars 2010. Vol. 93, n° 4, pp. 276-285. DOI 10.1016/j.prevetmed.2009.11.005.

EMANUELSON, Ulf, SJÖSTRÖM, Karin et FALL, Nils, 2018. Biosecurity and animal disease management in organic and conventional Swedish dairy herds: a questionnaire study. In : *Acta Veterinaria Scandinavica*. décembre 2018. Vol. 60, n° 1, pp. 23. DOI 10.1186/s13028-018-0376-6.

ENTICOTT, G., MAYE, D., CARMODY, P., NAYLOR, R., WARD, K., HINCHLIFFE, S., WINT, W., ALEXANDER, N., ELGIN, R., ASHTON, A., UPTON, P., NICHOLSON, R., GOODCHILD, T., BRUNTON, L. et BROUGHAN, J., 2015. Farming on the edge: farmer attitudes to bovine tuberculosis in newly endemic areas. In : *Veterinary Record*. 31 octobre 2015. Vol. 177, n° 17, pp. 439-439. DOI 10.1136/vr.103187.

ENTICOTT, Gareth et VANCLAY, Frank, 2011. Scripts, animal health and biosecurity: The moral accountability of farmers' talk about animal health risks. In : *Health, Risk & Society*. juin 2011. Vol. 13, n° 4, pp. 293-309. DOI 10.1080/13698575.2011.575456.

ERASMUS, Vicki, DAHA, Thea J., BRUG, Hans, RICHARDUS, Jan Hendrik, BEHRENDT, Myra D., VOS, Margreet C. et VAN BEECK, Ed F., 2010. Systematic review of studies on compliance with hand hygiene guidelines in hospital care. In : *Infection Control and Hospital Epidemiology*. mars 2010. Vol. 31, n° 3, pp. 283-294. DOI 10.1086/650451.

EVANS, S. J et SAYERS, A. R., 2000. A longitudinal study of campylobacter infection of broiler flocks in Great Britain. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 10 août 2000. Vol. 46, n° 3, pp. 209-223. DOI 10.1016/S0167-5877(00)00143-4.

FEATHERSTONE, C. A., REICHEL, R., SNOW, L. C., DAVIES, R. H., CHRISTIANSEN, K. H., CARRIQUE-MAS, J. J. et EVANS, S. J., 2010. Investigation of risk factors for Salmonella on fattening-turkey farms. In : *Epidemiology & Infection*. octobre 2010. Vol. 138, n° 10, pp. 1427-1438. DOI 10.1017/S0950268810000312.

FIRESTONE, Simon M., LEWIS, Fraser I., SCHEMANN, Kathrin, WARD, Michael P., TORIBIO, Jenny-Ann L. M. L. et DHAND, Navneet K., 2013. Understanding the associations between on-farm biosecurity practice and equine influenza infection during the 2007 outbreak in Australia. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 15 mai 2013. Vol. 110, n° 1, pp. 28-36. DOI 10.1016/j.prevetmed.2013.02.003.

FISHBEIN, Martin, 2008. A Reasoned Action Approach to Health Promotion. In : *Medical Decision Making*. novembre 2008. Vol. 28, n° 6, pp. 834-844. DOI 10.1177/0272989X08326092.

FRANCEAGRIMER, 2020. *Compilation des 25 fiches filière*. [en ligne]. S.l. Disponible à l'adresse :

<https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/63260/document/COMPILATION%20des%2025%20FICHES%20FILIERE%202020.pdf?version=2>.

FRANZO, Giovanni, TUCCIARONE, Claudia Maria, MORENO, Ana, LEGNARDI, Matteo, MASSI, Paola, TOSI, Giovanni, TROGU, Tiziana, CERUTI, Raffaella, PESENTE, Patrizia, ORTALI, Giovanni, GAVAZZI, Luigi et CECCHINATO, Mattia, 2020. Phylodynamic analysis and evaluation of the balance between anthropic and environmental factors affecting IBV spreading among Italian poultry farms. In : *Scientific Reports*. 29 avril 2020. Vol. 10, n° 1, pp. 7289. DOI 10.1038/s41598-020-64477-4.

FRASER, R. W., WILLIAMS, N. T., POWELL, L. F. et COOK, A. J. C., 2010. Reducing Campylobacter and Salmonella Infection: Two Studies of the Economic Cost and Attitude to Adoption of On-farm Biosecurity Measures: Farmer Attitudes and Control of Foodborne Zoonoses. In : *Zoonoses and Public Health*. décembre 2010. Vol. 57, n° 7-8, pp. e109-e115. DOI 10.1111/j.1863-2378.2009.01295.x.

FRIS, C. et BOS, J. van den, 2007. A retrospective case-control study of risk factors associated with Salmonella enterica subsp. enterica serovar Enteritidis infections on Dutch broiler breeder farms. In : *Avian Pathology* [en ligne]. 12 novembre 2007. [Consulté le 10 septembre 2020]. DOI 10.1080/03079459508419067. Disponible à l'adresse : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03079459508419067>. world

FRÖSSLING, Jenny et NÖREMARK, Maria, 2016. Differing perceptions – Swedish farmers' views of infectious disease control. In : *Veterinary Medicine and Science*. 2016. Vol. 2, n° 1, pp. 54-68. DOI 10.1002/vms3.20.

GARBER, Lindsey, BJORK, Kathe, PATYK, Kelly, RAWDON, Thomas, ANTOGNOLI, Maria, DELGADO, Amy, AHOLA, Sara et MCCLUSKEY, Brian, 2016. Factors Associated with Highly Pathogenic Avian Influenza H5N2 Infection on Table-Egg Layer Farms in the Midwestern United States, 2015. In : *Avian Diseases*. juin 2016. Vol. 60, n° 2, pp. 460-466. DOI 10.1637/11351-121715-Reg.

GARFORTH, C., 2015. Livestock Keepers' Reasons for Doing and Not Doing Things Which Governments, Vets and Scientists Would Like Them to Do. In : *Zoonoses and Public Health*. avril 2015. Vol. 62, pp. 29-38. DOI 10.1111/zph.12189.

GELAUE, P., SCHLEPERS, M., VERLINDEN, M., LAANEN, M. et DEWULF, J., 2014. Biocheck.UGent: A quantitative tool to measure biosecurity at broiler farms and the relationship with technical performances and antimicrobial use. In : *Poultry Science*. 1 novembre 2014. Vol. 93, n° 11, pp. 2740-2751. DOI 10.3382/ps.2014-04002.

GIFFORD, D. H., SHANE, S. M., HUGH-JONES, M. et WEIGLER, B. J., 1987. Evaluation of Biosecurity in Broiler Breeders. In : *Avian Diseases*. avril 1987. Vol. 31, n° 2, pp. 339. DOI 10.2307/1590882.

GONZALES, J. L., ELBERS, A. R. W. et BEERENS, N., 2017. Risk factors of primary introduction of highly pathogenic and low pathogenic avian influenza virus into European poultry holdings, considering at least material contaminated by wild birds and contact with wild birds. In : *EFSA Supporting Publications*. 2017. Vol. 14, n° 10, pp. 1282E. DOI 10.2903/sp.efsa.2017.EN-1282.

GOSLING, R. J., MARTELLI, F., WINTRIP, A., SAYERS, A. R., WHEELER, K. et DAVIES, R. H., 2014. Assessment of producers' response to Salmonella biosecurity issues and uptake of advice on

laying hen farms in England and Wales. In : *British Poultry Science*. 3 septembre 2014. Vol. 55, n° 5, pp. 559-568. DOI 10.1080/00071668.2014.949620.

GRAAT, E. A. M, VAN DER KOOIJ, E, FRANKENA, K, HENKEN, A. M, SMEETS, J. F. M et HEKERMAN, M. T. J, 1998. Quantifying risk factors of coccidiosis in broilers using on-farm data based on a veterinary practice. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 janvier 1998. Vol. 33, n° 1, pp. 297-308. DOI 10.1016/S0167-5877(97)00008-1.

GRANT, Claire, KALER, Jasmeet, FERGUSON, Eamonn, O’KANE, Holly et GREEN, Laura Elizabeth, 2018. A comparison of the efficacy of three intervention trial types: postal, group, and one-to-one facilitation, prior management and the impact of message framing and repeat messages on the flock prevalence of lameness in sheep. In : *Preventive Veterinary Medicine*. janvier 2018. Vol. 149, pp. 82-91. DOI 10.1016/j.prevetmed.2017.11.013.

GRAYSON, M. Lindsay, MACESIC, Nenad, HUANG, G. Khai, BOND, Katherine, FLETCHER, Jason, GILBERT, Gwendolyn L., GORDON, David L., HELLSTEN, Jane F., IREDELL, Jonathan, KEIGHLEY, Caitlin, STUART, Rhonda L., XUEREB, Charles S. et CRUICKSHANK, Marilyn, 2015. Use of an Innovative Personality-Mindset Profiling Tool to Guide Culture-Change Strategies among Different Healthcare Worker Groups. In : CONLY, John (éd.), *PLOS ONE*. 21 octobre 2015. Vol. 10, n° 10, pp. e0140509. DOI 10.1371/journal.pone.0140509.

GREEN, Laura, KALER, Jasmeet, LIU, Nicola et FERGUSON, Eamonn, 2020. Influencing Change: When “Best Practice” Changes and the Prototypical Good Farmer Turns Bad. In : *Frontiers in Veterinary Science*. 31 mars 2020. Vol. 7, pp. 161. DOI 10.3389/fvets.2020.00161.

GREENING, S. S., MULQUEEN, K., RAWDON, T. G., FRENCH, N. P. et GATES, M. C., 2020. Estimating the level of disease risk and biosecurity on commercial poultry farms in New Zealand. In : *New Zealand Veterinary Journal*. 25 mars 2020. Vol. 0, n° 0, pp. 1-11. DOI 10.1080/00480169.2020.1746208.

GUERIN, Michele T, MARTIN, Wayne, REIERSEN, Jarle, BERKE, Olaf, MCEWEN, Scott A, BISAILLON, Jean-Robert et LOWMAN, Ruff, 2007. House-level risk factors associated with the colonization of broiler flocks with *Campylobacter* spp. in Iceland, 2001 – 2004. In : *BMC Veterinary Research*. 12 novembre 2007. Vol. 3, pp. 30. DOI 10.1186/1746-6148-3-30.

GUINAT, Claire, ARTOIS, Jean, BRONNER, Anne, GUÉRIN, Jean-Luc, GILBERT, Marius et PAUL, Mathilde C., 2019. Duck production systems and highly pathogenic avian influenza H5N8 in France, 2016–2017. In : *Scientific Reports*. 16 avril 2019. Vol. 9, n° 1, pp. 6177. DOI 10.1038/s41598-019-42607-x.

GUINAT, Claire, COMIN, Arianna, KRATZER, Gilles, DURAND, Benoit, DELESALLE, Lea, DELPONT, Mattias, GUÉRIN, Jean-Luc et PAUL, Mathilde C., 2020. Biosecurity risk factors for highly pathogenic avian influenza (H5N8) virus infection in duck farms, France. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. 2020. Vol. 67, n° 6, pp. 2961-2970. DOI <https://doi.org/10.1111/tbed.13672>.

GUINAT, Claire, DURAND, Benoit, VERGNE, Timothee, CORRE, Tifenn, RAUTUREAU, Séverine, SCOIZEC, Axelle, LÉBOUQUIN-LENEVEU, Sophie, GUÉRIN, Jean-Luc et PAUL, Mathilde C., 2020. Role of Live-Duck Movement Networks in Transmission of Avian Influenza, France, 2016-2017.

In : *Emerging Infectious Diseases*. mars 2020. Vol. 26, n° 3, pp. 472-480. DOI 10.3201/eid2603.190412.

GUINAT, Claire, NICOLAS, Gaëlle, VERGNE, Timothée, BRONNER, Anne, DURAND, Benoit, COURCOUL, Aurélie, GILBERT, Marius, GUÉRIN, Jean-Luc et PAUL, Mathilde C., 2018. Spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N8 spread, France, 2016 to 2017. In : *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin*. juin 2018. Vol. 23, n° 26. DOI 10.2807/1560-7917.ES.2018.23.26.1700791.

GUINAT, Claire, NICOLAS, Gaëlle, VERGNE, Timothée, BRONNER, Anne, DURAND, Benoît, COURCOUL, Aurélie, GILBERT, Marius et PAUL, Mathilde, 2017. Dynamique de propagation du virus influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) sous-type H5 (clade 2.3.4.4) chez les volailles domestiques en France 2016-2017. In : *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation*. juillet 2017. Vol. 79, pp. 18-21.

GUINAT, Claire, ROUCHY, Nathalie, CAMY, Floriane, GUERIN, Jean-Luc et PAUL, Mathilde C., 2018. Exploring the wind-borne spread of Highly Pathogenic Avian Influenza H5N8 during the 2016-2017 epizootic in France. In : *Avian Diseases* [en ligne]. 9 novembre 2018. DOI 10.1637/11881-042718-ResNote.1. Disponible à l'adresse : <https://www.aaapjournals.info/doi/abs/10.1637/11881-042718-ResNote.1>.

GUNN, G.J., HEFFERNAN, C., HALL, M., MCLEOD, A. et HOVI, M., 2008. Measuring and comparing constraints to improved biosecurity amongst GB farmers, veterinarians and the auxiliary industries. In : *Preventive Veterinary Medicine*. mai 2008. Vol. 84, n° 3-4, pp. 310-323. DOI 10.1016/j.prevetmed.2007.12.003.

GUNTHER, M.J., HELLER, J., HAYES, L. et HERNANDEZ-JOVER, M., 2019. Dairy goat producers' understanding, knowledge and attitudes towards biosecurity and Q-fever in Australia. In : *Preventive Veterinary Medicine*. octobre 2019. Vol. 170, pp. 104742. DOI 10.1016/j.prevetmed.2019.104742.

HALASA, T., HUIJPS, K., ØSTERÅS, O. et HOGVEEN, H., 2007. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. In : *Veterinary Quarterly*. janvier 2007. Vol. 29, n° 1, pp. 18-31. DOI 10.1080/01652176.2007.9695224.

HAN, Jun-Hee, WESTON, Jenny F., HEUER, Cord et GATES, M. Carolyn, 2020. Modelling the economics of bovine viral diarrhoea virus control in pastoral dairy and beef cattle herds. In : *Preventive Veterinary Medicine*. septembre 2020. Vol. 182, pp. 105092. DOI 10.1016/j.prevetmed.2020.105092.

