



HAL
open science

Étude du statut sanitaire des élevages avicoles familiaux et de loisir et évaluation de leur rôle à l'interface avec les élevages avicoles commerciaux en France

Marie Souvestre

► **To cite this version:**

Marie Souvestre. Étude du statut sanitaire des élevages avicoles familiaux et de loisir et évaluation de leur rôle à l'interface avec les élevages avicoles commerciaux en France. Médecine vétérinaire et santé animale. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2021. Français. NNT : 2021TOU30069 . tel-03813764

HAL Id: tel-03813764

<https://theses.hal.science/tel-03813764>

Submitted on 13 Oct 2022

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.



THÈSE

En vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE
Délivré par l'Université Toulouse 3 - Paul Sabatier

Présentée et soutenue par
Marie SOUVESTRE

Le 27 mai 2021

Étude du statut sanitaire des élevages avicoles familiaux et de loisir et évaluation de leur rôle à l'interface avec les élevages avicoles commerciaux en France.

Ecole doctorale : **SEVAB - Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingenieries**

Spécialité : **Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition**

Unité de recherche :

IHAP - Laboratoire Interactions Hôtes-Agents Pathogènes

Thèse dirigée par

Jean-luc GUERIN et Guillaume LE LOC'H

Jury

Mme Catherine BELLOC, Rapporteur

M. Benoit DURAND, Rapporteur

M. Eric CARDINALE, Examineur

M. Pascal ARNE, Examineur

M. Christophe PASQUIER, Examineur

M. Jean-luc GUERIN, Directeur de thèse

M. Guillaume LE LOC'H, Co-directeur de thèse

L'escalier de la science est l'échelle de Jacob, il ne s'achève qu'aux pieds de Dieu

Albert Einstein

La connaissance rend orgueilleux, tandis que l'amour fait œuvre constructive.

Paul - 1 Co 8,1

*Celui qui connaît vraiment les animaux est par là même capable de
comprendre pleinement le caractère unique de l'homme.*

Konrad Lorenz

Sommaire

Sommaire	1
Remerciements	3
Introduction	7
Liste des figures.....	11
Liste des tableaux.....	12
Liste des annexes	13
Liste des abréviations	14
Développement de l'élevage de loisir et enjeux sanitaires	16
La filière avicole française : une grande diversité	17
I. <i>Les différents secteurs de la production avicole française</i>	17
II. <i>La filière commerciale : une filière organisée et diversifiée</i>	20
III. <i>La filière non commerciale : l'élevage familial</i>	23
IV. <i>Émergence des poulaillers familiaux et collectifs en paysage urbain</i>	33
Introduction	33
Article introductif	36
Discussion.....	60
Les enjeux sanitaires associés à l'élevage avicole.....	61
I. <i>Risques zoonotiques</i>	61
II. <i>Législation sanitaire</i>	64
III. <i>Agents pathogènes d'importance économique et sanitaire</i>	69
La basse-cour : un réservoir d'agents pathogènes ?.....	73
I. <i>La basse-cour : hôte de maintenance</i>	73
II. <i>La gestion du risque sanitaire dans la filière avicole</i>	83
III. <i>Interface élevages commerciaux – élevages familiaux</i>	89
OBJECTIFS DE LA THÈSE	93
ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	96
Partie 1 : Pratiques associées aux poulaillers familiaux	97
Introduction	97
Article 1	98
Discussion.....	131
Partie 2 : Pathobiome des élevages avicoles familiaux	134
CHAPITRE I : <i>Prévalence d'agents pathogènes respiratoires et co-infections dans les poulaillers familiaux</i>	136
Introduction	136
Article 2	136
Discussion.....	166
CHAPITRE II : <i>Étude de la contamination de poules naïves introduites dans des poulaillers familiaux par des agents pathogènes respiratoires</i>	168
Introduction	168
Article 3	168
Discussion.....	199
CHAPITRE III : <i>Description de la flore respiratoire bactérienne commensale de poules de basses-cours</i>	201
Introduction	201
Matériel et méthodes	203
Résultats	207
Discussion et perspectives.....	209
Partie 3 : À l'interface des basses-cours et des élevages avicoles commerciaux	215
Introduction	215
CHAPITRE I : <i>Identification de pratiques à risque en contexte épizootique de circulation du virus influenza H5N8 à l'interface des élevages commerciaux</i>	217
Introduction	217
Article 4	217
Discussion.....	222
CHAPITRE II : <i>Étude de la prévalence d'agents pathogènes à l'interface élevage commercial – basse-cour en contexte enzootique</i>	224
Introduction	224
Matériel et méthodes	224

<i>Résultats</i>	227
<i>Discussion et perspectives</i>	232
DISCUSSION GÉNÉRALE	236
<i>Les enjeux majeurs des élevages familiaux</i>	236
<i>De la basse-cour à l'élevage commercial « industriel » : les facteurs de risques</i>	240
<i>Le secteur familial : un secteur « oublié » ?</i>	246
<i>Vers une approche intégrée de la gestion du risque</i>	248
<i>Rassembler les différents acteurs pour une lutte efficace</i>	252
Conclusion	255
BIBLIOGRAPHIE	257
ANNEXES	283

Remerciements

Je tiens à remercier Catherine Belloc et Benoit Durand d'avoir accepté de lire et jugé le manuscrit en tant que rapporteurs.

Je remercie Éric Cardinale, Pascal Arné et Christophe Pasquier d'avoir accepté d'examiner et de participer au jury de thèse.

Mes plus sincères remerciements vont en premier lieu à mes encadrants de thèse,

Le professeur Jean-Luc Guérin, pour sa confiance après tant d'années (merci d'avoir cru en moi et de m'avoir suivi même dans des idées farfelues), pour son soutien scientifique et technique, sans oublier ses paroles valorisantes. Parce que faire une thèse sur l'aviculture de loisir était un rêve et que tu m'as permis de le vivre. Fièvre d'avoir été ta première doctorante de sexe féminin ! J'espère que ce sera le début d'une longue série... En hommage au flyer « Une poule à la maison... »

Le docteur Guillaume Le Loc'h, pour son implication, son temps, sa disponibilité, son écoute et sa motivation sans faille. Pour nous avoir confié notre petit arc-en-ciel de plumes, Pokhara.

Je remercie les membres de mon comité de thèse qui m'ont aidé à construire le projet : Camille Dumat, Pascal Arné, Mathilde Paul, Xavier Nouvel, pour leur écoute et leurs conseils précieux.

Je remercie le ministère de l'Agriculture, qui dans le cadre de la chaire de biosécurité, a soutenu financièrement le projet. Je remercie également chaleureusement l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse ainsi que l'unité de recherche mixte ENVT-INRAE IHAP qui m'a permis par bien des moyens d'accomplir ce travail. Je remercie Pierre Sans qui m'a beaucoup aidé dans la diffusion de l'enquête auprès du grand public.

Je remercie très chaleureusement les maires des communes, qui pendant la crise sanitaire, ont pris le temps de nous répondre et ont donné le meilleur d'eux-mêmes pour nous aider. Cette crise a montré la force du maillage territorial humain afin d'être efficace et réactif.

Je remercie tous les vétérinaires, confrères et amis qui ont œuvré pour pouvoir répondre au mieux à mes questions et qui m'ont aidée dans la mise en place des protocoles, particulièrement Vincent Blondel, Olivier Costedoat et Léni Corrand.

Je remercie le laboratoire Bio Chêne Vert à Arzacq Arraziguet et Erwan Laudrin pour sa disponibilité et son aide.

Je remercie les acteurs de la filière qui nous ont ouvert leurs portes, Vivadour, Euralis, Terre du Sud ainsi que l'abattoir de Saramond et en particulier Stéphanie Carcreff pour sa disponibilité.

Je remercie le CHU Purpan, l'IFB et particulièrement Damien Dubois pour la riche collaboration.

Je remercie vivement toute l'équipe de virologie.

À toutes les personnes que j'ai eu la joie de rencontrer ici et qui ont fait de ce lieu un endroit chaleureux et inoubliable :

Stéphane, Romain, Mariette, Gilles, Christelle, Brigitte, Josyane, Sylvie, Charlotte, Angélique, Anne-Laure, Cécile, Jessica, Aurélie, Adrien, Thomas, Kateri, Julien, Maria, Pierre, Maxime, Gabriel, Justine, Chloé, Fabien, Nicolas, Laetitia, Mathilda, Kunta (surtout pour l'huile de ricin ;)), Amélia.

À tous les doctorants et futurs doctorants, Amélie, Jeremy, Manuela, Maria, Pierre, Maxime, Idrissa, Fabien, Adam, Nicolas, Gabriel, Charlotte, Fatimazohra, Chloé. Courage, la route est longue, mais l'aventure est belle.

À notre team bureau, que j'ai quitté un peu trop tôt : Guillaume, Adam, Chloé, Fabien. Guillaume, pour son aide précieuse, pour ces beaux moments sportifs, pour nos belles discussions et rigolades, pour avoir cru en la dream team Labcom. Merci pour la vertu de tempérance que je travaille encore... Adam, pour ta motivation, ton sourire, tes talents (culinaires et tous les autres) qui font de ces moments simples des moments inoubliables.

Elias, pour ses conseils et sa présence à mes côtés tout au long de ce parcours.

À Benoît, Françoise, merci pour vos échanges, et votre beau regard porté sur le monde.

À Angélique, pour nos moments partagés. À Cécile, pour tout ce que tu es. Merci.

Merci à Laure et Mattias pour votre amitié.

À Luc, pour tous les sacrifices vécus à deux dans un contexte difficile. Pour notre amitié.

À tous les étudiants que j'ai eu la joie d'encadrer en thèse : Salomé, Hugues, Lorenzo, Éléonore, Laureen, Victor ; Guillaume.

À Pierrick, parce « qu'on se comprend », pour incarner la « team » aviaire, pour ton regard « terrain » qui nous tient tant à cœur.

Je remercie toute l'équipe mycoplasme : Christine, Xavier N., Marie-Claude, Evelyne, Emilie, Eric, Xavier B, Manel, Chloé.

Un merci tout particulier à Xavier Nouvel et Marie-Claude pour votre disponibilité et implication au cours du projet. Marie, pour ton sourire chaleureux dans les moments difficiles sans oublier ta délicieuse confiture. Pour avoir été comme une « deuxième maman » tout au long du projet.

Je remercie l'équipe EPIDEC : Mathilde, Mattias, Claire, Timothée, Guillaume, Agnès, Maud, Ahmed, Billy, Jérémy. Un merci tout particulier à Mathilde qui m'aura guidé dans les difficultés.

Je dédie cette thèse tout particulièrement...

À tous les éleveurs que j'ai pu rencontrer, de près comme de loin. Parce qu'un vétérinaire n'est rien sans ses éleveurs. Pour leur « bon sens paysan » qui vaut toutes les réalités et découvertes. Pour la passion de leur métier. Dominique Deroux, Dominique Grève, Raymond Champel, vous avez été des lumières sur ma route.

À toutes les belles rencontres vétérinaires inspirantes, Daniel Venne, Jean-Pierre Vaillancourt, Didier Villate, Olivier Costedoat, Édouard Gendrin, Pauline Gindre, Patrick Chabrol et Christine Filliat.

À tous les animaux qui m'ont accompagnée sur le chemin. Parce qu'ils ont été ma raison d'être et de travailler pendant longtemps. À tous les animaux qui sont « partis à la montagne », mais qui m'ont fait grandir : Prunelle, Rex, Athos, Azalée, Fizarro, Chachou et tant d'autres.

À ma famille, pour l'amour que vous m'avez donné sans compter dans tous mes grands projets.

À mes grands-pères qui sont partis. À mamie « cocotte ».

À ma grand-mère, Irène, pour ta présence lumineuse qui ne passera jamais. Дорогая Бабушка, я люблю тебя так сильно.

À mes beaux-parents Edwige et Jean-Marie. À mon beau-frère et belles-sœurs. Diane le chemin est difficile mais lumineux.

À ma mère, qui m'a guidée vers les plus hauts sommets.

À mon père,

Je me souviens de mes quinze ans comme si c'était hier – la plus belle des surprises : un couple de faisans dorés dans la volière et le début d'une vocation. Le premier de la lignée des Fizarro. Merci de m'avoir donné des ailes pour accompagner les bêtes à plumes toujours au mieux. On en a connu des troubles respiratoires... Je viens d'avoir 30 ans et voilà ma réponse à mon impuissance de ce jour-là. Merci de m'avoir transmis ton regard passionné sur le monde.

À toutes ces belles journées de récolte de pommes...

À mon frère, Rémy, pour tes blagues, tes citations, ta joie de vivre, nos parcours en montagne. Je ne peux m'empêcher de citer de Gaulle « La grandeur est un chemin vers quelque chose que l'on ne connaît pas ». Alors, ne change rien et fonce.

À mes deux petites sœurs, Delphine et Aude, pour leur présence quotidienne et leur joie de vivre.

À mes amis, Vivien & Alex, Marlène & Stephen, Morgane, Auré, Dimitri, Aude, Matthieu ...

À Pierre-Yves, avec qui j'ai la chance de partager la passion de notre métier et tant d'autres choses qui nous sont encore inconnues. L'avenir nous attend.

À tout le groupe de Valence et mes frères de prière. À Hugues.

À mes fidèles amies et témoins, Sissi, Marou, Alice, Marion.

À tous ceux que je ne peux pas citer, mais qui contribuent, par leur présence, à me faire grandir sur le chemin de la Vie.

À l'Éternel, qui m'a donné toutes les grâces nécessaires pour accomplir ce travail et qui m'a offert bien plus que ce que je n'aurai pu imaginer. De lui, je tire toute inspiration.

Et pour ne pas le citer (Matthieu 20:16) :

'Les derniers seront les premiers.'

Ainsi, je terminerai ces remerciements par mon meilleur ami, mon coach, mon amour, mon rédacteur en chef, mon guide de montagne, mon cuisinier, mon clown, mon amour, qui m'a fait la joie de devenir mon mari. Notre amour, notre engagement et notre mariage auront jalonné ce parcours de thèse et il en aura été un des moteurs principaux. Merci d'être ma base réelle, et de me rattacher à ce monde par ton amour inconditionnel. Merci pour ton soutien, ta patience, ton écoute, ta confiance et ton espérance.

« J'aurais beau être prophète, avoir toute la science des mystères et toute la connaissance de Dieu, et toute la foi jusqu'à transporter les montagnes, s'il me manque l'amour, je ne suis rien. »

(1 Corinthiens 12, 31-13).



Introduction

La multiplication des zoonoses et l'apparition de pandémies mondiales au cours des dernières décennies comme celles de l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) ou « maladie de la vache folle », de l'influenza aviaire H5N1 ou plus récemment l'émergence du Sars-Cov-2 ont fait prendre conscience de l'urgence à mettre en place une approche holistique de la santé animale et humaine.