HAUCK, R., CROSSLEY, B., REJMANEK, D., ZHOU, H. et GALLARDO, R. A., 2017. Persistence of Highly Pathogenic and Low Pathogenic Avian Influenza Viruses in Footbaths and Poultry Manure. In : *Avian Diseases*. mars 2017. Vol. 61, n° 1, pp. 64-69. DOI 10.1637/11495-091916-Reg.

HEFFERNAN, Claire, NIELSEN, Louise, THOMSON, Kim et GUNN, George, 2008. An exploration of the drivers to bio-security collective action among a sample of UK cattle and sheep farmers. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 2008. pp. 15.

HERMANS, P. G. et MORGAN, K. L., 2007. Prevalence and associated risk factors of necrotic enteritis on broiler farms in the United Kingdom; a cross-sectional survey. In : *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A.* février 2007. Vol. 36, n° 1, pp. 43-51. DOI 10.1080/03079450601109991.

HERNÁNDEZ-JOVER, Marta, TAYLOR, Melanie, HOLYOAKE, Patricia et DHAND, Navneet, 2012. Pig producers' perceptions of the Influenza Pandemic H1N1/09 outbreak and its effect on their biosecurity practices in Australia. In : *Preventive Veterinary Medicine.* octobre 2012. Vol. 106, n° 3-4, pp. 284-294. DOI 10.1016/j.prevetmed.2012.03.008.

HIDANO, Arata, 2018. Modeling Dynamic Human Behavioral Changes in Animal Disease Models: Challenges and Opportunities for Addressing Bias. In : *Frontiers in Veterinary Science.* 2018. Vol. 5, pp. 14.

HIDANO, Arata, GATES, M. Carolyn et ENTICOTT, Gareth, 2019. Farmers' Decision Making on Livestock Trading Practices: Cowshed Culture and Behavioral Triggers Amongst New Zealand Dairy Farmers. In : *Frontiers in Veterinary Science* [en ligne]. 2019. Vol. 6. [Consulté le 22 octobre 2019]. DOI 10.3389/fvets.2019.00320. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2019.00320/full>.

HIGHAM, Laura Elizabeth, SCOTT, Carly, AKEHURST, Kevin, DRING, Daniel, PARNHAM, Alan, WATERMAN, Michelle et BRIGHT, Ashleigh, 2018. Effects of financial incentives and cessation of thinning on prevalence of *Campylobacter*: a longitudinal monitoring study on commercial broiler farms in the UK. In : *Veterinary Record.* 17 novembre 2018. Vol. 183, n° 19, pp. 595-595. DOI 10.1136/vr.104823.

HUANG, Ze-ying, LOCH, Adam, FINDLAY, Christopher et WANG, Ji-min, 2017. Adoption of HPAI biosecurity measures: The Chinese broiler industry. In : *Journal of Integrative Agriculture.* 1 janvier 2017. Vol. 16, n° 1, pp. 181-189. DOI 10.1016/S2095-3119(16)61511-3.

HUANG, Zeying, ZENG, Di et WANG, Jimin, 2016. Factors affecting Chinese broiler farmers' main preventive practices in response to highly pathogenic avian influenza. In : *Preventive Veterinary Medicine.* 1 novembre 2016. Vol. 134, pp. 153-159. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.10.013.

HUNEAU-SALAÜN, Adeline, MARIANNE, Chemaly, SOPHIE, Le Bouquin, FRANÇOISE, Lalande, ISABELLE, Petetin, SANDRA, Rouxel, VIRGINIE, Michel, PHILIPPE, Fravallo et NICOLAS, Rose, 2009. Risk factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* contamination in 519 French laying hen flocks at the end of the laying period. In : *Preventive Veterinary Medicine.* 1 mai 2009. Vol. 89, n° 1, pp. 51-58. DOI 10.1016/j.prevetmed.2009.01.006.

IFIP, 2019. Porc Protect. In : *porc protect de l'ifip. Audit de biosécurité en élevage* [en ligne]. 2019. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://porcprotect.ifip.asso.fr/Account/Login>.

ITAVI, 2016. Fiches pédagogiques influenza aviaire | ITAVI. In : [en ligne]. 2016. [Consulté le 29 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.itavi.asso.fr/content/fiches-pedagogiques-influenza-aviaire>.

ITAVI, 2018. Protocole EBENE, guide pour les utilisateurs | ITAVI. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.itavi.asso.fr/content/protocole-ebene-guide-pour-les-utilisateurs>.

JOHNSON, Y.J., GEDAMU, N., COLBY, M.M., MYINT, M.S., STEELE, S.E., SALEM, M. et TABLANTE, N.L., 2005. Wind-Borne Transmission of Infectious Laryngotracheitis Between Commercial Poultry Operations. In : *International Journal of Poultry Science*. 15 avril 2005. Vol. 4, n° 5, pp. 263-267. DOI 10.3923/ijps.2005.263.267.

JULIEN, Danielle et THOMSON, Sarah, 2011. Interactive methods to educate and engage poultry producers on the importance of practicing on-farm biosecurity. In : *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*. 2011. Vol. 3, n° 8, pp. 137-140.

JULIO PINTO, C. et SANTIAGO URCELAY, V., 2003. Biosecurity practices on intensive pig production systems in Chile. In : *Preventive Veterinary Medicine*. juin 2003. Vol. 59, n° 3, pp. 139-145. DOI 10.1016/S0167-5877(03)00074-6.

KIM, W.-H., AN, J.-U., KIM, J., MOON, O.-K., BAE, S. H., BENDER, J. B. et CHO, S., 2018. Risk factors associated with highly pathogenic avian influenza subtype H5N8 outbreaks on broiler duck farms in South Korea. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018. Vol. 65, n° 5, pp. 1329-1338. DOI <https://doi.org/10.1111/tbed.12882>.

KOK, Gerjo, GOTTLIEB, Nell H., PETERS, Gjalte-Jorn Y., MULLEN, Patricia Dolan, PARCEL, Guy S., RUITER, Robert A.C., FERNÁNDEZ, María E., MARKHAM, Christine et BARTHOLOMEW, L. Kay, 2016. A taxonomy of behaviour change methods: an Intervention Mapping approach. In : *Health Psychology Review*. 2 juillet 2016. Vol. 10, n° 3, pp. 297-312. DOI 10.1080/17437199.2015.1077155.

KOUTSOUMANIS, Konstantinos, ALLENDE, Ana, ALVAREZ-ORDÓÑEZ, Avelino, BOLTON, Declan, BOVER-CID, Sara, DAVIES, Robert, CESARE, Alessandra De, HERMAN, Lieve, HILBERT, Friederike, LINDQVIST, Roland, NAUTA, Maarten, PEIXE, Luisa, RU, Giuseppe, SIMMONS, Marion, SKANDAMIS, Panagiotis, SUFFREDINI, Elisabetta, ALTER, Thomas, CROTTA, Matteo, ELLIS-IVERSEN, Johanne, HEMPEN, Michaela, MESSENS, Winy et CHEMALY, Marianne, 2020. Update and review of control options for *Campylobacter* in broilers at primary production. In : *EFSA Journal*. 2020. Vol. 18, n° 4, pp. e06090. DOI 10.2903/j.efsa.2020.6090.

KOUTSOUMANIS, Kostas, ALLENDE, Ana, ALVAREZ-ORDÓÑEZ, Avelino, BOLTON, Declan, BOVER-CID, Sara, CHEMALY, Marianne, CESARE, Alessandra De, HERMAN, Lieve, HILBERT, Friederike, LINDQVIST, Roland, NAUTA, Maarten, PEIXE, Luisa, RU, Giuseppe, SIMMONS, Marion, SKANDAMIS, Panagiotis, SUFFREDINI, Elisabetta, DEWULF, Jeroen, HALD, Tine, MICHEL, Virginie, NISKANEN, Taina, RICCI, Antonia, SNARY, Emma, BOELAERT, Frank, MESSENS, Winy et DAVIES, Robert, 2019. Salmonella control in poultry flocks and its public health impact. In : *EFSA Journal*. 2019. Vol. 17, n° 2, pp. e05596. DOI 10.2903/j.efsa.2019.5596.

KRISTENSEN, E. et JAKOBSEN, E. B., 2011. Challenging the myth of the irrational dairy farmer; understanding decision-making related to herd health. In : *New Zealand Veterinary Journal*. 1 janvier 2011. Vol. 59, n° 1, pp. 1-7. DOI 10.1080/00480169.2011.547162.

KRISTENSEN, Erling et JAKOBSEN, Esben B., 2011. Danish dairy farmers' perception of biosecurity. In : *Preventive Veterinary Medicine*. mai 2011. Vol. 99, n° 2-4, pp. 122-129. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.01.010.

LA VOLAILLE FRANÇAISE, 2018. La volaille française : Chiffre-clés 2018. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 27 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.volaille-francaise.fr/wp-content/uploads/rapport2018chiffres-cles.pdf>.

LAANEN, M., MAES, D., HENDRIKSEN, C., GELAUDE, P., DE VLIEGHER, S., ROSSEEL, Y. et DEWULF, J., 2014. Pig, cattle and poultry farmers with a known interest in research have comparable perspectives on disease prevention and on-farm biosecurity. In : *Preventive Veterinary Medicine*. juillet 2014. Vol. 115, n° 1-2, pp. 1-9. DOI 10.1016/j.prevetmed.2014.03.015.

LAANEN, M., PERSOONS, D., RIBBENS, S., DE JONG, E., CALLENS, B., STRUBBE, M., MAES, D. et DEWULF, J., 2013. Relationship between biosecurity and production/antimicrobial treatment characteristics in pig herds. In : *The Veterinary Journal*. novembre 2013. Vol. 198, n° 2, pp. 508-512. DOI 10.1016/j.tvjl.2013.08.029.

LE BOUQUIN, Sophie, SCOIZEC, Axelle, NIQUEUX, Eric, SCHMITZ, Audrey et BRIAND, François-Xavier, 2016. L'épisode d'influenza aviaire en France en 2015-2016 – Situation épidémiologique au 30 juin 2016. In : *Bulletin épidémiologique en santé animales et alimentation*. 2016. n° 75, pp. 2-8.

LEPINE, Jeffery A., PODSAKOFF, Nathan P. et LEPINE, Marcie A., 2005. A Meta-Analytic Test of the Challenge Stressor–Hindrancer Stressor Framework: An Explanation for Inconsistent Relationships Among Stressors and Performance. In : *Academy of Management Journal*. 1 octobre 2005. Vol. 48, n° 5, pp. 764-775. DOI 10.5465/amj.2005.18803921.

LEWIS, F. I., BRÜLISAUER, F. et GUNN, G. J., 2011. Structure discovery in Bayesian networks: An analytical tool for analysing complex animal health data. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 15 juin 2011. Vol. 100, n° 2, pp. 109-115. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.02.003.

MANABE, Toshie, THUY, Pham Thi Phuong, CAN, Vu Van, TAKASAKI, Jin, HUYEN, Dinh Thi Thanh, CHAU, Nguyen Thi My, SHIMBO, Takuro, HA, Bui Thi Thu, IZUMI, Shinyu, HANH, Tran Thuy, CHAU, Ngo Quy et KUDO, Koichiro, 2011. Impact of Educational Intervention Concerning Awareness and Behaviors Relating to Avian Influenza (H5N1) in a High-Risk Population in Vietnam. In : SEMPLE, Malcolm Gracie (éd.), *PLoS ONE*. 22 août 2011. Vol. 6, n° 8, pp. e23711. DOI 10.1371/journal.pone.0023711.

MANKAD, Aditi, 2016. Psychological influences on biosecurity control and farmer decision-making. A review. In : *Agronomy for Sustainable Development*. juin 2016. Vol. 36, n° 2, pp. 40. DOI 10.1007/s13593-016-0375-9.

MANYWEATHERS, J., FIELD, H., LONGNECKER, N., AGHO, K., SMITH, C. et TAYLOR, M., 2017. "Why won't they just vaccinate?" Horse owner risk perception and uptake of the Hendra virus vaccine. In : *BMC Veterinary Research*. décembre 2017. Vol. 13, n° 1, pp. 103. DOI 10.1186/s12917-017-1006-7.

MARIER, Elizabeth, PIERS SMITH, Richard, ELLIS-IVERSEN, Johanne, WATSON, Eamon, ARMSTRONG, Derek, HOGVEEN, Henk et COOK, Alasdair J.C., 2016. Changes in perceptions and motivators that influence the implementation of on-farm Salmonella control measures by pig farmers in England. In : *Preventive Veterinary Medicine*. octobre 2016. Vol. 133, pp. 22-30. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.09.009.

MAYE, Damian et CHAN, Kin Wing Ray, 2020. On-farm biosecurity in livestock production: farmer behaviour, cultural identities and practices of care. In : *Emerging Topics in Life Sciences*. 10 septembre 2020. DOI 10.1042/ETLS20200063.

MCQUISTON, Jennifer H., GARBER, Lindsey P., PORTER-SPALDING, Barbara A., HAHN, John W., PIERSON, F. William, WAINWRIGHT, Sherrilyn H., SENNE, Dennis A., BRIGNOLE, Thomas J., AKEY, Bruce L. et HOLT, Thomas J., 2005. Evaluation of risk factors for the spread of low pathogenicity H7N2 avian influenza virus among commercial poultry farms. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2005. Vol. 226, n° 5, pp. 767-772.

MEDHANIE, Genet A., MCEWEN, Scott A., WEBER, Lloyd, SANEI, Babak, COOLEY, Leanne, HOUGHTON, Scott, SLAVIC, Durda et GUERIN, Michele T., 2013. Risk factors associated with the colonization of Ontario layer chicken flocks with *Brachyspira* species. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 mai 2013. Vol. 109, n° 3, pp. 304-311. DOI 10.1016/j.prevetmed.2012.09.017.

MERRILL, Scott C., KOLIBA, Christopher J., MOEGENBURG, Susan M., ZIA, Asim, PARKER, Jason, SELNOW, Timothy, WILTSHIRE, Serge, BUCINI, Gabriela, DANEHY, Caitlin et SMITH, Julia M., 2019. Decision-making in livestock biosecurity practices amidst environmental and social uncertainty: Evidence from an experimental game. In : LAU, Eric HY (éd.), *PLOS ONE*. 17 avril 2019. Vol. 14, n° 4, pp. e0214500. DOI 10.1371/journal.pone.0214500.

MILLMAN, Caroline, CHRISTLEY, Rob, RIGBY, Dan, DENNIS, Diana, O'BRIEN, Sarah J. et WILLIAMS, Nicola, 2017. "Catch 22": Biosecurity awareness, interpretation and practice amongst poultry catchers. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 juin 2017. Vol. 141, pp. 22-32. DOI 10.1016/j.prevetmed.2017.04.002.

MOLLENHORST, H., VAN WOUDEBERGH, C. J., BOKKERS, E. G. M. et DE BOER, I. J. M., 2005. Risk factors for *Salmonella enteritidis* infections in laying hens. In : *Poultry Science*. 1 août 2005. Vol. 84, n° 8, pp. 1308-1313. DOI 10.1093/ps/84.8.1308.

MONTANARO, Erika, 2011. Wrap it up : a comparison of the Health Belief Model and the theory of planned behavior. In : *Psychology ETDs* [en ligne]. 30 août 2011. Disponible à l'adresse : https://digitalrepository.unm.edu/psy_etds/101.

MOYA, S., TIRADO, F., ESPLUGA, J., CIARAVINO, G., ARMENGOL, R., DIÉGUEZ, J., YUS, E., BENAVIDE, B., CASAL, J. et ALLEPUZ, A., 2019. Dairy farmers' decision making to implement biosecurity measures: A study of psychosocial factors. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. 10 octobre 2019. DOI 10.1111/tbed.13387.

MUTINDA, Wanzila Usyu, NYAGA, Philip Njeru, MBUTHIA, Paul Gichohi, BEBORA, Lilly Caroline et MUCHEMI, Gerald, 2014. Risk factors associated with infectious bursal disease vaccination

failures in broiler farms in Kenya. In : *Tropical Animal Health and Production*. avril 2014. Vol. 46, n° 4, pp. 603-608. DOI 10.1007/s11250-013-0533-x.

NAMATA, Harriet, WELBY, Sarah, AERTS, Marc, FAES, Christel, ABRAHANTES, José Cortiñas, IMBERECHTS, Hein, VERMEERSCH, Katie, HOOYBERGHS, Jozef, MÉROC, Estelle et MINTIENS, Koen, 2009. Identification of risk factors for the prevalence and persistence of Salmonella in Belgian broiler chicken flocks. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 août 2009. Vol. 90, n° 3, pp. 211-222. DOI 10.1016/j.prevetmed.2009.03.006.

NAMPANYA, S., SUON, S., RAST, L. et WINDSOR, P. A., 2012. Improvement in Smallholder Farmer Knowledge of Cattle Production, Health and Biosecurity in Southern Cambodia between 2008 and 2010: Improvement in Smallholder Farmer Knowledge. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. avril 2012. Vol. 59, n° 2, pp. 117-127. DOI 10.1111/j.1865-1682.2011.01247.x.

NAMPANYA, Sonevilay, KHOUNSY, Syseng, RAST, Luzia et WINDSOR, Peter A., 2014. Promoting transboundary animal disease risk management via a multiple health and husbandry intervention strategies in upland Lao PDR. In : *Tropical Animal Health and Production*. février 2014. Vol. 46, n° 2, pp. 439-446. DOI 10.1007/s11250-013-0511-3.

NAPP, S., MAJÓ, N., SÁNCHEZ-GÓNZALEZ, R. et VERGARA-ALERT, J., 2018. Emergence and spread of highly pathogenic avian influenza A(H5N8) in Europe in 2016-2017. In : *Transboundary and Emerging Diseases* [en ligne]. 2018. Vol. 0, n° 0. DOI 10.1111/tbed.12861. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tbed.12861>.

NAYLOR, Rhiannon, HAMILTON-WEBB, Alice, LITTLE, Ruth et MAYE, Damian, 2018. The 'Good Farmer': Farmer Identities and the Control of Exotic Livestock Disease in England. In : *Sociologia Ruralis*. 2018. Vol. 58, n° 1, pp. 3-19. DOI 10.1111/soru.12127.

NESPECA, Rita, VAILLANCOURT, Jean-Pierre et MORROW, WE Morgan, 1997. Validation of a poultry biosecurity survey. In : *Preventive veterinary medicine*. 1997. Vol. 31, n° 1-2, pp. 73-86.

NIEMI, Jarkko K., SAHLSTRÖM, Leena, KYRÖ, Jonna, LYYTIKÄINEN, Tapani et SINISALO, Alina, 2016. Farm characteristics and perceptions regarding costs contribute to the adoption of biosecurity in Finnish pig and cattle farms. In : *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*. décembre 2016. Vol. 97, n° 4, pp. 215-223. DOI 10.1007/s41130-016-0022-5.

NISHIGUCHI, A., KOBAYASHI, S., YAMAMOTO, T., OUCHI, Y., SUGIZAKI, T. et TSUTSUI, T., 2007. Risk factors for the introduction of avian influenza virus into commercial layer chicken farms during the outbreaks caused by a low-pathogenic H5N2 virus in Japan in 2005. In : *Zoonoses and Public Health*. 2007. Vol. 54, n° 9-10, pp. 337-343. DOI 10.1111/j.1863-2378.2007.01074.x.

NÖREMARK, Maria, LINDBERG, Ann, VÅGSHOLM, Ivar et STERNBERG LEWERIN, Susanna, 2009. Disease awareness, information retrieval and change in biosecurity routines among pig farmers in association with the first PRRS outbreak in Sweden. In : *Preventive Veterinary Medicine*. juillet 2009. Vol. 90, n° 1-2, pp. 1-9. DOI 10.1016/j.prevetmed.2009.03.008.

NÖREMARK, Maria, STERNBERG LEWERIN, Susanna, ERNHOLM, Linda et FRÖSSLING, Jenny, 2016. Swedish Farmers' Opinions about Biosecurity and Their Intention to Make Professionals Use Clean Protective Clothing When Entering the Stable. In : *Frontiers in Veterinary Science* [en ligne]. 22 juin 2016. Vol. 3. [Consulté le 9 novembre 2017]. DOI 10.3389/fvets.2016.00046. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4916181/>.

OIE, 2019. *Code sanitaire pour les animaux terrestres* [en ligne]. 28. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <https://www.oie.int/fr/normes/code-terrestre/acces-en-ligne/>.

O'KANE, Holly, FERGUSON, Eamonn, KALER, Jasmeet et GREEN, Laura, 2017. Associations between sheep farmer attitudes, beliefs, emotions and personality, and their barriers to uptake of best practice: The example of footrot. In : *Preventive Veterinary Medicine*. avril 2017. Vol. 139, pp. 123-133. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.05.009.

PAUL, Mathilde C., DELPONT, Mattias, RACICOT, Manon, GUÉRIN, Jean-Luc et VAILLANCOURT, Jean-Pierre, 2018. Enjeux et déterminants liés à l'observance des mesures de biosécurité en élevage dans la lutte contre l'épizootie d'influenza aviaire H5N8, 2016-2017. In : *Journée AEEMA 30 mai 2018* [en ligne]. S.l. : s.n. 2018. Disponible à l'adresse : <http://web.vet-alfort.fr/index.php/2013-04-12-00-44-00/epidemiologie-et-sante-animale/2018/804-2018-73-sommaire>.

PLATEFORME ESA, 2021. Suivi IAHP en France : point au 11/02/2021 | Plateforme d'épidémiologie en santé animale. In : [en ligne]. 2021. [Consulté le 12 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.plateforme-esa.fr/article/suivi-iahp-en-france-point-au-11-02-2021>.

POSTMA, M., VANDERHAEGHEN, W., SARRAZIN, S., MAES, D. et DEWULF, J., 2017. Reducing Antimicrobial Usage in Pig Production without Jeopardizing Production Parameters. In : *Zoonoses and Public Health*. février 2017. Vol. 64, n° 1, pp. 63-74. DOI 10.1111/zph.12283.

PRESTWICH, Andrew, KELLAR, Ian, CONNER, Mark, LAWTON, Rebecca, GARDNER, Peter et TURGUT, Liz, 2016. Does changing social influence engender changes in alcohol intake? A meta-analysis. In : *Journal of Consulting and Clinical Psychology*. 2016. Vol. 84, n° 10, pp. 845-860. DOI 10.1037/ccp0000112.

PUDENZ, Christopher C, 2019. Adoption of Secure Pork Supply Plan Biosecurity by U.S. Swine Producers. In : *Frontiers in Veterinary Science*. 2019. Vol. 6, pp. 14.

RAASCH, Svenja, COLLINEAU, Lucie, POSTMA, Merel, BACKHANS, Annette, SJÖLUND, Marie, BELLOC, Catherine, EMANUELSON, Ulf, BEILAGE, Elisabeth grosse, STÄRK, Katharina et DEWULF, Jeroen, 2020. Effectiveness of alternative measures to reduce antimicrobial usage in pig production in four European countries. In : *Porcine Health Management*. décembre 2020. Vol. 6, n° 1, pp. 6. DOI 10.1186/s40813-020-0145-6.

RACICOT, M., KOCHER, A., BEAUCHAMP, G., LETELLIER, A. et VAILLANCOURT, J.-P., 2013. Assessing most practical and effective protocols to sanitize hands of poultry catching crew members. In : *Preventive Veterinary Medicine*. août 2013. Vol. 111, n° 1-2, pp. 92-99. DOI 10.1016/j.prevetmed.2013.03.014.

RACICOT, Manon, VENNE, Daniel, DURIVAGE, André et VAILLANCOURT, Jean-Pierre, 2011. Description of 44 biosecurity errors while entering and exiting poultry barns based on video surveillance in Quebec, Canada. In : *Preventive Veterinary Medicine*. juillet 2011. Vol. 100, n° 3-4, pp. 193-199. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.04.011.

RACICOT, Manon, VENNE, Daniel, DURIVAGE, André et VAILLANCOURT, Jean-Pierre, 2012a. Evaluation of strategies to enhance biosecurity compliance on poultry farms in Québec: Effect of audits and cameras. In : *Preventive Veterinary Medicine*. février 2012. Vol. 103, n° 2-3, pp. 208-218. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.08.004.

RACICOT, Manon, VENNE, Daniel, DURIVAGE, André et VAILLANCOURT, Jean-Pierre, 2012b. Evaluation of the relationship between personality traits, experience, education and biosecurity compliance on poultry farms in Québec, Canada. In : *Preventive Veterinary Medicine*. février 2012. Vol. 103, n° 2-3, pp. 201-207. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.08.011.

RAVEL, A, D'ALLAIRE, Sylvie et BIGRAS-POULIN, M, 1996. Importance relative, selon le type d'élevage, de la régie et de l'éleveur sur les performances présevrages. In : *Journées de la recherche porcine en France* [en ligne]. S.l. : s.n. 1996. pp. 295-302. Disponible à l'adresse : <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1996/96txtConduite/C9603.pdf>.

RELUN, A., GUATTEO, R., AUZANNEAU, M. M. et BAREILLE, N., 2013. Farmers' practices, motivators and barriers for adoption of treatments of digital dermatitis in dairy farms. In : *animal*. septembre 2013. Vol. 7, n° 9, pp. 1542-1550. DOI 10.1017/S1751731113000803.

RHODES, Ryan E., JANSSEN, Ian, BREDIN, Shannon S. D., WARBURTON, Darren E. R. et BAUMAN, Adrian, 2017. Physical activity: Health impact, prevalence, correlates and interventions. In : *Psychology & Health*. 3 août 2017. Vol. 32, n° 8, pp. 942-975. DOI 10.1080/08870446.2017.1325486.

RITTER, C, 2015. Factors associated with participation of Alberta dairy farmers in a voluntary, management-based Johne's disease control program. In : . 2015. Vol. 98, n° 11, pp. 15.

RITTER, Caroline, JANSEN, Jolanda, ROCHE, Steven, KELTON, David F., ADAMS, Cindy L., ORSEL, Karin, ERSKINE, Ron J., BENEDICTUS, Geert, LAM, Theo J.G.M. et BARKEMA, Herman W., 2017. Invited review: Determinants of farmers' adoption of management-based strategies for infectious disease prevention and control. In : *Journal of Dairy Science*. mai 2017. Vol. 100, n° 5, pp. 3329-3347. DOI 10.3168/jds.2016-11977.

ROCHE, S.M., KELTON, D.F., MEEHAN, M., VON MASSOW, M. et JONES-BITTON, A., 2019. Exploring dairy producer and veterinarian perceptions of barriers and motivators to adopting on-farm management practices for Johne's disease control in Ontario, Canada. In : *Journal of Dairy Science*. mai 2019. Vol. 102, n° 5, pp. 4476-4488. DOI 10.3168/jds.2018-15944.

ROJO-GIMENO, Cristina, POSTMA, Merel, DEWULF, Jeroen, HOGVEEN, Henk, LAUWERS, Ludwig et WAUTERS, Erwin, 2016. Farm-economic analysis of reducing antimicrobial use whilst adopting improved management strategies on farrow-to-finish pig farms. In : *Preventive Veterinary Medicine*. juillet 2016. Vol. 129, pp. 74-87. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.05.001.

ROSE, N, BEAUDEAU, F, DROUIN, P, TOUX, J. Y, ROSE, V et COLIN, P, 1999. Risk factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* contamination in French broiler-chicken flocks at the end of the rearing period. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 27 avril 1999. Vol. 39, n° 4, pp. 265-277. DOI 10.1016/S0167-5877(99)00002-1.

ROSE, N, BEAUDEAU, F, DROUIN, P, TOUX, J. Y, ROSE, V et COLIN, P, 2000. Risk factors for *Salmonella* persistence after cleansing and disinfection in French broiler-chicken houses. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 29 mars 2000. Vol. 44, n° 1, pp. 9-20. DOI 10.1016/S0167-5877(00)00100-8.

SANDBERG, M., SØRENSEN, L. L., STEENBERG, B., CHOWDHURY, S., ERSBØLL, A. K. et ALBAN, L., 2015. Risk factors for *Campylobacter* colonization in Danish broiler flocks, 2010 to 2011. In : *Poultry Science*. 1 mars 2015. Vol. 94, n° 3, pp. 447-453. DOI 10.3382/ps/peu065.

SANDERSON, Michael W., DARGATZ, David A. et GARRY, Franklyn B., 2000. Biosecurity practices of beef cow-calf producers. In : *Journal of the American Veterinary Medical Association*. juillet 2000. Vol. 217, n° 2, pp. 185-189. DOI 10.2460/javma.2000.217.185.

SARRAZIN, Steven, CAY, Ann Brigitte, LAUREYNS, Jozef et DEWULF, Jeroen, 2014. A survey on biosecurity and management practices in selected Belgian cattle farms. In : *Preventive Veterinary Medicine*. novembre 2014. Vol. 117, n° 1, pp. 129-139. DOI 10.1016/j.prevetmed.2014.07.014.