L'approche « One Health » concrétise aujourd'hui cette approche pluridisciplinaire des maladies et de leurs impacts dans différents secteurs tels que ceux de la production animale, de l'environnement, de la santé des sols, de la nutrition et de la santé humaine. Aujourd'hui, santé animale et santé publique se rejoignent enfin dans ce concept émergent afin de préserver l'équilibre entre biodiversité, élevage, bien-être - santé animale et santé humaine. Les interfaces homme-animal ou animal-animal sont des éléments indispensables à considérer dans l'étude de l'émergence de nouvelles zoonoses (1).

La circulation du virus H5N1 de la volaille à l'homme dans le contexte épidémique de 2009 en Asie souligne l'intérêt de considérer la place des élevages familiaux dans la transmission des certains agents pathogènes zoonotiques. Malgré un passage plutôt rare des virus influenza de la volaille à l'homme, des facteurs de risques ont été mis en évidence. Ainsi, le contact direct étroit avec les volailles lors de la préparation ou la contention d'oiseaux malades, la présence de canards et d'eau contaminée, une forte densité humaine et avicole à proximité des routes peuvent être associés à l'infection et la dissémination du virus chez l'Homme (2,3). L'épidémie de grippe aviaire H5N1 en Égypte entre 2006 et 2009 impliquant un contact étroit avec des oiseaux de basse-cour ayant entraîné une transmission interhumaine et le décès de 36 personnes est un exemple fort du rôle des basses-cours dans la transmission d'agents pathogènes. De plus, ces contextes offrent des possibilités d'acquisition de mutations virales qui pourraient conduire à l'émergence de virus se propageant plus efficacement chez l'homme et d'autres espèces de mammifères (4).

Si les élevages avicoles familiaux ont été très étudiés dans les pays en développement en raison de leur importance et des risques qu'ils représentent, cela est beaucoup moins le cas dans les pays industrialisés pour lesquels l'ère industrielle post seconde guerre mondiale a favorisé la diminution, mais aussi la modernisation des fermes de production, limitant ainsi les contacts étroits entre hommes et volailles. En effet, l'industrialisation de la filière avicole et le rapide développement des industries agroalimentaires favorisés par la 1^{re} politique agricole commune (PAC) ont conduit à la production à grande échelle de protéines animales répondant à la demande de la population et permettant l'autosuffisance. Le nombre d'exploitations agricoles a été divisé par 4 en environ 50 ans avec une professionnalisation des filières dont les performances économiques et agricoles sont devenues remarquables et ont permis d'assurer la sécurité alimentaire – limitant ainsi les interfaces de contact homme/animal (5). Ainsi, la production avicole se concentre entre les mains d'un plus faible nombre de personnes exerçant des métiers très spécialisés tels que les éleveurs, les techniciens de filières, les vétérinaires et les autres professions gravitant autour de l'élevage dit industriel.

Ces acteurs sont donc sensibilisés aux risques sanitaires et en parallèle les filières s'organisent pour assurer une détection précoce et une surveillance rapide des agents pathogènes à potentiel zoonotique ou ayant de fortes incidences économiques sur la production de denrées alimentaires. La modernisation des exploitations a signé l'arrêt des petites exploitations familiales et de l'autoconsommation au sein du foyer dans une majorité des cas.

Dans certains pays européens, et plus particulièrement en France, l'élevage familial souvent regroupé sous le terme de « basses-cours » a subsisté au cours du dernier demi-siècle et s'est maintenu dans les milieux ruraux (6). L'élevage familial connaît en effet depuis plusieurs siècles en France une grande diversité et a su rester présent sur le territoire français malgré une forte érosion du patrimoine lors de l'ère industrielle. Cela a été permis par des éleveurs indépendants et des passionnés désireux de préserver les races anciennes et/ou locales ainsi que les pratiques d'élevages familiales.

Depuis quelques années, les « basses-cours » connaissent un regain d'intérêt dans les pays industrialisés européens tels que le Royaume-Uni, la Finlande, mais aussi aux États-Unis montrant ainsi une tendance internationale (7–9). Cette réémergence de l'aviculture familiale ne se limite cette fois pas au milieu rural. Elle connaît aussi et surtout un véritable engouement en milieu urbain (8). En effet, les crises écologiques et sanitaires que le monde traverse aujourd'hui conduisent de nombreuses personnes à se questionner sur la résilience de nos systèmes de productions actuels : autonomie, économie circulaire, impact écologique. Ceci incite les consommateurs à redevenir acteurs de leur consommation. En ville, cela conduit à réimaginer le système de production de demain à une échelle plus locale, laissant libre cours à de nouvelles initiatives d'agriculture urbaine (10).

Peu étudiés à ce jour, les basses-cours françaises des zones rurales ou les poulaillers familiaux des milieux urbains peuvent contribuer à la circulation d'agents pathogènes entre hommes et animaux. Elles peuvent dès lors être à l'interface de plusieurs populations différentes, ce qui leur confère une importance particulière. La figure ci-dessous (Figure 1) représente les différentes interfaces existant autour des basses-cours. La première et sûrement la plus importante est l'interface homme-volaille en raison du contact étroit et fréquent qu'elle représente. La deuxième interface est l'interface volaille-animal et peut se décliner en plusieurs sous-types : l'interface volaille-faune sauvage, l'interface volaille-élevage avicole commercial et l'interface volaille-autres espèces domestiques.

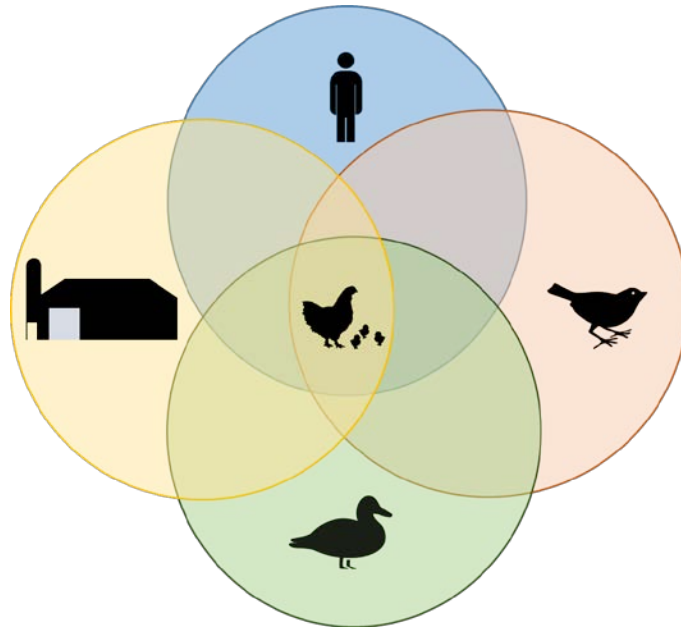


Figure 1 : Interfaces existant dans le contexte de la basse-cour

En ce qui concerne l'interface homme-basse-cour, il existe deux risques majeurs relatifs à une augmentation de la proximité à l'homme : (i) la diffusion facilitée de certains agents zoonotiques comme cela a été le cas pour le virus H5N1 en Asie et en Égypte (ii) l'apparition de toxi-infections alimentaires graves comme les salmonelloses (2,11). L'interface basse-cour-élevage commercial quant à elle peut être caractérisée par deux risques : une contamination des basses-cours par les élevages commerciaux qui pourraient ensuite devenir des hôtes de maintenance et exposer d'autres populations (homme, faune sauvage et élevages commerciaux eux-mêmes) et une diffusion d'agents pathogènes depuis le secteur des basses-cours vers les élevages commerciaux. Dans les deux cas, une transmission d'agents pathogènes d'une basse-cour à un élevage commercial peut vite conduire à des pertes économiques majeures étant donné la taille et la densité des exploitations avicoles commerciales. La faune sauvage et les autres espèces d'animaux domestiques peuvent jouer le rôle d'hôte relais ou de maintenance favorisant la transmission de certains agents pathogènes aux basses-cours ou s'infectant auprès de celles-ci et participant à la diffusion d'agents pathogènes vers les élevages commerciaux. On peut citer en illustration l'épidémie de maladie de Newcastle de 2002 en Californie. Débutant dans les élevages familiaux et s'étant étendue dans les exploitations commerciales, elle a conduit à un abattage de plus de 3 millions d'oiseaux et généré des pertes économiques colossales (12).