SASAKI, Y., MURAKAMI, M., MARUYAMA, N., TSUJIYAMA, Y., KUSUKAWA, M., ASAI, T. et YAMADA, Y., 2012. Risk factors for *Salmonella* prevalence in laying-hen farms in Japan. In : *Epidemiology & Infection*. juin 2012. Vol. 140, n° 6, pp. 982-990. DOI 10.1017/S0950268811001506.

SAWABE, Kyoko, HOSHINO, Keita, ISAWA, Haruhiko, SASAKI, Toshinori, HAYASHI, Toshihiko, TSUDA, Yoshio, KURAHASHI, Hiromu, TANABAYASHI, Kiyoshi, HOTTA, Akitoyo, SAITO, Takehiko, YAMADA, Akio et KOBAYASHI, Mutsuo, 2006. Detection and isolation of highly pathogenic H5N1 avian influenza A viruses from blow flies collected in the vicinity of an infected poultry farm in Kyoto, Japan, 2004. In : *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. août 2006. Vol. 75, n° 2, pp. 327-332.

SAYERS, R.G., GOOD, M. et SAYERS, G.P., 2014. A survey of biosecurity-related practices, opinions and communications across dairy farm veterinarians and advisors. In : *The Veterinary Journal*. mai 2014. Vol. 200, n° 2, pp. 261-269. DOI 10.1016/j.tvjl.2014.02.010.

SCHEMANN, K., TAYLOR, M.R., TORIBIO, J.-A.L.M.L. et DHAND, N.K., 2011. Horse owners' biosecurity practices following the first equine influenza outbreak in Australia. In : *Preventive Veterinary Medicine*. décembre 2011. Vol. 102, n° 4, pp. 304-314. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.08.002.

SCHRADER, J. S., SINGER, R. S. et ATWILL, E. R., 2004. A prospective study of management and litter variables associated with cellulitis in California broiler flocks. In : *Avian diseases*. 2004. Vol. 48, n° 3, pp. 522-530.

SCOIZEC, Axelle, NIQUEUX, Eric, THOMAS, Rodolphe, DANIEL, Patrick, SCHMITZ, Audrey et LE BOUQUIN, Sophie, 2018. Airborne Detection of H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza Virus Genome in Poultry Farms, France. In : *Frontiers in Veterinary Science* [en ligne]. 2018. Vol. 5. [Consulté le 11 juin 2018]. DOI 10.3389/fvets.2018.00015. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2018.00015/full#B1>.

SCOTT, Angela Bullanday, PHALEN, David, HERNANDEZ-JOVER, Marta, SINGH, Mini, GROVES, Peter et TORIBIO, Jenny-Ann L. M. L., 2018. Wildlife Presence and Interactions with Chickens on Australian Commercial Chicken Farms Assessed by Camera Traps. In : *Avian Diseases*. 4 janvier 2018. Vol. 62, n° 1, pp. 65-72. DOI 10.1637/11761-101917-Reg.1.

SCOTT, Angela Bullanday, SINGH, Mini, GROVES, Peter, HERNANDEZ-JOVER, Marta, BARNES, Belinda, GLASS, Kathryn, MOLONEY, Barbara, BLACK, Amanda et TORIBIO, Jenny-Ann, 2018. Biosecurity practices on Australian commercial layer and meat chicken farms: Performance and perceptions of farmers. In : *PLOS ONE*. 18 avril 2018. Vol. 13, n° 4, pp. e0195582. DOI 10.1371/journal.pone.0195582.

SHORTALL, O., SUTHERLAND, L., RUSTON, Annmarie et KALER, J., 2018. True cowmen and commercial farmers: Exploring vets' and dairy farmers' contrasting views of 'good farming' in relation to biosecurity. In : . 2018. DOI 10.1111/SORU.12205.

SIEKKINEN, Kirsi-Maarit, HEIKKILÄ, Jaakko, TAMMIRANTA, Niina et ROSENGREN, Heidi, 2012. Measuring the costs of biosecurity on poultry farms: a case study in broiler production in Finland. In : *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2012. Vol. 54, n° 1, pp. 12.

SILVA, Gustavo S., CORBELLINI, Luis G., LINHARES, Daniel L. C., BAKER, Kimberlee L. et HOLTkamp, Derald J., 2018. Development and validation of a scoring system to assess the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRS virus. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 15 novembre 2018. Vol. 160, pp. 116-122. DOI 10.1016/j.prevetmed.2018.10.004.

SILVA, Gustavo S., LEOTTI, Vanessa B., CASTRO, Stela M. J., MEDEIROS, Antonio A. R., SILVA, Ana P. S. P., LINHARES, Daniel C. L. et CORBELLINI, Luis G., 2019. Assessment of biosecurity practices and development of a scoring system in swine farms using item response theory. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 juin 2019. Vol. 167, pp. 128-136. DOI 10.1016/j.prevetmed.2019.03.020.

SIMON-GRIFÉ, M., MARTÍN-VALLS, G.E., VILAR, M.J., GARCÍA-BOCANEGRA, I., MARTÍN, M., MATEU, E. et CASAL, J., 2013. Biosecurity practices in Spanish pig herds: Perceptions of farmers and veterinarians of the most important biosecurity measures. In : *Preventive Veterinary Medicine*. juin 2013. Vol. 110, n° 2, pp. 223-231. DOI 10.1016/j.prevetmed.2012.11.028.

SKINNER, T. C., BRUCE, D. G., DAVIS, T. M. E. et DAVIS, W. A., 2014. Personality traits, self-care behaviours and glycaemic control in type 2 diabetes: the Fremantle diabetes study phase II. In : *Diabetic Medicine: A Journal of the British Diabetic Association*. avril 2014. Vol. 31, n° 4, pp. 487-492. DOI 10.1111/dme.12339.

SMITH, Rebecca L., SANDERSON, Michael W., JONES, Rodney, N'GUESSAN, Yapo, RENTER, David, LARSON, Robert et WHITE, Brad J., 2014. Economic risk analysis model for bovine viral diarrhoea virus biosecurity in cow-calf herds. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 mars 2014. Vol. 113, n° 4, pp. 492-503. DOI 10.1016/j.prevetmed.2013.11.013.

SMITH, Shaun, MESSAM, Locksley L. McV., MEADE, Joseph, GIBBONS, James, MCGILL, Kevina, BOLTON, Declan et WHYTE, Paul, 2016. The impact of biosecurity and partial depopulation on *Campylobacter* prevalence in Irish broiler flocks with differing levels of hygiene and economic performance. In : *Infection Ecology & Epidemiology*. janvier 2016. Vol. 6, n° 1, pp. 31454. DOI 10.3402/iee.v6.31454.

SNIEHOTTA, Falko F., PRESSEAU, Justin et ARAÚJO-SOARES, Vera, 2014. Time to retire the theory of planned behaviour. In : *Health Psychology Review*. 2 janvier 2014. Vol. 8, n° 1, pp. 1-7. DOI 10.1080/17437199.2013.869710.

SNOW, L. C., DAVIES, R. H., CHRISTIANSEN, K. H., CARRIQUE-MAS, J. J., COOK, A. J. C. et EVANS, S. J., 2010. Investigation of risk factors for *Salmonella* on commercial egg-laying farms in Great Britain, 2004–2005. In : *Veterinary Record*. 8 mai 2010. Vol. 166, n° 19, pp. 579-586. DOI 10.1136/vr.b4801.

STAATS, Bradley R., DAI, Hengchen, HOFMANN, David et MILKMAN, Katherine L., 2016. Motivating Process Compliance Through Individual Electronic Monitoring: An Empirical Examination of Hand Hygiene in Healthcare. In : *Management Science*. 5 mai 2016. Vol. 63, n° 5, pp. 1563-1585. DOI 10.1287/mnsc.2015.2400.

STEENEVELD, Wilma, AMUTA, Paul, SOEST, Felix J. S. van, JORRITSMA, Ruurd et HOGVEEN, Henk, 2020. Estimating the combined costs of clinical and subclinical ketosis in dairy cows. In : *PLOS ONE*. 7 avril 2020. Vol. 15, n° 4, pp. e0230448. DOI 10.1371/journal.pone.0230448.

STILLEY, Carol S., SEREIKI, Susan, MULDOON, Matthew F., RYAN, Christopher M. et DUNBAR-JACOB, Jacqueline, 2004. Psychological and cognitive function: predictors of adherence with cholesterol lowering treatment. In : *Annals of Behavioral Medicine: A Publication of the Society of Behavioral Medicine*. avril 2004. Vol. 27, n° 2, pp. 117-124. DOI 10.1207/s15324796abm2702_6.

STOTT, A. W. et GUNN, G. J., 2008. Use of a benefit function to assess the relative investment potential of alternative farm animal disease prevention strategies. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 15 mai 2008. Vol. 84, n° 3-4, pp. 179-193. DOI 10.1016/j.prevetmed.2007.12.001.

SVENSSON, C., LIND, N., REYHER, K. K., BARD, A. M. et EMANUELSON, U., 2019. Trust, feasibility, and priorities influence Swedish dairy farmers' adherence and nonadherence to veterinary advice. In : *Journal of Dairy Science*. novembre 2019. Vol. 102, n° 11, pp. 10360-10368. DOI 10.3168/jds.2019-16470.

SWAYNE, David E., SUAREZ, David L. et SIMS, Leslie D., 2020. Influenza. In : *Diseases of Poultry*. 14th edition. Hoboken, USA : John Wiley and sons, Inc. pp. 210-256. ISBN 978-1-119-37117-5.

THE GLOBAL CONSORTIUM FOR H5N8 AND RELATED INFLUENZA VIRUSES, 2016. Role for migratory wild birds in the global spread of avian influenza H5N8. In : *Science*. 14 octobre 2016. Vol. 354, n° 6309, pp. 213-217. DOI 10.1126/science.aaf8852.

TIBBALLS, J., 1996. Teaching hospital medical staff to handwash. In : *The Medical Journal of Australia*. 1 avril 1996. Vol. 164, n° 7, pp. 395-398.

TOMA, Luiza, STOTT, Alistair W., HEFFERNAN, Claire, RINGROSE, Siân et GUNN, George J., 2013. Determinants of biosecurity behaviour of British cattle and sheep farmers—A behavioural economics analysis. In : *Preventive Veterinary Medicine*. mars 2013. Vol. 108, n° 4, pp. 321-333. DOI 10.1016/j.prevetmed.2012.11.009.

TORREMORELL, Montserrat, ALONSO, Carmen, DAVIES, Peter R., RAYNOR, Peter C., PATNAYAK, Devi, TORCHETTI, Mia et MCCLUSKEY, Brian, 2016. Investigation into the Airborne Dissemination of H5N2 Highly Pathogenic Avian Influenza Virus During the 2015 Spring Outbreaks in the Midwestern United States. In : *Avian Diseases*. mai 2016. Vol. 60, n° 3, pp. 637-643. DOI 10.1637/11395-021816-Reg.1.

UGENT, [sans date]. Accueil | Biocheck.UGent. In : [en ligne]. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://biocheck.ugent.be/fr>.

VAILLANCOURT, Jean-Pierre et CARVER, Donna K., 1998. Biosecurity: Perception is not reality. In : *Poultry Digest*. 1998. Vol. 57, n° 6, pp. 28-36.

VALEEVA, N.I., VAN ASSELDONK, M.A.P.M. et BACKUS, G.B.C., 2011. Perceived risk and strategy efficacy as motivators of risk management strategy adoption to prevent animal diseases in pig farming. In : *Preventive Veterinary Medicine*. décembre 2011. Vol. 102, n° 4, pp. 284-295. DOI 10.1016/j.prevetmed.2011.08.005.

VAN HOOREBEKE, S., VAN IMMERSEEL, F., DE VYLDER, J., DUCATELLE, R., HAESBROUCK, F., PASMANS, F., DE KRUIF, A. et DEWULF, J., 2010. The age of production system and previous Salmonella infections on-farm are risk factors for low-level Salmonella infections in laying hen flocks. In : *Poultry Science*. 1 juin 2010. Vol. 89, n° 6, pp. 1315-1319. DOI 10.3382/ps.2009-00532.

VAN HOOREBEKE, S., VAN IMMERSEEL, F., SCHULZ, J., HARTUNG, J., HARISBERGER, M., BARCO, L., RICCI, A., THEODOROPOULOS, G., XYLOURI, E., DE VYLDER, J., DUCATELLE, R., HAESBROUCK, F., PASMANS, F., DE KRUIF, A. et DEWULF, J., 2010. Determination of the within and between flock prevalence and identification of risk factors for Salmonella infections in laying hen flocks housed in conventional and alternative systems. In : *Preventive Veterinary Medicine*. 1 avril 2010. Vol. 94, n° 1, pp. 94-100. DOI 10.1016/j.prevetmed.2009.11.022.

VAN LIMBERGEN, T, DEWULF, J, KLINKENBERG, M, DUCATELLE, R, GELAUDE, P, MÉNDEZ, J, HEINOLA, K, PAPASOLOMONTOS, S, SZELESZCZUK, P, MAES, D, et ON BEHALF OF THE PROHEALTH CONSORTIUM, 2018. Scoring biosecurity in European conventional broiler production. In : *Poultry Science*. 1 janvier 2018. Vol. 97, n° 1, pp. 74-83. DOI 10.3382/ps/pex296.

VAN STEENWINKEL, Sarah, RIBBENS, Stefaan, DUCHEYNE, Els, GOOSSENS, Els et DEWULF, Jeroen, 2011. Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. In : *Preventive Veterinary Medicine*. mars 2011. Vol. 98, n° 4, pp. 259-270. DOI 10.1016/j.prevetmed.2010.12.004.

VANDE VELDE, F., CHARLIER, J., HUDDERS, L., CAUBERGHE, V. et CLAEREBOU, E., 2018. Beliefs, intentions, and beyond: A qualitative study on the adoption of sustainable gastrointestinal nematode control practices in Flanders' dairy industry. In : *Preventive Veterinary Medicine*. mai 2018. Vol. 153, pp. 15-23. DOI 10.1016/j.prevetmed.2018.02.020.

VANDE VELDE, Fiona, CHARLIER, Johannes et CLAEREBOU, Edwin, 2018. Farmer Behavior and Gastrointestinal Nematodes in Ruminant Livestock—Uptake of Sustainable Control Approaches. In : *Frontiers in Veterinary Science* [en ligne]. 2018. Vol. 5. [Consulté le 9 janvier 2019]. DOI 10.3389/fvets.2018.00255. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2018.00255/full#B71>.

VAN DULMEN, Sandra, SLUIJS, Emmy, VAN DIJK, Liset, DE RIDDER, Denise, HEERDINK, Rob et BENSING, Jozen, 2007. Patient adherence to medical treatment: a review of reviews. In : *BMC Health Services Research*. décembre 2007. Vol. 7, n° 1, pp. 55. DOI 10.1186/1472-6963-7-55.

VOILS, Corrine I., GIERISCH, Jennifer M., YANCY, William S., SANDELOWSKI, Margarete, SMITH, Rose, BOLTON, Jamiyla et STRAUSS, Jennifer L., 2014. Differentiating Behavior Initiation and Maintenance: Theoretical Framework and Proof of Concept. In : *Health Education & Behavior: The Official Publication of the Society for Public Health Education*. juin 2014. Vol. 41, n° 3, pp. 325-336. DOI 10.1177/1090198113515242.

VOLKOVA, Victoriya, THORNTON, Danny, HUBBARD, Sue Ann, MAGEE, Danny, CUMMINGS, Tim, LUNA, Lynne, WATSON, Jim et WILLS, Robert, 2012. Factors associated with introduction of infectious laryngotracheitis virus on broiler farms during a localized outbreak. In : *Avian Diseases*. septembre 2012. Vol. 56, n° 3, pp. 521-528. DOI 10.1637/10046-122111-Reg.1.

WANARATANA, S., AMONSIN, A., CHAISINGH, A., PANYIM, S., SASIPREEYAJAN, J. et PAKPINYO, S., 2013. Experimental Assessment of Houseflies as Vectors in Avian Influenza Subtype H5N1 Transmission in Chickens. In : *Avian Diseases*. juin 2013. Vol. 57, n° 2, pp. 266-272. DOI 10.1637/10347-090412-Reg.1.

WAUTERS, Erwin et ROJO GIMENO, Cristina, 2014. Socio-psychological veterinary epidemiology: a new discipline for an old problem? In : . S.l. : s.n. 2014.

WELLS, S. J., KROMM, M. M., VANBEUSEKOM, E. T., SORLEY, E. J., SUNDARAM, M. E., VANDERWAAL, K., BOWERS, J. W. J., PAPINAHU, P. A., OSTERHOLM, M. T. et BENDER, J., 2017. Epidemiologic Investigation of Highly Pathogenic H5N2 Avian Influenza Among Upper Midwest U.S. Turkey Farms, 2015. In : *Avian Diseases*. juin 2017. Vol. 61, n° 2, pp. 198-204. DOI 10.1637/11543-112816-Reg.1.

WHO, 2017. OMS | L'approche multisectorielle de l'OMS «Un monde, une santé». In : *WHO* [en ligne]. septembre 2017. [Consulté le 16 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.who.int/features/qa/one-health/fr/>.

WIDMER, Andreas F. et WEINSTEIN, A., 2000. Replace Hand Washing with Use of a Waterless Alcohol Hand Rub? In : *Clinical Infectious Diseases*. 1 juillet 2000. Vol. 31, n° 1, pp. 136-143. DOI 10.1086/313888.

WILLOCK, Joyce, DEARY, Ian J., MCGREGOR, Murray M., SUTHERLAND, Alister, EDWARDS-JONES, Gareth, MORGAN, Oliver, DENT, Barry, GRIEVE, Robert, GIBSON, Gavin et AUSTIN, Elizabeth, 1999. Farmers' Attitudes, Objectives, Behaviors, and Personality Traits: The Edinburgh Study of Decision Making on Farms. In : *Journal of Vocational Behavior*. février 1999. Vol. 54, n° 1, pp. 5-36. DOI 10.1006/jvbe.1998.1642.

WITT, Jessica et GREEN, Laura, 2018. Development and assessment of management practices in a flock-specific lameness control plan: A stepped-wedge trial on 44 English sheep flocks. In : *Preventive Veterinary Medicine*. septembre 2018. Vol. 157, pp. 125-133. DOI 10.1016/j.prevetmed.2018.06.013.

WYER, Mary, JACKSON, Debra, IEDEMA, Rick, HOR, Su-Yin, GILBERT, Gwendolyn L, JORM, Christine, HOOKER, Claire, O'SULLIVAN, Matthew Vincent Neil et CARROLL, Katherine, 2015. Involving patients in understanding hospital infection control using visual methods. In : *Journal of Clinical Nursing*. juin 2015. Vol. 24, n° 11-12, pp. 1718-1729. DOI 10.1111/jocn.12779.

YATABE, Tadaishi, MORE, Simon J., GEOGHEGAN, Fiona, MCMANUS, Catherine, HILL, Ashley E. et MARTÍNEZ-LÓPEZ, Beatriz, 2018. Can biosecurity and local network properties predict pathogen species richness in the salmonid industry? In : *PLOS ONE*. 30 janvier 2018. Vol. 13, n° 1, pp. e0191680. DOI 10.1371/journal.pone.0191680.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS ORALES

Articles publiés en tant que premier auteur dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

Delpont M., Racicot M., Durivage A., Fornili L., Guerin J.L., Vaillancourt J.L., Paul M.C. Determinants of biosecurity practices in French duck farms after a H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza epidemic: The effect of farmer knowledge, attitudes and personality traits. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2020. DOI : 10.1111/tbed.13462

Delpont M, Blondel V, Robertet L Duret H, Vaillancourt J-P, Guerin JL, Paul M.C. Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France. *Preventive Veterinary Medicine*, 2018. 158 :78-88. DOI : 10.1016/j.prevetmed.2018.07.012

Delpont, M., Guinat, C, Guérin, J-L, Le Ieu, E, Peyrat, M-B, Vaillancourt, J-P, Paul, M-C. Biosecurity measures in French poultry farms are associated with farm type and location . *en soumission à Preventive Veterinary Medicine*

Articles publiés en tant que co-auteur dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

Guinat, C, Comin, A, Kratzer, G, Durand, B, Delesalle, L, Delpont, M, Guérin, J-L et Paul, M C., 2020. Biosecurity risk factors for highly pathogenic avian influenza (H5N8) virus infection in duck farms, France. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2020. 67(6) :2961-2970. DOI <https://doi.org/10.1111/tbed.13672>.

Articles publiés en tant que premier auteur ou co-auteur dans des communications professionnelles

Paul, M. C., Delpont, M., Racicot, M., Guérin, J-L. et Vaillancourt, J-P., 2018. Enjeux et déterminants liés à l'observance des mesures de biosécurité en élevage dans la lutte contre l'épizootie d'influenza aviaire H5N8, 2016-2017. In : *Journée AEEMA 30 mai 2018* [en ligne].

S.I. : s.n. 2018. Disponible à l'adresse : <http://web.vet-alfort.fr/index.php/2013-04-12-00-44-00/epidemiologie-et-sante-animale/2018/804-2018-73-sommaire>.

Vaillancourt J-P., Racicot M., Delpont M., Paul M. C. , Guérin J-L., Waret-Szkuta A., Martineau G-P. La nécessité d'une approche régionale de la biosécurité. Le Nouveau Praticien Vétérinaire, Elevages et Santé, 2018. 40(10).

Delpont M., Racicot M., Paul M. C., Guérin J-L., Vaillancourt J-P. 2018. L'observance de la biosécurité en élevage avicole. Le Nouveau Praticien Vétérinaire, Elevages et Santé, 2018. 40(10).

Conférences présentées à des congrès scientifiques français et internationaux

Delpont M., Racicot M., Durivage A., Fornili L., Guerin J.L., Vaillancourt J.L., Paul M.C. Determinants of biosecurity compliance on French duck farms: the role farmer's knowledge, attitude and personality traits. Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine (SVEPM) - conference and annual meeting, Utrecht, The Netherlands, March, 2019.

Delpont M., Racicot M., Durivage A., Fornili L., Guerin J.L., Vaillancourt J.L., Paul M.C. Observance de la biosecurite chez les eleveurs de canards prêts-a-gaver. Treizièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, mars 2019

Delpont M., Racicot M., Durivage A., Fornili L., Guerin J.L., Vaillancourt J.L., Paul M.C. Influence des connaissances, attitudes et traits de personnalité sur l'observance des mesures de biosécurité en élevages de canards prêts-à-gaver. INRA, Journées d'animation scientifique, Département Santé Animale, Nantes, France, octobre 2018.

Delpont M., Racicot M., Durivage A., Fornili L., Guerin J.L., Vaillancourt J.L., Paul M.C. The effect of knowledge, attitudes and personality traits on biosecurity compliance in French duck farms following a HPAI crisis. 15th International Symposium of Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE), Chiang Mai, Thailand, November, 2018.

Delpont M., Blondel V., Robertet L., Duret H., Guerin J.L., Vaillancourt J.P., Paul M.C. Patterns of biosecurity practices on French duck farms before the 2015-2017 HPAI Outbreaks. 10th International Symposium on Avian Influenza, Brighton, United Kingdom, April, 2018.

Delpont M., Blondel V., Robertet L., Duret H., Guerin J.L., Vaillancourt J.P., Paul M.C. Biosecurity practices in foie-gras duck farms, South West of France. XXth World Veterinary Poultry Association Congress (WVPAC), Edimburgh, United Kingdom, 2017.

Delpont M, Blondel V, Robertet L Duret H, Vaillancourt J-P, Guerin JL, Paul M.C.. Etude descriptive des pratiques de biosecurite dans les elevages de palmipedes a foie gras dans le sud-ouest de la France. Douzièmes journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras, Tours, avril 2017

Conférences présentées lors de rencontres professionnelles

Delpont, M. Décrire, expliquer et améliorer l'observance de la biosécurité en élevages de canards. ITAVI, 6ème Journée des Palmipèdes à Foie Gras, en ligne, 2020

Delpont, M. Amélioration des pratiques de biosécurité en élevage de canards PAE. Commission sanitaire du Comité interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras, 2020

Delpont, M. Etude des déterminants associés à l'observance de la biosécurité en élevage de canards PAG. Commission sanitaire du Comité interprofessionnel des Palmipèdes à Foie Gras, 2018

ANNEXES

Annexe 1. Grille d'inspection publiée dans l'instruction technique DGAL/SDSPA/2017-756 du 22 septembre 2017.

Nom ou Raison sociale de l'exploitation						
Numéro SIRET de l'exploitation						
Adresse						
Date de l'inspection						
Nom Prénom de l'inspecteur de la DDecPP ayant effectué l'inspection						
VOLET 1 : CONTRÔLE DOCUMENTAIRE DU SITE D'EXPLOITATION						
1 Documentation du plan de biosécurité	Référence réglementaire	Commentaires	A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
1.1 Existence d'un plan de biosécurité :						
Adaptation du plan de biosécurité à l'exploitation y compris risques liés à la détention de volailles non commerciales ou oiseux sauvages captifs	Art 2.1 & annexe					
1.2 Éléments constitutifs du plan de biosécurité						
1.3 Éléments de biosécurité du registre d'élevage						
1.4 Autres enregistrements (hors registre d'élevage)						
1.5 Certificat de formation en biosécurité du détenteur du personnel permanent	Art 9 & annexe					
1.6 Présence et connaissance des critères d'alerte du Vétérinaire Sanitaire	Art 5 de l'AM du 16/03/2016 & AM du 05/06/2000					
VOLET 2 : CONTRÔLE SUR LE TERRAIN (visite du site de production)						
Espèces détenues sur le site d'exploitation :		Canards <input type="checkbox"/> Oies <input type="checkbox"/> Gallinacées <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/> Préciser				
Type(s) d'atelier(s)		Démarrage <input type="checkbox"/> PAG <input type="checkbox"/> Gavage <input type="checkbox"/> Élevage Canards maigres <input type="checkbox"/> Gibiers à plumes <input type="checkbox"/> Volaille de chair <input type="checkbox"/> Poules pondeuses <input type="checkbox"/> Autre (futurs reproducteurs, reproducteurs, couvoir, ...), indiquer le(s) type(s) d'atelier : Basse-cour <input type="checkbox"/> Détention d'appelants <input type="checkbox"/>				

Numéros des INUAV inspectés						
2 Généralités sur le zonage et les flux d'activités	Référence réglementaire		A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
!! 2.1 Définition et délimitation des zones du site d'exploitation Définition cohérente des zones par rapport au contexte Zones matérialisées et signalées	Art 1 (p q, r, s), Art 3					
!! 2.2 Plan de circulation Existence d'un plan de circulation	Art 3					
2.3 Gestion des flux (animaux, intrants, matériel, produits, sous-produits) Absence de croisement des flux dans l'espace et/ou dans le temps	Art 2, Art 3 & annexe					
!! 2.4 Moyens de nettoyage et désinfection des véhicules prévus en cas de passage du site d'exploitation en zone réglementée	Art 3					
!! 2.5 Absence de véhicules non indispensables au	Art 3					

fonctionnement de l'exploitation en ZPRO et/ou absence de véhicules entrant en Zone d'élevage						
2.6 Aire bétonnée ou stabilisée pour le bac d'équarrissage en limite du site d'exploitation, permettant à l'équarrisseur de collecter les cadavres sans rentrer en zone professionnelle.	Art 4					
3 Unités de Production (UP)	Référence réglementaire	Commentaires	A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
!! 3.1 Définition et délimitation UP identifiée (s), définie(s) et physiquement délimitée(s)	Art 1 définitions (h),					
3.2 Conduite en Bande Unique par unité de production						
<ul style="list-style-type: none"> !! 3.2.1 Introduction des lots dans la même période 	Art 1 définitions (j) et Article 8					
<ul style="list-style-type: none"> !! 3.2.2 Stade physiologique homogène 						
<ul style="list-style-type: none"> !! 3.2.3 Absence de mélange de palmipèdes avec d'autres espèces de volailles 	Article 8					
<ul style="list-style-type: none"> !! 3.2.4 Absence de contact direct entre oiseaux d'exploitation commerciale et oiseaux d'exploitation non commerciale 	Art 12					
<ul style="list-style-type: none"> 3.2.5 Surveillance quotidienne des bâtiments, des parcours et des animaux 	Art 4					

3.3 Sas et utilisation						
!! 3.3.1 Conception et équipement (séparation entre zone sale et zone propre, facilement nettoyable et désinfectable, lavabo,...)	Art 5					
!! 3.3.2 Utilisation et procédures (présence de tenues de rechange dédiées ou à usage unique, présence de savon et d'eau courante pour se laver les mains,...)						
!! 3.3.3 Procédures de biosécurité mises en œuvre pour les équipes d'intervention (ramassage, vaccination...)	Art 3					
3 Unités de Production (UP)	Référence réglementaire	Commentaires	A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
3.4 Conception et entretien des bâtiments et matériels						
• 3.4.1 Aptitude au nettoyage et à la désinfection des bâtiments.	Art 5					
• 3.4.2 Accessibilité des circuits d'aération, d'abreuvement, d'alimentation et d'évacuation des lisiers, fumiers et fientes						
• 3.4.3 Entretien des abords des bâtiments						
• 3.4.4 Soubassements lisses et pente sur le sol en absence de pratiques de paillage						
• 3.4.5 Matériel dédié par unité de production ou nettoyage et désinfection après utilisation	Art 5 et Art 8					