Les interfaces des élevages commerciaux sont nombreuses et interdépendantes. Afin de les étudier avec précision, il est nécessaire de les distinguer les unes des autres. Ainsi, il a été décidé dans cette étude de ne s'intéresser qu'à une seule d'entre elles : l'interface basse-cour-élevage commercial. En effet, le secteur avicole commercial est aujourd'hui bien caractérisé par sa structuration et son suivi sanitaire et de forts enjeux économiques y sont associés. Cette interface considère les mêmes espèces avicoles ainsi que des agents pathogènes communs facilitant ainsi son étude et permettant l'utilisation d'outils diagnostiques similaires.

Les travaux présentés dans cette thèse portent spécifiquement sur l'interface basse-cour-élevage commercial avec pour objectif principal d'apporter des éléments d'appréciation des risques représentés par les basses-cours pour les élevages commerciaux. Afin de répondre au mieux à cette question, les « basses-cours » ont été considérées comme une filière : celle de l'aviculture familiale. La première partie de l'étude détaillera ses caractéristiques et sa diversité. La seconde partie de l'étude aura pour rôle d'identifier les agents pathogènes d'intérêt présents au sein des basses-cours. Enfin, la dernière partie abordera plus spécifiquement l'interface basse-cour-élevage commercial.

Liste des figures

Figure 1 : Interfaces existant dans le contexte de la basse-cour.....	9
Figure 2 : Présentation de la volaille de Bresse.....	19
Figure 3 : Structure simplifiée des filières chair et ponte dans l'espèce Gallus gallus, d'après European Food Safety Authority (17).....	20
Figure 4 : Répartition 2015 des différents modes d'élevage des poules pondeuses en France (18).....	21
Figure 5 : La race grise du Vercors.....	25
Figure 6 : Organisation de l'aviculture de loisir en France (46).....	31
Figure 7 : Schématisation de la filière élevages non-commerciaux français.....	32
Figure 8 : Perception individuelle du bien-être animal sur la base des trois axes le définissant (58).....	35
Figure 9 : Représentation schématique de la circulation d'agents pathogènes à l'interface basses-cours, faune sauvage, faune captive et humains.....	74
Figure 10 : Flux et interaction dans la filière basse-cour d'après Burns et al. (37).....	77
Figure 11 : Les principales notions faisant référence aux mesures de biosécurité à l'échelle de l'élevage....	84
Figure 12 : Exemple de protocole de vaccination d'une poule Magalli© vendue dans les jardinerie-animaleries Botanic©.....	88
Figure 13 : Structures de contact entre les exploitations avicoles professionnelles et les acteurs de la filière.	91
Figure 14 : Présentations des différents axes d'études réalisés dans le cadre de la chaire partenariale de biosécurité aviaire.....	93
Figure 15 : Représentation schématique de la circulation d'agents pathogènes au sein d'une communauté d'hôtes. Les flèches représentent les flux d'agents pathogènes.....	94
Figure 16 : Protocole de mise en culture, d'isolement et d'identification de Mycoplasma spp.....	205
Figure 17 : Observation de colonies bactériennes sur milieu de culture solide.....	207
Figure 18 : Culture et repiquage de mycoplasmes.....	209
Figure 19 : Paramètres influençant expérimentalement l'interaction hôte-agent pathogène pour Gallibacterium spp., Avibacterium spp. (276).....	211
Figure 20 : Arbre phylogénétique sur la base du fragment de gène HPG (500pb) d'AvP.....	231
Figure 21 : Importance de l'implémentation de mesures de biosécurité dans le secteur semi-commercial (367).....	242
Figure 22 : Hiérarchisation des facteurs à considérer dans la gestion du risque sanitaire adaptée aux élevages familiaux.....	253

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau présentant les grandes caractéristiques des différents secteurs comme définis par la FAO (6)	18
Tableau 2 : Présentation quantitative des acteurs principaux de la filière poulet de chair	22
Tableau 3 : Ensemble des études de pratiques des basses-cours des pays industrialisés d'après Pohjola et al., (43)	29
Tableau 4 : nombre d'associations, races, propriétaires et volailles dans les différents sous-types du secteur 4 aviculture de loisir.....	30
Tableau 5 : Les 5 libertés comme éditées par le Farm Animal Welfare Committee (FAWC) (52).....	34
Tableau 6 : Liste des agents zoonotiques décrits pour la volaille.....	63
Tableau 7 : Définitions des 3 catégories de dangers sanitaires et mesures de lutte associées.....	65
Tableau 8 : Dangers sanitaires de 1 ^{re} et 2 ^e catégorie.....	66
Tableau 9 : Voies de transmission, portage et sensibilités des espèces aux agents pathogènes respiratoires étudiés	72
Tableau 10 : Prévalence des relations de contact étudiées au sein des élevages avicoles commerciaux et non commerciaux et extrapolation des données à l'ensemble du territoire Suisse (44).....	92
Tableau 11 : Effectif et localisation des basses-cours étudiées.....	204
Tableau 12 : Résultats des identifications des souches isolées à partir des écouvillons oropharyngés par qPCR et par culture	208
Tableau 13 : Prévalence des agents pathogènes respiratoires du secteur commercial et des basses-cours du Gers.....	228
Tableau 14 : Agents pathogènes différenciant les basses-cours du secteur commercial du Gers.....	229
Tableau 15 : Statut MS et AvP des basses-cours des deux élevages commerciaux positifs à AvP et/ou MS	230
Tableau 16 : Principaux facteurs de risques identifiés dans les secteurs commerciaux et familiaux (44)....	245
Tableau 17 : Évaluation du risque des différents groupes de basses-cours sur la base de la catégorisation de Steenwinkel et al., (35).....	251

Liste des annexes

Annexe 1 : Cartographie des races de volailles françaises.....	283
Annexe 2 : Exemple de protocole de vaccinations de poulettes futures pondeuses dans le secteur commercial. En gras figurent les vaccins inactivés, les autres étant des vaccins vivants atténués	284
Annexe 3 : Flyer initial distribué dans les jardinerie-animaux, cabinets vétérinaires et autres volontaires	285
Annexe 4 : Affichette (format A4) diffusée par les réseaux sociaux et dans les jardinerie-animaleries.....	286
Annexe 5 : Questionnaire utilisé dans le cadre du projet « POC » Poule Occitane diffusé dans l'agglomération toulousaine et sur le territoire national par les réseaux sociaux.	287
Annexe 6 : Liste des couples d'amorces utilisés au cours des différentes études(*)	290
Annexe 7 : Préparation et composition des milieux SP4 liquides et solides utilisés dans le cadre de l'isolement de Mycoplasma spp.	291
Annexe 8 : Notice de réalisation des prélèvements présent dans le kit à destination des propriétaires.....	295
Annexe 9 : Protocole de dépôt sur plaque des colonies bactériennes isolées à partir des géloses pour identification MALDI-TOF	297
Annexe 10 : Résultats des mises en culture de Mycoplasma spp. sur milieu SP4 liquide à partir des 6 basses-cours	298
Annexe 11 : Résultats des mises en culture de Mycoplasma spp. sur milieu SP4 solide à partir des 6 basses-cours	299
Annexe 12 : Recommandations pratiques publiées par Whitehead et Roberts (traduit de l'anglais) (96)...	300
Annexe 13 : Mesures de biosécurité à appliquer dans les basses-cours publiées par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (383)	301
Annexe 14 : Plaquette diffusée par l'ENVT auprès des propriétaires d'élevages familiaux suite à la détection de deux foyers issus de poules d'animaleries en décembre 2020.....	302
Annexe 15 : Articles publiés dans la presse professionnelle.....	303

Liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

ADNc : Acide DésoxyriboNucléique complémentaire

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

aMPV : métapneumovirus aviaire

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

AOP : Appellation d'Origine Protégée

ARN : Acide RiboNucléique

AvP : *Avibacterium paragallinarum*

Ba : *Bordetella avium*

BC : basse-cour

BEA : Bien-être animal

BI : Bronchite Infectieuse

Chl.p : *Chlamydia psittaci*

COS : Gélose Columbia + 5% sang de mouton

Ct : "Cycle Threshold" ou seuil de détection en français

DDCSPP : Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations

(équivalent à DDSVs)

DGAI : Direction Générale de l'Alimentation

E.coli : *Escherichia coli*

FAO : Food and Agriculture Organization

FFV : Fédération Française des Volailles

HI : test d'inhibition de l'hémagglutination

IA : Influenza Aviaire

IAHP : Influenza aviaire Hautement Pathogène

IBV : virus de la bronchite infectieuse (Infectious bronchitis virus)

ILTV : virus de la Laryngotrachéite Infectieuse (Infectious Laryngotrachéitis Virus)

ITAVI : Institut technique de l'Aviculture, Pisciculture et Cuniculture

LTI : Laryngotrachéite Infectieuse

MAA : ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

MALDI-TOF : Matrix Assisted Laser Desorption Ionization – Time Of Flight

MDV : virus de la Maladie de Marek

MG : Mycoplasma gallisepticum

MS : Mycoplasma synoviae

NDV : virus de la maladie de Newcastle

OAC : Œufs A Couver

OIE : World organization for Animal Health

OR : Odd-ratio

ORT : Ornithobacterium rhinotrachéale

PAP : Poules prêtes A Pondre

PCR : Polymerase Chain Reaction

PM : *Pasteurella multocida*

PVX : Gélose chocolat + supplement PolyVitaminique

qPCR : quantitative Polymerase Chain Reaction

RHD : Restauration hors domicile

SCAF : Société Centrale d'Aviculture de France

SIGT : Syndrome Infectieux de la Grosse Tête

TIAC : Toxi-infections alimentaires collectives

VIA : Virus de l'Influenza Aviaire

Développement de l'élevage de loisir et enjeux sanitaires

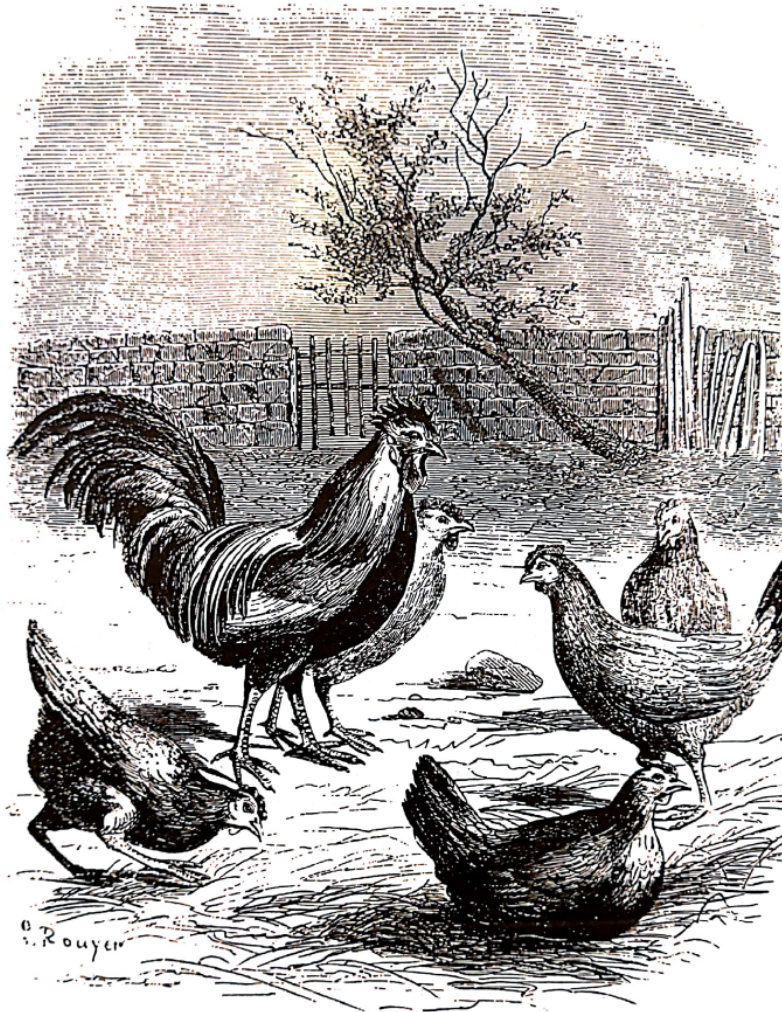


Illustration issue de l'Encyclopédie de l'Agriculteur,
1863 (MOLL et GAYOT)

La filière avicole française : une grande diversité

I. Les différents secteurs de la production avicole française

La France est connue pour sa grande diversité de produits issus de la filière avicole connaissant de multiples systèmes de production. En 2010, la FAO identifie en France quatre différents secteurs dans le paysage avicole français (6). Le secteur 1 correspond au système industriel intégré avec un niveau élevé de biosécurité et des oiseaux/produits commercialisés le plus souvent par le circuit des grande et moyenne surfaces (GMS). Le secteur 2 se définit par un système de production avicole commercial avec un niveau de biosécurité modéré à élevé et des oiseaux/produits commercialisés habituellement par le circuit GMS tout comme le secteur 1. Le secteur 3 représente un système de production avicole commercial majoritairement constitué d'éleveurs indépendants présentant une biosécurité faible à minimale et des oiseaux/produits entrant sur les marchés d'oiseaux vivants. Ils présentent le plus souvent des exploitations multiâges; un accès à des parcours extérieurs avec une vente directe possible, un abattage sur la ferme ou un abattoir indépendant. Les systèmes de « production traditionnelle » font partie du « secteur 3 de la volaille » tel que défini par la FAO (petite ou moyenne échelle commerciale, intensive ou semi-intensive) par opposition aux secteurs industriels de production 1 et 2. En revanche, la forte demande du consommateur pour des produits issus d'élevages plein air ou biologiques conduit aujourd'hui à une restructuration des secteurs 1 et 2 vers des modèles plus « alternatifs ». Enfin, le secteur 4 correspond à une production ultra-locale de « village » ou de basses-cours familiales (Tableau 1).

Contrairement à la majorité des pays développés, la France maintient et développe une large gamme de systèmes de production avec une forte contribution des secteurs 3 et 4. De nombreux consommateurs français restent très attachés au patrimoine gastronomique et culturel du territoire et à la vente « en direct » par le producteur. Une enquête menée par le réseau d'agriculteurs fédérés par les chambres d'agriculture en 2014 a montré que 80% des consommateurs disent acheter désormais des produits locaux et parmi eux, près de quatre personnes sur dix déclarent le faire souvent. Aujourd'hui la tendance progresse et devrait continuer à se renforcer avec l'apparition de la notion de Consomm'acteurs, consommateurs pour qui acheter des produits locaux correspond à recréer une économie de proximité à impact durable (13).

Les secteurs 3 et 4, bien que peu décrits aujourd'hui, contribuent à la diversification des emplois et revenus, du savoir-faire et des ressources génétiques. En effet, si une dizaine de souches de poules sont utilisées dans l'ensemble des filières commerciales (œuf et chair), la France connaît presque une cinquantaine de races locales différentes. Il est étonnant de voir que la notion d'aviculture familiale n'est véritablement définie que pour les pays en développement, car elle y englobe la grande diversité de systèmes de production avicole à petite échelle présents dans les zones rurales, urbaines et périurbaines (14).

Tableau 1 : Tableau présentant les grandes caractéristiques des différents secteurs comme définis par la FAO (6)

	Systèmes			
	Production commerciale en intégration et éleveurs indépendants			Basses-cours et aviculture "de village"
Secteurs	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4
Biosécurité	Elevé	Moyennement élevé	Faible	Faible
Débouchés de production	Export et milieu urbain	Urbain/rural	Urbain/rural	Rural/urbain
Dépendance aux intrants	Elevée	Elevée	Elevée	Faible
Dépendance à l'égard des transports	Elevée	Elevée	Elevée	Faible
Localisation	Proche métropoles et capitales	Proche métropoles et capitales	Petites villes et zone rurale	Partout, dominants en milieux reculés
Élevage	Claustration	Claustration	Claustration/plein air	Plein air
Bâtiment	Fermé	Fermé	Fermé/ouvert	Oouvert
Contact avec autres volailles	Non	Non	Oui	Oui
Contact avec canards	Non	Non	Oui	Oui
Contact avec autres oiseaux domestiques	Non	Non	Oui	Oui
Contact avec la faune sauvage	Non	Non	Oui	Oui
Services vétérinaires	Vétérinaire intégré	Vétérinaire indépendant	Vétérinaire indépendant	Irrégulier, dépend du gouvernement et des services vétérinaires
Lieu d'approvisionnement médicaments et vaccins	Marché	Marché	Marché	Marché
Origine de l'information technique	Organisation de production et associés	Vendeurs de produits	Vendeurs de produits	Service d'extension du gouvernement
Race de volaille	Commerciale	Commerciale	Commerciale	Local
Sécurité alimentaire ¹ de l'éleveur	Élevé	Bon	Bon	Bon à mauvais

En France, les volailles du secteur 3 sont majoritairement élevées sous signes officiels de qualité comme les AOC, les Labels Rouges (LR), l'Agriculture Biologique (AB) et la demande du marché maintient un large éventail de produits au sein des secteurs 3 et 4. On peut citer comme exemple connu du secteur 3, la volaille

¹ La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, la possibilité physique, sociale et économique de se procurer une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins et préférences alimentaires pour mener une vie saine et active (terme ayant été défini par le Comité de la Sécurité alimentaire mondiale lors du Sommet Mondial de l'Alimentation réuni à Rome en 1996)

de Bresse qui est la seule volaille à bénéficier d'une AOC depuis 1957 et qui est devenue à ce jour la seule AOP gallinacé au monde (Figure 2). En dehors d'un usage réservé aux poulets sous signe de qualité, la dénomination « fermier » peut être utilisée pour les productions de volailles à petite échelle qui respectent les conditions suivantes : être abattues dans des conditions réglementées sur l'exploitation même, être écoulées en vente directe ou locale (moins de 80 km), respecter des exigences réglementaires relatives aux conditions d'élevage et pour un volume d'animaux abattus limité (500 par semaine ou 25 000 par an au maximum dans le cas du poulet).



Figure 2 : Présentation de la volaille de Bresse.

Plumage entièrement blanc, pattes bleues fines et lisses, crête rouge à grande dentelure et oreillons blancs.

Le secteur 4, quant à lui, connaît des centaines de milliers de volailles de basses-cours et d'élevages amateurs en France. Malgré ce nombre important, très peu de données existent sur le secteur 4, car il n'y a pas de réglementation officielle le concernant. En effet, les statistiques françaises officielles indiquent et répertorient les élevages commerciaux à partir de 500 oiseaux (15). On peut également mentionner le seuil de 250 volailles faisant référence à la réglementation relative à la lutte contre les salmonelles (16) qui peut conduire à une déclaration d'élevages détenant entre 250 et 500 volailles. En revanche, pour tous les élevages commerciaux ou non commerciaux ayant moins de 250 animaux, seule la déclaration volontaire en mairie par les propriétaires (qui reste très aléatoire) pourrait permettre la constitution d'une base de données effective.

II. La filière commerciale : une filière organisée et diversifiée

Il est important de noter que l'élevage commercial français inclut à ce jour toutes les exploitations de plus de 500 oiseaux ou de plus de 150m² de bâtiment avicole. Il existe 24500 élevages de volailles (20500 élevages de poulets de chair et 4000 élevages de pondeuses). Le nombre total de volailles en France est d'environ 235 000 000 dont 120 000 000 poulets de chair, 28 000 000 dindes, 24 000 000 canards et d'oies, 10 000 000 pintades, 8 000 000 pigeons et cailles et 45 000 000 pondeuses. Les filières ponte et chair se structurent de manière pyramidale en suivant le schéma suivant présenté en Figure 3 ci-dessous.