3.5 Conception et entretien des parcours						
• 3.5.1 Parcours bien entretenus et sans stockage de matériel	Art 5					
• 3.5.2 Aptitude au nettoyage et à la désinfection des abris, des systèmes d'alimentation et d'abreuvement et de leur aire d'installation						
• 3.5.3 Clôtures bien entretenues, évitant tout contact entre volailles d'unités de production différentes						
4 Protection vis-à-vis des autres animaux domestiques, des nuisibles et de l'avifaune sauvage		Commentaires	A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
• 4.1 Absence d'animaux domestiques en zone d'élevage hors chiens de travail	Art 3					
• !! 4.2 Efficacité des mesures de protection des dispositifs d'alimentation et d'abreuvement (dispositifs extérieurs d'alimentation couverts d'un toit)	Art 5					
• !! 4.3 Protection des bâtiments (grillages, accès clos, étanchéité...)	Art 3					
• 4.4 Alimentation à l'intérieur des bâtiments entre le 15 novembre et le 15 janvier dans les exploitations ≥ 3200 PAG	Art 7					

<ul style="list-style-type: none"> !! 4.5 Absence de claustration en cas de passage en niveau de risque élevé (sauf dérogation). Pas de dérogation possible si effectif \geq 3200 palmipèdes en plein air 	Art 7					
5 Lutte contre les nuisibles						
<ul style="list-style-type: none"> 5.1 Présence d'un protocole de lutte 	Art 3					
<ul style="list-style-type: none"> 5.2 Enregistrements des interventions 						
6 Nettoyage et Désinfection		Commentaires	A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
<ul style="list-style-type: none"> !! 6.1 Evaluation des pratiques de nettoyage et désinfection 	Art 5, Art 6, Art 10					
<ul style="list-style-type: none"> !! 6.2 Protocole de N/D, incluant les autocontrôles Enregistrements des N/D effectués et des résultats des autocontrôles, suites données aux résultats défavorables 						

<ul style="list-style-type: none"> !! Protocole et durées des vides sanitaires 						
7 Gestion des intrants						
<ul style="list-style-type: none"> !! 7.1 Mesures de protection du stockage des aliments 	Art 5					
<ul style="list-style-type: none"> !! 7.2 Mesures de protection du stockage de litière 	Art 4					
8 Gestion des sous-produits		Commentaires	A : Conforme	B : Non-conformité mineure	C : Non conformité moyenne	D : Non conformité majeure
8.1 Gestion des lisiers, fumiers et fientes						
<ul style="list-style-type: none"> 8.1.1 Conditions de stockage 	Art 6					
<ul style="list-style-type: none"> 8.1.2 Modalités en cas assainissement naturel, rapide ou par traitement 						

<ul style="list-style-type: none"> • 8.1.3 Modalités en cas d'enfouissement d'effluents non assainis 	Art 11					
9 Gestion des cadavres						
<ul style="list-style-type: none"> • 9.1 Collecte quotidienne des cadavres 	Art 4					
<ul style="list-style-type: none"> • 9.2 Conditions de conservation des cadavres 						
<ul style="list-style-type: none"> • 9.3 Gestion du bac d'équarrissage 						
<ul style="list-style-type: none"> • 10 Gestion des sous-produits animaux autres que les cadavres et les lisiers 						
<ul style="list-style-type: none"> • 10.1 Élimination vers des installations agréées 						

Synthèse et commentaires :

.....
.....
.....
.....

Évaluation globale du site d'exploitation :

- conforme
non conformité mineure
non conformité moyenne
non conformité majeure

NB : choix exhaustif, ne cocher qu'une seule case.

Nom de l'inspecteur :

Signature :

Annexe 2. Questionnaire des connaissances et attitudes utilisé dans l'étude sur les déterminants de l'observance de la biosécurité en élevage de canards prêts-à-engrais

CONNAISSANCES ET ATTITUDES ENVERS L'INFLUENZA AVIAIRE ET LA
BIOSECURITE

→ DETERMINANTS_KA


A saisir par l'éleveur pendant la visite

Sauf indication contraire, une seule réponse est possible pour chaque question ou sous-question
Certaines questions sont en fait des affirmations dont vous direz dans quelle mesure vous êtes d'accord : avec 1 = « pas du tout d'accord » et 5 = « Complètement d'accord »


Numéro du questionnaire :

1. Vous êtes : **un homme** **une femme**
2. Depuis combien de temps travaillez-vous dans l'aviculture ? ... **années**
3. Quel est votre niveau d'études ?
 Avant le baccalauréat
 Baccalauréat
 Etudes post-bac → ... années.

4. Je me **sens en sécurité** vis-à-vis de l'Influenza Aviaire.


Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

5. Adopter des bonnes pratiques de biosécurité à l'échelle de mon exploitation **suffit** à prévenir l'Influenza Aviaire dans mon exploitation.

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

6. Avez-vous consulté les fiches biosécurité de l'ITAVI ? **oui** **non** **je ne sais pas de quoi il s'agit**


7. Les mesures de biosécurité proposées par les guides bonnes pratiques (ex : fiches ITAVI) sont **exagérées**.

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

8. Avez-vous consulté les textes réglementaires sur la biosécurité ? **oui** **non**

9. Les efforts déployés par les autorités sanitaires sont **suffisants** pour éviter une prochaine crise sanitaire.

Pas du tout

1 2 3 4 5 

Complètement

Dans un même cadre, plusieurs réponses sont possibles:

10. A combien de formations sur la biosécurité avez-vous participé ? Aucune 1 2 3

Formation 1

Durée	<input type="checkbox"/> ½ journée <input type="checkbox"/> 1 jour <input type="checkbox"/> 2 jours
Intervenants	<input type="checkbox"/> Vétérinaire travaillant en aviculture <input type="checkbox"/> Vétérinaire ne travaillant pas en aviculture <input type="checkbox"/> Technicien de la chambre d'agriculture <input type="checkbox"/> Technicien de l'organisation de production
Contenu	<input type="checkbox"/> Virus Influenza Aviaire <input type="checkbox"/> Principes de biosécurité <input type="checkbox"/> Présentation de la réglementation <input type="checkbox"/> Présentation des supports techniques sur la biosécurité (ex : fiches ITAVI) <input type="checkbox"/> Elaboration de votre propre plan de biosécurité <input type="checkbox"/> Elaboration de votre propre plan de biosécurité après visite de votre exploitation

Formation 2 (éventuellement)

Durée	<input type="checkbox"/> ½ journée <input type="checkbox"/> 1 jour <input type="checkbox"/> 2 jours
Intervenants	<input type="checkbox"/> Vétérinaire travaillant en aviculture <input type="checkbox"/> Vétérinaire ne travaillant pas en aviculture <input type="checkbox"/> Technicien de la chambre d'agriculture <input type="checkbox"/> Technicien de l'organisation de production
Contenu	<input type="checkbox"/> Virus Influenza Aviaire <input type="checkbox"/> Principes de biosécurité <input type="checkbox"/> Présentation de la réglementation <input type="checkbox"/> Présentation des supports techniques sur la biosécurité (ex : fiches ITAVI) <input type="checkbox"/> Elaboration de votre propre plan de biosécurité <input type="checkbox"/> Elaboration de votre propre plan de biosécurité après visite de votre exploitation

Formation 3 (éventuellement)


Durée	<input type="checkbox"/> ½ journée <input type="checkbox"/> 1 jour <input type="checkbox"/> 2 jours
Intervenants	<input type="checkbox"/> Vétérinaire travaillant en aviculture <input type="checkbox"/> Vétérinaire ne travaillant pas en aviculture <input type="checkbox"/> Technicien de la chambre d'agriculture <input type="checkbox"/> Technicien de l'organisation de production
Contenu	<input type="checkbox"/> Virus Influenza Aviaire <input type="checkbox"/> Principes de biosécurité <input type="checkbox"/> Présentation de la réglementation <input type="checkbox"/> Présentation des supports techniques sur la biosécurité (ex : fiches ITAVI) <input type="checkbox"/> Elaboration de votre propre plan de biosécurité <input type="checkbox"/> Elaboration de votre propre plan de biosécurité après visite de votre exploitation

11. La biosécurité sur votre exploitation a-t-elle déjà été inspectée par un agent de la DD(CS)PP ?
 oui **non**
12. Est-ce que votre site de production a été un foyer d'Influenza Aviaire faiblement ou hautement pathogène ? **oui** **non**
13. En dehors de la formation en biosécurité, pour établir/améliorer vous votre plan de biosécurité, vous avez été aidé par Plusieurs réponses possibles :
 un technicien d'élevage
 un vétérinaire
 un agent de la DD(CS)PP
 un autre éleveur
 un représentant commercial
 autre : veuillez préciser : _____


14. Qui travaille dans votre exploitation sur l'atelier canards (indiquez le nombre dans chaque case)?

	salarié	propriétaire
Temps plein		
Temps partiel		

15. Les informations qu'on me donne sur la biosécurité, et provenant de différentes sources, vont dans le même sens, elles ne sont pas contradictoires.

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

16. Il y a trop d'information sur la biosécurité.

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement


17. Quelles sont les sources de conseils auxquelles vous faites **le plus confiance**
Pour chaque proposition, donnez une note de 1 à 5 avec **5 = très bonne confiance**

<input type="checkbox"/>	Médias généralistes (télévision, radio, journaux nationaux ou régionaux)
<input type="checkbox"/>	Presse professionnelle
<input type="checkbox"/>	Autorités sanitaires (DD(CS)PP, GDS)
<input type="checkbox"/>	Vétérinaires
<input type="checkbox"/>	Techniciens de la chambre d'agriculture
<input type="checkbox"/>	Techniciens des organisations de production
<input type="checkbox"/>	Autres éleveurs
<input type="checkbox"/>	Agents commerciaux (laboratoires pharmaceutiques, produits d'entretien)

18. Quelles sont les sources d'information que **vous préféreriez utiliser** pour des informations sur la biosécurité
Pour chaque proposition, donnez une note de 1 à 5 avec **5 = moyen privilégié**

<input type="checkbox"/>	Médias généralistes (télévision, radio, journaux nationaux ou régionaux)
<input type="checkbox"/>	Presse professionnelle
<input type="checkbox"/>	Recevoir des courriers (papier)
<input type="checkbox"/>	Recevoir des e-mails
<input type="checkbox"/>	Réunions d'éleveurs
<input type="checkbox"/>	Faire une recherche internet sur un moteur de recherche. Par exemple, Google ©
<input type="checkbox"/>	Visite du technicien ou du vétérinaire
<input type="checkbox"/>	Livres, encyclopédies
<input type="checkbox"/>	Publications scientifiques
<input type="checkbox"/>	Lire un texte réglementaire
<input type="checkbox"/>	Affiches (ex : dans le sas)

19. Les règles de biosécurité doivent être **les mêmes** dans toutes les exploitations de canard PAG et à gaver, quel que soit le contexte (période, lieu, filière).

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

20. Être indemne d'Influenza Aviaire est important pour ma **réputation**.

Pas du tout

1 2 3 4 5

Complètement

21. Pensez-vous qu'il existe un **vaccin** contre l'Influenza Aviaire **chez les canards** ?

- oui, il suffit à empêcher sa propagation**
- oui, mais il ne suffit pas à empêcher sa propagation**
- non**
- ne sais pas**

22. Pensez-vous qu'il existe un **traitement** médicamenteux contre l'Influenza aviaire ?

- oui**
- non**
- ne sais pas**

23. Il est **envisageable** de changer de **bottes** à **chaque fois** que je passe dans un sas.

Pas du tout

1 2 3 4 5

Complètement

24. Il est **envisageable** de se laver les **main**s avec du savon à **chaque fois** que je passe dans un sas

Pas du tout


1 2 3 4 5

Complètement


25. Peuvent **transmettre** l'Influenza Aviaire :

des oiseaux d'élevage présentant des signes cliniques	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
des oiseaux d'élevage ne présentant pas de signes cliniques	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
des oiseaux sauvages	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
Les sangliers	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
le bétail	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les humains infectés par la grippe saisonnière	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les habits d'un humain qui a été en contact avec des animaux ou substances contaminées	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les bottes d'un humain qui a été en contact avec des animaux ou substances contaminées	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les mains qui ont été en contact avec des animaux ou substances contaminées	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
du matériel qui a été en contact avec des animaux ou substances contaminées	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
la mère d'un canard que vous élevez (transmission dans l'œuf)	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les plumes d'un oiseau infecté	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les fientes d'un oiseau infecté	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
les sécrétions nasales et les expectorations (toux) d'un oiseau infecté	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
le cadavre d'un oiseau infecté	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
des poussières ou aérosols contaminés	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
des insectes	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas
des rongeurs	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> je ne sais pas

26. Les mesures de biosécurité me permettront de lutter contre **d'autres maladies** que l'Influenza Aviaire

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement


27. Les mesures de biosécurité permettent **d'augmenter mes résultats** de production. Ex : meilleur **indice** de consommation, diminution de la **mortalité**, moindre coût des **traitements**

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement


28. L'agent de l'Influenza Aviaire peut persister plus facilement :

dans un environnement	<input type="checkbox"/> sec <input type="checkbox"/> humide <input type="checkbox"/> Indifféremment <input type="checkbox"/> je ne sais pas
Dans un environnement	<input type="checkbox"/> chaud <input type="checkbox"/> froid <input type="checkbox"/> indifféremment <input type="checkbox"/> je ne sais pas
Sur une surface	<input type="checkbox"/> lisse <input type="checkbox"/> poreuse <input type="checkbox"/> indifféremment <input type="checkbox"/> je ne sais pas
En présence de matière organique (terre, fientes)	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> indifféremment <input type="checkbox"/> je ne sais pas

29. Certains **aménagements** pour la biosécurité demandent **peu** d'investissements

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement


30. Si un prestataire de service ne respecte pas l'utilisation du sas (réparateur, vaccinateur, attrapeur), je le **lui fais remarquer**

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement


31. La biosécurité sert à : Plusieurs réponses possibles

- Prévenir l'arrivée d'agents pathogènes sur site**
- Prévenir la sortie d'agents pathogènes du site**
- Prévenir la circulation d'agents pathogènes sur site**
- Prévenir la persistance d'agents pathogènes sur site**

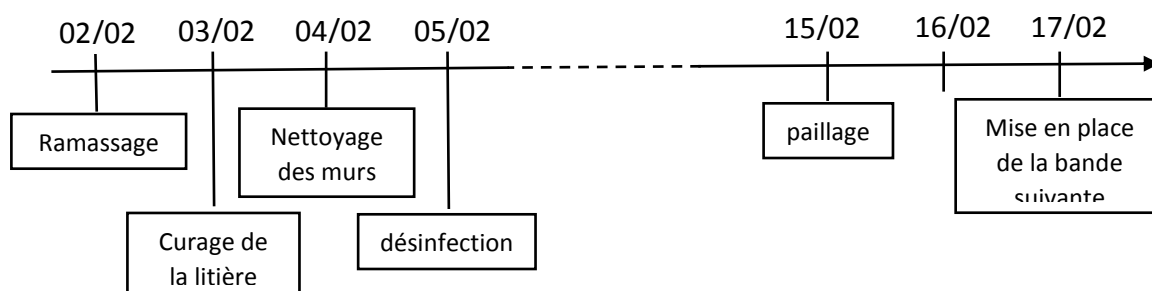
32. Même s'il fait très **chaud** je suis prêt à mettre une **blouse/cotte/combinaison** pour aller visiter une bande de canards

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

33. Le fait d'élever des oiseaux en plein-air rend **inefficace** les mesures de biosécurité

Pas du tout 1 2 3 4 5  Complètement

34. Concernant le scénario ci-dessous, combien de temps a duré le **vide sanitaire** :



Réponse :

- 15 jours
- 14 jours
- 13 jours
- 12 jours
- je ne sais pas

35. Les éleveurs ont un rôle à jouer dans la **santé publique**

Pas du tout 1 2 3 4 5 Complètement

36. Je suis sensible au fait que je puisse faire courir un **risque** à d'autres exploitations

Pas du tout 1 2 3 4 5 Complètement

37. A propos des **désinfectants** :

- Ils sont plus efficaces en présence de matière organique
 oui non ça ne change rien je ne sais pas
- Ils sont plus efficaces à chaud
 oui non ça ne change rien je ne sais pas
- Il vaut mieux rincer après leur application
 oui non ça ne change rien je ne sais pas

38. **Certaines** pratiques de biosécurité permettent de me faire **gagner du temps**, car elles me permettent de mieux organiser mon travail.

Pas du tout 1 2 3 4 5 Complètement

39. Je me sens **coupable** si mon exploitation devient foyer d'Influenza Aviaire

Pas du tout 1 2 3 4 5 Complètement

40. Si le **risque** épidémique est **plus élevé** (cas déclarés dans la région), je **renforce** mes pratiques de biosécurité :

Pas du tout

1 2 3 4 5

Complètement

41. Qu'est-ce qui va avoir **le plus d'effet** pour que vous adoptiez des pratiques de biosécurité ? Classez par ordre d'importance chaque proposition (numérotez, avec 1 = le plus important)

	C'est la loi donc je le fais
	Je reçois un bonus
	Je reçois un malus (pénalité financière)
	J'y gagne financièrement puisque mes oiseaux seront en meilleure santé

Annexe 3. Questionnaire d'évaluation des pratiques de biosécurité dans l'étude de l'observance de la biosécurité en élevage de canards prêts-à-engraisser

« DETERMINANTS_P_ELEVEUR »
PRATIQUES DE BIOSECURITE EN ELEVAGES « DEMARRAGE ET CROISSANCE-
FINITION » DE CANARDS A FOIE-GRAS

A remplir par l'enquêteur en présence de l'éleveur

Sauf indication contraire, il n'y a qu'une réponse par question ou sous-question

Identification de l'exploitation :

- 1) Numéro du questionnaire : _____
- 2) Nom de l'enquêteur : _____
- 3) Date : _____
- 4) Nom puis prénom de l'éleveur : _____
- 5) Raison sociale de l'exploitation (exemple : GAEC des Buissons) :

- 6) Si disponible donner
 - a. Le numéro EDE : _____
 - b. Le numéro SIRET : _____

7) Organisation de production :

- Canards d'Auzan**
- Euralis Sud Ouest**
- Lur Berri**
- Palmitou**
- Maïsadour – Provif**
- Maïsadour – Canadour**
- Maïsadour – Excel**
- Maïsadour – Coquadour**
- Maïsadour (autre)**
- La Quercynoise**
- Sanders Euralis**
- Sanders Perigord – Aviservices**
- Vivadour**
- Terres du Sud**
- Arterris**
- Agroplam**
- COPPAC**
- SCA Foie Gras de Chalosse**
- CEPPAG**
- Autre : _____**

8) De combien de sites* se compose l'exploitation ?

Site de production : Dans une exploitation, ensemble continu de structures associées à l'élevage d'une même espèce. Par exemple, plusieurs sites vont être séparés par le passage d'une voie publique dans une exploitation

1 2 3

9) Adresse de l'exploitation

- Rue ou lieu-dit
- Code Postal
- Commune

10) Adresse de l'exploitation (2^{ème} site, éventuellement)

- Rue ou lieu-dit
- Code Postal
- Commune

11) Adresse de l'exploitation (3^{ème} site, éventuellement)

- Rue ou lieu-dit
- Code Postal
- Commune

12) Commentaires :

Itinéraire technique et locaux

13) Votre domicile est-il situé sur le même site que l'élevage ?

- Non**
- Oui, et voie d'accès domicile et élevage ne sont pas confondues**
- Oui, et voie d'accès domicile et élevage sont confondues**

14) Bâtiments

Numéro du bâtiment	Numéro du site	utilisation					Le parcours associé est-il arboré ? (parcours complètement découvert / quelques arbres-buissons isolés / zones boisées en proportion importante)
		Démarrage seulement <i>cocher</i>	Démarrage + croissance-finition <i>cocher</i>	Croissance-finition <i>cocher</i>			
				Bâtiment « clos »	Bâtiment « ouvert ». Exemple : tunnel sans pignon	Parcours sans abri	

15) Vous élevez les canards en :

- bande unique **sur site** : Jamais plus d'un seul âge de canards dans tous les sites
- bande multiple **sur site** : possibilité d'avoir plusieurs âges de canards en même temps sur au moins un site

Bande : groupe d'animaux **du même âge** (à quelques jours près) arrivés en même temps (à quelques jours près) dans le site de production et élevés dans une **même unité de lieu**.

16) Quelle est le nombre de bandes de canards que vous aurez **mis en place** entre le 1^{er} janvier 2018 et le 31 décembre 2018: _____ bandes

17) Quelle est la taille habituelle des bandes que vous aurez **mis en place** entre le 1^{er} janvier 2018 et le 31 décembre 2018: _____ canards

18) Commentaires :

Flux de personnes et de véhicules

19) Depuis le 1^{er} janvier 2018, changez-vous de tenue pour aller visiter chaque bande de canards ?

Rarement **systématiquement***

** : on peut inclure dans cette catégorie les éleveurs qui oublient occasionnellement. En revanche, une personne que ne se change que pendant la période de démarrage rentrera dans la catégorie « rarement »*

20) Depuis le 1^{er} janvier 2018, changez-vous **systématiquement** de bottes/sabots/chaussures pour aller visiter chaque bande de canards ?

Non **Oui**

21) A l'occasion des deux dernières bandes :

Les pédiluves n'ont jamais été utilisés

Un pédiluve est rarement utilisé

Un pédiluve est systématiquement utilisé

22) Si vous utilisez un pédiluve, contient-il une brosse ? **Non** **Oui**

23) A l'occasion des deux dernières bandes, si vous utilisez un pédiluve :

Il est changé une fois par bande

Il est changé plusieurs fois par bande (ex : quand il est jugé sale)

Il est changé tous les jours

24) Le registre des visiteurs est-il rempli systématiquement? **Non** **Oui**

25) Changement de tenue des participants à la vaccination ou au ramassage pour les **2 dernières bandes** (terminées)

	A participé à		Vêtements (Pas de tenue limitée à la ferme exigée/ Tenue limitée à la ferme (changement des vêtements / Port tenue couvrante par-dessus leurs vêtement (cotte jetable, cote en tissu limitée à la ferme))	En contact avec des volailles (élevage commercial, basse-cour) ? (non, je ne sais pas, oui)
Prestataire extérieur	<input type="checkbox"/> la vaccination			Oui (d'office)
	<input type="checkbox"/> à l'attrapage			Oui (d'office)
	<input type="checkbox"/> autre : _____			
Salarié	<input type="checkbox"/> la vaccination			
	<input type="checkbox"/> à l'attrapage			
	<input type="checkbox"/> autre : _____			
Famille	<input type="checkbox"/> la vaccination			
	<input type="checkbox"/> à l'attrapage			
	<input type="checkbox"/> autre : _____			
Voisins, amis, entraide agricole	<input type="checkbox"/> la vaccination			
	<input type="checkbox"/> à l'attrapage			
	<input type="checkbox"/> autre : _____			

26) Y a-t-il un quai de chargement des canards ? **Non** **Oui**

27) En combien de fois les canards sont-ils partis en gavage à l'issue de la dernière bande (nombre de ramassages différents) ?
 1 **2** **3** **4** **Plus de 4**

28) Depuis le 1^{er} janvier 2018, au départ des canards PAG, est-il arrivé que des camions contiennent déjà des canards issus d'un autre élevage ?

Non **Oui**

29) Existe-t-il actuellement une aire de lavage **avec point d'eau** pour les véhicules (internes à l'exploitation ou externes) ?

Non **Oui**

30) Fournissez-vous actuellement de quoi désinfecter les véhicules des visiteurs (Exemple : sulfateuse remplie de désinfectant) ? **Non** **Oui**

31) Le camion d'équarrissage peut-il actuellement collecter le bac d'équarrissage sans entrer dans l'exploitation ? **Non** **Oui**

32) Commentaires :

Flux de matériel

Partage d'équipement avec d'autres éleveurs, pour les 2 dernières bandes. Une réponse « oui » correspond à une pratique systématique Vous pouvez cocher plusieurs cases.

33) Partage d'une **pailleuse**

- Non
- Oui, je la lave avant utilisation
- Oui, je la lave après utilisation
- Oui, je la désinfecte avant utilisation
- Oui, je la désinfecte après utilisation

34) Partage d'équipement de **curage**

- Non
- Oui, je le lave avant utilisation
- Oui, je le lave après utilisation
- Oui, je le désinfecte avant utilisation
- Oui, je le désinfecte après utilisation

35) Partage d'équipement de **transport de canards**

- Non
- Oui, je le lave avant utilisation
- Oui, je le lave après utilisation
- Oui, je le désinfecte avant utilisation
- Oui, je le désinfecte après utilisation

36) Partage de matériel de **vaccination**

- Non
- Oui, je le lave avant utilisation
- Oui, je le lave après utilisation
- Oui, je le désinfecte avant utilisation
- Oui, je le désinfecte après utilisation

37) Partage de matériel **d'épandage**

- Non
- Oui, je le lave avant utilisation
- Oui, je le lave après utilisation
- Oui, je le désinfecte avant utilisation
- Oui, je le désinfecte après utilisation

38) Sur les deux dernières bandes, avez-vous lavé vos engins agricoles (tracteurs, quads, télescopiques, pailleuse ...) entre les différents bâtiments/parcours ?

- Pas concerné (un seul bâtiment)** **rarement** **systématiquement**

39) Commentaires :

Gestion des effluents d'élevage

40) Production et stockage de lisier

- Pas de lisier produit**
- Stockage dans une fosse couverte**
- Stockage dans une fosse non couverte**

41) Après curage de la **litière**, que devient-elle ?

- Evacuée de l'élevage immédiatement** **Stockée dans l'élevage**

42) Commentaires :

Animaux sur le site d'élevage

43) Volailles sur site (hors basse-cour, plusieurs réponses possibles). Vous élèverez en **2018** :

Des canards : reproducteurs canards à rôtir

Des oies : reproductrices oies grasses oies à rôtir

Des poulets de chair : plein-air en claustration

Des poules pondeuses : plein air en claustration

Des pintades : plein air en claustration

Des dindes : plein air en claustration

Des cailles

Du gibier à plumes : faisan perdrix colverts

44) Avez-vous une infirmerie permanente* pour les **canards** malades ou faibles ?

* : local dédié, avec possibilité de garder les animaux une fois le reste de la bande partie ou mélange possible d'animaux de bandes différentes

Non **oui**

45) Avez-vous une basse-cour, à savoir des volailles détenues à titre non-commercial ?

Non **Oui, sur site d'élevage** **Oui, hors site d'élevage**

46) Avez-vous des animaux de compagnie sur site (chiens ou chats)

Non

Oui, mais pas d'accès aux aires d'élevage

Oui, avec accès aux aires d'élevage

47) Qui effectue la dératisation ? **Pas de dératisation** **Vous** **Une entreprise prestataire**

48) Avez-vous aperçu des rongeurs ou des signes de leur passage lors des 2 dernières bandes (ex : déjections, consommation des appâts) ? **Non** **Oui**

49) Commentaires :

Vide sanitaire, nettoyage et désinfection

50)- Si le bâtiment concerné sert à la fois au démarrage et à la croissance-finition, remplissez la même chose pour les cases « bâtiment démarrage » et « bâtiment croissance-finition ».

- Si le bâtiment ou le parcours n'a jamais été utilisé, considérer les prévisions de départ du lots actuel (case date de départ) et de remise en place du lot suivant (cases mise en place, transfert, accès au parcours)

- Pour répondre à cette question il est recommandé d'utiliser les fiches d'élevages et/ou bons de livraisons de canetons et de ramassage des canards

Bâtiment démarrage utilisé par le dernier lot mis en place	Date de mise en place	Date de départ de la dernière bande ayant occupé ce bâtiment
--	-----------------------------	--

	
Bâtiment croissance-finition utilisé par le dernier lot étant entré en croissance-finition	Date de transfert de la bande dans ce bâtiment	Date de départ de la dernière bande ayant occupé ce bâtiment (ramassage)
Parcours utilisé par le dernier lot étant entré en croissance-finition	Date d'accès de la bande à ce parcours	Date de départ de la dernière bande ayant occupé ce parcours

51) Entre le 1^{er} janvier 2018 et le 31 décembre 2018, avez-vous prévu vide sanitaire complet à l'échelle de chaque site en canard ?

- Non, il y a toujours une bande ou plus**
- Oui, il y a toujours un moment dans l'année où il n'y a plus un seul canard (valable pour tous les sites)**

52) Sur les deux dernières bandes, avez-vous systématiquement lavé le bac d'équarrissage après le passage de l'équarrisseur ?

- Non** **Oui**

53) Au cours des deux derniers vides sanitaires, avez-vous fait appel à un intervenant pour les procédures de nettoyage-désinfection ?