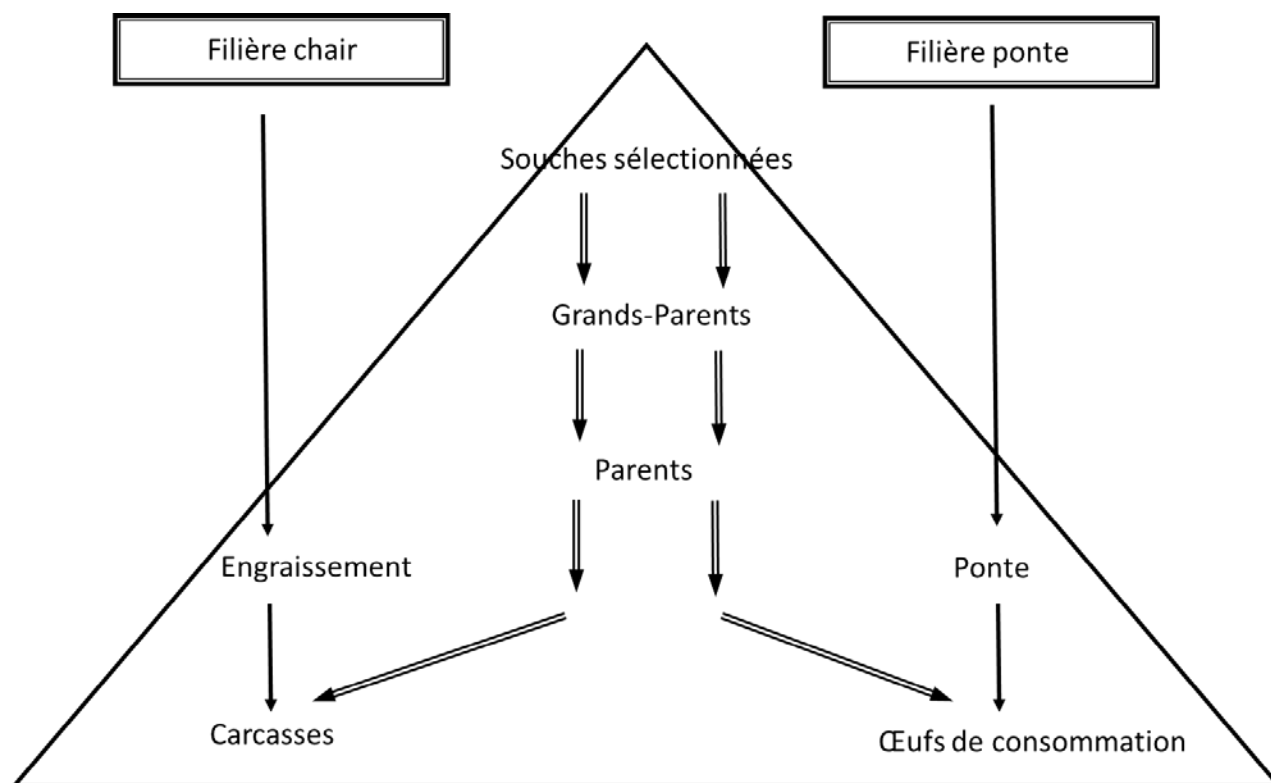


Figure 3 : Structure simplifiée des filières chair et ponte dans l'espèce *Gallus gallus*, d'après European Food Safety Authority (17)

II.1 La filière ponte

La production d'œufs de consommation est réalisée par des éleveurs de poules pondeuses qui s'approvisionnent très généralement en poulettes « démarrées » ou prêtes à pondre (PAP), proches de l'entrée en ponte, auprès d'éleveurs spécialisés. Ceux-ci assurent cette phase d'élevage à partir de poussins femelles fournis par des couvoirs approvisionnés en œufs à couver (OAC) par des éleveurs de reproducteurs spécialisés. Les modes d'élevage des poulettes peuvent différer en fonction du type d'élevage des futures pondeuses : sol, cage ou volière. La taille des cheptels est grande et varie en fonction du mode de production ; en moyenne un élevage alternatif présente environ 9197 poules pondeuses et un élevage de poules en cage en détient 54500 (18). Les sélectionneurs peuvent proposer des croisements adaptés aux différents modes d'élevage. En France, les génotypes de pondeuses à œufs roux sont généralisés pour les œufs destinés prioritairement à la vente en coquille. Les génotypes de pondeuses à œufs blancs sont exclusivement utilisés

en vue d'une transformation en ovoproduits. Il existe à ce jour 65 centres d'emballage et 60 sites de fabrication d'ovoproduits assurent la collecte et le traitement de 15 milliards d'œufs consommés annuellement en France, générant 3500 emplois. Les œufs sont distribués pour 43% sous forme entière dite d'œuf « coquille », pour 40% sous forme transformée (ovoproduits), pour 11% au travers de la restauration hors domicile (RHD) et 6% sont destinés à l'autoconsommation.

Plusieurs modes d'élevage se différencient dans la filière ponte. Ils portent un code de 0 à 3, dont les conditions minimales sont définies par la réglementation européenne :

0 = œufs biologiques

1 = œufs de poules ayant accès au plein-air (dont Label Rouge)

2 = œufs de poules élevées au sol (en claustration, incluant les poules en volière)

3 = œufs de poules élevées en « cages aménagées » (19)

La production d'œufs de consommation a été depuis longtemps concentrée en Bretagne avec une production représentant 45% de la production nationale en 2009. L'année 2012 (date d'application de la norme « cage aménagée » (19)) marque l'essor des productions alternatives sur le territoire national (18). En effet, la filière ponte connaît de grands changements à l'heure actuelle avec une très forte diminution de la production de poules en cages impliquant un arrêt de mise en production de nouveaux bâtiments cage et le développement d'une production alternative qui devrait atteindre plus de 50% de la production totale d'ici 2022, ceci afin de répondre aux attentes sociétales. Au cours des dernières années il a été observé une forte diminution de la consommation des œufs de code 3 dans la consommation des ménages et cette tendance devrait s'amplifier de façon plus globale avec l'annonce faite par les distributeurs, les acteurs de la RHD et par les industries agroalimentaires de ne plus se fournir en œufs de code 3 à partir de 2025 (20).

En 2014, les mises en place en système alternatif étaient pour 80 % en plein air et 20 % au sol ou en volières (Figure 4).

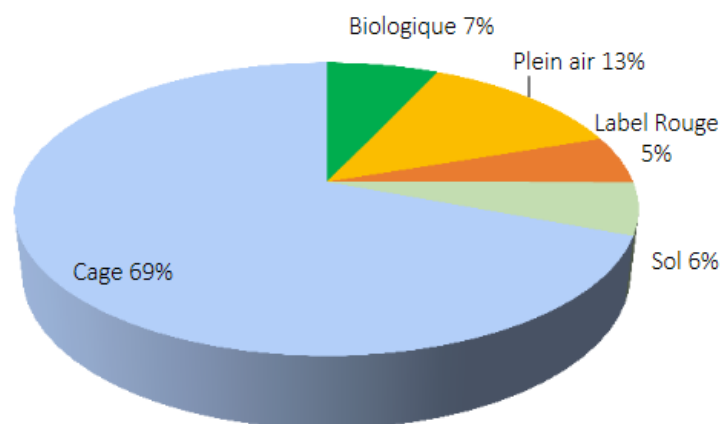


Figure 4 : Répartition 2015 des différents modes d'élevage des poules pondeuses en France (18)

II.2 La filière chair

La filière volaille de chair connaît, comme en production d'œufs, plusieurs modèles de productions. Elle est notamment caractérisée par trois dimensions : le type de présentation des produits (découpe, préparation), les espèces et les signes de qualité. La filière connaît cinq signes officiels de qualité et d'origine : Le Label Rouge (LR), l'AOP, l'Indication Géographique Protégée (IGP), La Spécialité Traditionnelle Garantie (STG) et l'AB offrant une garantie officielle pour les consommateurs d'origine et de respect de l'environnement (pour l'AB).

Depuis 2004, elle s'est dotée d'une organisation fédératrice : l'APVF (Association de Promotion de la Volaille Française) dont les missions sont de représenter les différents acteurs du secteur, d'informer consommateurs, publics professionnels et institutionnels sur les produits de la filière avicole française et aussi d'associer les clients de la filière à la démarche de valorisation de la volaille française. Cette organisation regroupe les fédérations industrielles avicoles, les comités interprofessionnels, les syndicats des labels ainsi que les groupements de producteurs de volailles. Les volailles sont représentées majoritairement par le poulet, mais cette catégorie concerne également la dinde, le canard et la pintade, la caille et l'oie. Le Tableau 2 présente et quantifie les acteurs principaux de la filière chair.

Tableau 2 : Présentation quantitative des acteurs principaux de la filière poulet de chair

Les accouveurs	Les éleveurs	Les fabricants d'aliments	Les industriels
120 entreprises		340 usines	170 entreprises recensées
1200 élevages de reproduction	27900 bâtiments	7000 000t d'aliments de volailles (soit 33% de la production d'aliments de bétail)	415 établissements d'abattage
6500 emplois	14000 éleveurs dont 4000 labels	4000 emplois	25000 salariés

En 2018 en France, les trois zones géographiques produisant le plus de volailles sont la Bretagne, les Pays de la Loire et la région Auvergne Rhône-Alpes. En 2019, un total annuel de 822 105 poussins a été produit sur le territoire français. L'existence de plusieurs signes de qualité tels que les critères qualités certifiés, le LR et l'AB viennent compléter le poulet « classique » à souche rapide permettant un bon rapport qualité-prix. Le terme de « fermier » est réservé aux volailles élevées en plein air et élevées en liberté sous LR, AB ou AOC, à l'exception des volailles issues de productions de petite taille et à vente directe ou locale. Ce qui différencie la production de poulets de chair conventionnelle des élevages fermiers est souvent la taille des exploitations et le niveau d'intégration des éleveurs. Les bâtiments pour poulets de qualité sous label disposent en moyenne de 4 000 places (de fait, le cahier des charges LR, par exemple, impose un maximum de 4 400 poulets par bâtiment). Pour le poulet standard, la moyenne est de près de 20 000 places par bâtiment, soit cinq fois plus.