- Non** **oui**

54) Au cours des deux derniers vides sanitaires, avez-vous utilisé un détergent* lors du lavage ?

* : *Ne pas confondre avec un désinfectant*

- Non** **Oui**

55) Désinfection du sol (au cours des deux deniers vides sanitaires) (Cocher, une seule réponse possible) :

Abords extérieurs du bâtiment (hors parcours)	Intérieur des bâtiments	Premiers mètres de parcours devant le bâtiment	Zones du parcours les plus abîmées (exemple : autour des mangeoires/abreuvoirs)
<input type="checkbox"/> pas concerné : le bâtiment/abris est entièrement entouré par une zone de parcours <input type="checkbox"/> Pas de désinfection <input type="checkbox"/> chaux vive <input type="checkbox"/> chaux éteinte <input type="checkbox"/> brûlage <input type="checkbox"/> autre substance désinfectante	<input type="checkbox"/> Pas de désinfection <input type="checkbox"/> chaux vive <input type="checkbox"/> chaux éteinte <input type="checkbox"/> brûlage <input type="checkbox"/> autre substance désinfectante	<input type="checkbox"/> Pas de désinfection <input type="checkbox"/> chaux vive <input type="checkbox"/> chaux éteinte <input type="checkbox"/> brûlage <input type="checkbox"/> labourage <input type="checkbox"/> autre substance désinfectante	<input type="checkbox"/> Pas de désinfection <input type="checkbox"/> chaux vive <input type="checkbox"/> chaux éteinte <input type="checkbox"/> brûlage <input type="checkbox"/> labourage <input type="checkbox"/> autre substance désinfectante

56) Si vous avez répondu « autre substance désinfectante » à la question précédente, de quoi s'agit-il ?

.....

57) Commentaires :

« DETERMINANTS P_ENQUETEUR_1 »

A saisir par l'enquêteur au moment de la visite de l'élevage

58) Donner les coordonnées GPS de l'entrée du bâtiment le plus près de la voie publique
 → Application google maps, maintenir le doigt enfoncé plusieurs secondes sur le point où vous vous trouvez. Obtention des degrés décimaux. Ex : 43.598562, 1.381976

Latitude : _____ ex : 43.598562

Longitude : _____ ex : 1.381976

59) Y a-t-il un panneau de restriction d'accès bien visible à l'entrée de l'élevage ? **Non** **Oui**

60) Y a-t-il une barrière physique à l'entrée de l'élevage ?

- Non**
- Oui, mais elle n'est jamais fermée**
- Oui, elle est fermée à la fin de la journée de travail**
- Oui, elle est tout le temps fermée**

61) Si oui il s'agit de : plusieurs réponses possibles

- Chaîne**
- Corde**
- Grillage ou portail avec fermeture à clé**
- Portail sans fermeture à clé**
- autre : _____**

62) Y a-t-il un panneau de restriction d'accès bien visible sur les bâtiments ?

- Aucun** **Pas sur tous les bâtiments** **sur tous les bâtiments**

63) Le bac d'équarrissage est-il couvert ? **Oui** **Non**

64) Présence et aménagement des sas : prendre une photo de chaque sas + lien qui permet aller/retour vers le tableau des bâtiments au début de « DETERMINANTS_P_ELEVEUR »

	Numéro du bâtiment ou parcours sans bâtiment correspondant											
Bâtiment au bord du parcours (1) / bâtiment au milieu du parcours (2) / parcours sans bâtiment (3)												
On peut contourner facilement le sas (non/oui)												
Présence du sas (non/oui)												
Le sas permet d'accéder au parcours (non /oui)												
Nombre de zones du sas (1/2/3)												
Type de séparation des zones (aucune/ligne/planche/banc)												
Lavabo : présence (non /oui mais visiblement pas utilisé (poussière, encombrement)/ oui)												
Lavabo : savon (non /oui. Incrire non si la réserve est vide)												
Lavabo : essuie-mains (non/torchon/essuie-main jetable)												
Lavabo : désinfectant pour mains (non/oui)												
Lavabo : eau chaude (non/ oui)												

65) Les abreuvoirs :

- Les abreuvoirs sont **tous à l'intérieur** des bâtiments/abris
- Il y a des abreuvoirs à **l'extérieur**, et ils sont **tous couverts** (protection contre les oiseaux sauvages)
- il y a des abreuvoirs à **l'extérieur** qui ne sont **pas couverts** (pas de protection contre les oiseaux sauvage).

66) Les mangeoires :

- Les mangeoires sont **toutes à l'intérieur** des bâtiments/abris
- Il y a des mangeoires à **l'extérieur**, et elles sont **toutes couvertes** (protection contre les oiseaux sauvages)
- il y a des mangeoires à **l'extérieur** qui ne sont **pas couvertes** (pas de protection contre les oiseaux sauvage).

67) Les abords des bâtiments sont-ils bien dégagés ?

- a. stockage de matériel et matériaux inutiles **non** **oui**
- b. végétation coupée **non** **oui**

68) Commentaires :

« DETERMINANTS_P_ENQUETEUR_2 »

A saisir après la visite par l'enquêteur

Pour calculer les distances, vous pouvez vous aider de www.geoportail.gouv.fr

69) Quelle est la distance minimale (à vol d'oiseau) entre la voie publique et l'aire d'élevage (entrée du bâtiment, entrée d'air ou parcours) la plus proche ?

70) Lorsque la litière est stockée sur site, indiquer la distance de l'aire d'élevage (entrée du bâtiment, entrée d'air ou parcours) la plus proche

hors site sur site : distance = _____

71) Quelle est la distance entre le point de retrait du bac d'équarrissage et l'aire d'élevage (entrée du bâtiment, entrée d'air ou parcours) la plus proche ?

Questionnaire portant sur
« L'intention de mettre en pratique
des mesures visant à améliorer la conformité »

Échelle (Likert / 7 points)

- (a) Fortement en désaccord
- (b) En désaccord
- (c) Légèrement en désaccord
- (d) Ni en accord, ni en désaccord
- (e) Légèrement en accord
- (f) En accord
- (g) Fortement en accord

- 1- Je crois qu'il est extrêmement important de maintenir la zone professionnelle propre à l'entrée de l'unité de production (balayage de la matière organique, désinfection à la chaux) aux endroits où les véhicules entrants dans l'unité de production ont transité (paillage, nourrissage)
- 2- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important de maintenir la zone professionnelle propre à l'entrée de l'unité de production (balayage de la matière organique, désinfection à la chaux) aux endroits où les véhicules entrants dans l'unité de production ont transité (paillage, nourrissage)
- 3- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement de maintenir la zone professionnelle propre à l'entrée de l'unité de production (balayage de la matière organique, désinfection à la chaux) aux endroits où les véhicules entrants dans l'unité de production ont transité (paillage, nourrissage).
- 4- Je crois qu'il est extrêmement important d'avoir un système d'alimentation qui évite l'entrée/sortie de véhicule sur le parcours, ou bien d'avoir un moyen de réduire les risques liés à ce flux (ex: réduire la distance parcours- silo)
- 5- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'avoir un système d'alimentation qui évite l'entrée/sortie de véhicule sur le parcours, ou bien d'avoir un moyen de réduire les risques liés à ce flux (ex: réduire la distance parcours- silo).
- 6- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement d'avoir un système d'alimentation qui évite l'entrée/sortie de véhicule sur le parcours, ou bien d'avoir un moyen de réduire les risques liés à ce flux (ex: réduire la distance parcours-silo)
- 7- Je crois qu'il est extrêmement important d'identifier quand le sas peut être contourné et d'y remédier

- 8- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'identifier quand le sas peut être contourné et d'y remédier.
- 9- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement d'identifier quand le sas peut être contourné et d'y remédier.
- 10- Je crois qu'il est extrêmement important d'identifier quand les sas ne permettent pas d'accéder aux parcours et d'y remédier (porte du sas ouvrant vers le parcours, porte entre bâtiment et parcours)
- 11- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'identifier quand les sas ne permettent pas d'accéder aux parcours et d'y remédier (porte du sas ouvrant vers le parcours, porte entre bâtiment et parcours)
- 12- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement d'identifier quand les sas ne permettent pas d'accéder aux parcours et d'y remédier (porte du sas ouvrant vers le parcours, porte entre bâtiment et parcours)
- 13- Je crois qu'il est extrêmement important de bien changer de bottes dans la sas, même pour une très courte visite, quitte à mettre des sabots de jardinage
- 14- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important de bien changer de bottes dans la sas, même pour une très courte visite, quitte à mettre des sabots de jardinage.
- 15- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement de bien changer de bottes dans la sas, même pour une très courte visite, quitte à mettre des sabots de jardinage.
- 16- Je crois qu'il est extrêmement important d'améliorer le confort du changement de bottes grâce à l'installation d'un banc ou d'un tabouret.
- 17- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'améliorer le confort du changement de bottes grâce à l'installation d'un banc ou d'un tabouret.
- 18- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement de d'améliorer le confort du changement de bottes grâce à l'installation d'un banc ou d'un tabouret.
- 19- Je crois qu'il est extrêmement important d'empêcher que les morceaux de litière passent d'une zone à l'autre du sas, en s'aidant d'une planche.
- 20- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'empêcher que les morceaux de litière passent d'une zone à l'autre du sas, en s'aidant d'une planche.
- 21- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement d'empêcher que les morceaux de litière passent d'une zone à l'autre du sas, en s'aidant d'une planche.
- 22- Je crois qu'il est extrêmement important d'améliorer l'ergonomie et l'efficacité du sas en positionnant une 3ème zone à l'aide des éléments de base (banc/tabouret + planches).
- 23- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'améliorer l'ergonomie et

l'efficacité du sas en positionnant une 3^{ème} zone à l'aide des éléments de base (banc/tabouret + planches)

- 24- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement d'améliorer l'ergonomie et l'efficacité du sas en positionnant une 3^{ème} zone à l'aide des éléments de base (banc/tabouret + planches).
- 25- Je crois qu'il est extrêmement important d'utiliser un gel hydroalcoolique lorsque les mains ne sont pas visuellement sales
- 26- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important d'utiliser un gel hydroalcoolique lorsque les mains ne sont pas visuellement sales.
- 27- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement d'utiliser un gel hydroalcoolique lorsque les mains ne sont pas visuellement sales.
- 28- Je crois qu'il est extrêmement important de laver les bottes et les tenues d'une UP pendant chaque vide sanitaire.
- 29- La plupart des personnes qui ont de l'importance pour moi et qui ont de l'influence sur mes opinions, considèrent qu'il est extrêmement important de laver les bottes et les tenues d'une UP pendant chaque vide sanitaire.
- 30- Je dispose de toutes les ressources nécessaires qui me permettraient facilement de laver les bottes et les tenues d'une UP pendant chaque vide sanitaire.

Questions relatives à l'intention comportementale :

- 31- Je planifie de mettre en pratique les comportements identifiés aux questions précédentes.
- 32- J'ai la ferme intention de mettre en pratique les comportements identifiés aux questions précédentes.
- 33- Je prédis que je vais mettre en pratique les comportements identifiés aux questions précédentes.

RESUME

OBSERVANCE DES MESURES DE BIOSECURITE DANS LES ELEVAGES DE VOLAILLES FRANÇAIS : PRATIQUES ET ATTITUDES. La biosécurité est l'un des principaux moyens de prévention des maladies en élevage. La bonne application des mesures de biosécurité (observance) constitue un enjeu majeur des filières de productions de volailles françaises, en particulier dans un contexte d'épidémies d'influenza aviaire depuis 2015. Ce manuscrit contribue à évaluer les mesures de biosécurité appliquées dans les élevages de volailles français, afin de mieux comprendre les facteurs, structurels et psycho-sociaux, à l'origine des variations d'observance. L'analyse est proposée à plusieurs échelles : (i) nationale, au moyen des rapports d'inspections de biosécurité menées par les directions départementales en charge de la protection des populations, (ii) de la filière des palmipèdes à foie gras du Sud-Ouest, au moyen d'une enquête menée dans 46 élevages représentant les différents modes de production afin de dresser un état des lieux des pratiques de biosécurité avant la survenue des crises influenza aviaire, (iii) d'un mode de production, les canards prêts-à-engraisser, au moyen d'une enquête menée chez 127 éleveurs afin d'évaluer les déterminants psycho-sociaux (connaissances, attitudes, traits de personnalité ...) de l'observance de la biosécurité. Ces trois études ont permis de comparer différentes approches d'évaluation de la biosécurité, de dresser un état des lieux des pratiques, de mettre en évidence une hétérogénéité dans l'application des mesures et d'étudier l'effet de facteurs structurels (bassins de production, contraintes techniques des différents modes de productions de volailles) et psycho-sociaux (connaissance et compréhension de la biosécurité, caractère consciencieux des éleveurs, confiance en soi, pression sociale et perception de l'utilité de la biosécurité) sur les comportements de biosécurité. Les résultats de ces études offrent la possibilité de concevoir des interventions adaptées aux éleveurs, et ainsi susceptibles d'améliorer durablement l'observance des mesures de biosécurité en élevage

Mots-clés : Epidémiologie, comportement, influenza aviaire, analyses multidimensionnelles, pratiques d'élevage

SUMMARY

BIOSECURITY COMPLIANCE IN FRENCH POULTRY FARM: PRACTICES AND ATTITUDES. The spread of diseases between farms may be prevented with the application of adapted biosecurity measures. Compliance with on-farm biosecurity measures is a major challenge for the French poultry industry, considering the emergence of avian influenza outbreaks in 2015. This thesis proposes an assessment of biosecurity measures applied in French poultry farms, in order to better understand their structural and psycho-social determinants. The analysis was conducted at three different scales. Biosecurity measures were assessed at the national scale, using veterinary authorities inspection reports. At the scale of the 'foie gras' duck

industry, 46 farm visits were conducted in various farm types, in order to assess the biosecurity practices applied before the onset of avian influenza outbreaks. Finally, at the scale of duck grower farms, 127 farm visits were conducted in order to determine the psycho-social factors (knowledge, attitudes, personality traits) associated with biosecurity compliance. These three studies compared different means to assess on-farm biosecurity compliance, described heterogeneous levels of adoption of biosecurity practices and proposed structural (production areas, production types and their technical constraints) and psycho-social factors associated with biosecurity compliance (knowledge and understanding of biosecurity measures, conscientiousness-related personality traits, social norm, auto-efficacy, perception of the benefits of biosecurity). These results provide valuable information for the conception of tailored interventions aiming at improving biosecurity in the long run.

Key-words : Epidemiology, behaviour, avian influenza, multidimensional analysis, farming practices