III. La filière non commerciale : l'élevage familial

Depuis des milliers d'années, les petits élevages de volailles familiaux font partie intégrante des moyens d'existence ruraux. Ils sont également très présents dans les environnements périurbains et urbains des pays en développement et prennent récemment de l'ampleur dans les pays développés. La production familiale de volailles possède de nombreux atouts : elle nécessite peu d'investissements, elle est une production facilement accessible et elle joue un rôle socio-économique important. Si l'alimentation des animaux représente en général 60% du coût de production dans les secteurs 1 et 2 des pays développés, l'adaptabilité des volailles dans des conditions difficiles et l'utilisation de restes alimentaires permet de limiter les coûts dans les pays en développement (14,21,22). Aux États-Unis par exemple, il a été montré que les volailles représentent une source locale de protéines de haute qualité, elles tiennent compagnie, leurs fientes sont un très bon engrais pour le jardin, elles déparasitent en mangeant les insectes, et elles créent de l'interaction sociale, notamment en milieu urbain (7,8,23–27).

Ainsi les objectifs sont très différents en fonction du type de production et du pays, il s'agira par exemple de limiter les déchets organiques du foyer dans les basses-cours des pays développés tandis que la première motivation sera la sécurité alimentaire dans les pays en développement (10,14).

Dans les pays en développement :

- L'aviculture familiale représente 80% des élevages de volailles en particulier dans les pays à faible revenu et à déficit vivrier
- Les volailles sont le type d'animaux d'élevage le plus répandu dans les zones urbaines
- La motivation majeure est la sécurité alimentaire

Dans les pays industrialisés :

- En plus de la consommation des œufs, les animaux sont considérés comme des animaux de compagnie
- Le bien-être animal et la durabilité de la production sont des considérations très importantes pour les propriétaires

En France, le terme couramment employé pour décrire l'ensemble de la production avicole non commerciale est « basse-cours » et/ou « volaille familiale ». Les définitions de ces termes varient, mais elles incluent généralement toutes des poulets et/ou autres espèces de volailles telles que les dindes, canards, pintades qui sont élevés à des fins non commerciales. Sont souvent inclus dans la filière « non-commerciale » les éleveurs d'oiseaux de race qui peuvent en faire une activité commerciale souvent secondaire. Dans le cadre de cette étude, nous nommerons l'ensemble des élevages non-commerciaux « élevages familiaux » afin d'englober l'ensemble des différents secteurs de la filière avicole non commerciale, de la possession d'un animal de compagnie à l'élevage de poules de races en incluant les basses-cours plus traditionnelles détenues pour production alimentaire personnelle. Malgré les fortes interactions et superpositions écologiques existantes entre les basses-cours et les élevages de loisir, deux sous-secteurs seront distingués afin de mieux identifier leurs caractéristiques.

III.1 La basse-cour familiale : historique et définition

III.1.1 Histoire et évolution des basses-cours

La poule domestique descend de l'espèce *Gallus gallus* (dit « Bankiva » en langue vernaculaire et souvent remplacé au profit de « Red Junglefowl » en anglais dans les documents internationaux) originaire du sud-est de l'Asie. Elle est composée de cinq sous-espèces qui se caractérisent par la variation de la taille de la crête et des barbillons ainsi que par la longueur et la couleur des plumes qui ornent le cou des mâles ; Coq doré de Cochinchine : (*G. g. gallus*), Coq doré de Birmanie : (*G.g. spadiceus*), Coq doré du Tonkin : (*G. g. jabouillei*), Coq doré de l'Inde : (*G. g. murghi*) et Coq doré de Java : (*G. g. bankiva*).

La littérature la plus récente fait remonter la domestication de la poule aux environs de 4500 ans avant Jésus-Christ. Au cours de ces quatre millénaires, l'espèce *Gallus gallus* s'est diversifiée en différentes lignées génétiques suite à de nombreux croisements permis par le développement des communications et des échanges en Europe comme en Asie. Au XIX^e siècle, l'objectif majeur des divers croisements a été d'accroître leur production, tant de viande que d'œufs, mais, selon les époques et/ou les régions le combat et l'agrément sont restés des motivations toutes aussi importantes. (28)

Vers 800 av. J.-C., la poule se répand sur le pourtour méditerranéen et deviendra commune en Italie seulement en 200 av. J.-C.. Ce n'est que sous François I^{er} (XVI^e siècle), que le coq blanc victorieux, animal blason, se distinguera des autres figures animales pour devenir l'emblème officiel de la France. À notre connaissance, l'époque gallo-romaine et le Moyen Âge français ne rapportent aucun intérêt pour les diverses races de poules, mais les volailles restent omniprésentes dans les basses-cours (29). Il faudra attendre le XVII^e siècle (sous Henri IV²) pour identifier des innovations dans l'apparition de races de poules, et ce jusqu'au XIX^e siècle. C'est dans la première partie du XIX^e siècle que l'aviculture connaîtra un tournant majeur avec l'importation de races géantes venues d'Asie (comme les Cochin ou les Brahma) qui connaîtront un succès auprès des grands de ce monde : la reine Victoria à Dublin, l'Impératrice Eugénie en France puis dans toute la population européenne.

C'est dans la deuxième moitié du XIX^e siècle que naîtront les races occidentales que nous connaissons aujourd'hui comme la Sussex, l'Orpington et la plupart des races issues de sélections américaines de souches européennes telles que la Wyandotte, Plymouth Rock, Rhode Island ou Leghorn. La Leghorn est connue pour ses œufs blancs qui se consomment dans le monde entier et s'oppose à la Rhode Island qui produit des œufs colorés couleur crème qui sont encore consommés dans certains pays comme la France. Deux

² La poule au pot aurait été citée explicitement par le roi pour illustrer sa volonté de prospérité, notamment pour les paysans : « Il n'y aura point de laboureur en mon Royaume qui n'ait moyen d'avoir une poule dans son pot » aurait-il prononcé. Aujourd'hui, c'est la poule noire d'Astarac Bigorre (plus communément appelée poule gasconne ou de race Gasconne) que l'on appelle la poule d'Henri IV, car il paraîtrait que c'est cette race qui aurait historiquement servi à faire la « poule au pot » du dit souverain (30,31).

racés s'imposent également dans la filière production de chair : la White Rock et la Cornish³. Ces quatre races – deux pour la ponte et deux pour la chair – ont servi à constituer des souches pures ou hybrides qui sont utilisées dans les croisements complexes dits « industriels ». Le développement de l'élevage intensif dans les années 1950 a conduit à une diffusion majeure de ces croisements dans le monde entier et à un appauvrissement de la diversité génétique en Europe. Les races n'ayant pas de place dans les schémas de sélections industriels se sont réfugiées chez des amateurs et/ou dans des basses-cours fermières. La seule race qui ait conservé une réelle importance économique est la Poule de Bresse, la seule qui possède une AOC (32)

La fin du XX^e siècle (1980) a toutefois connu un regain d'intérêt pour les races anciennes, grâce à quelques éleveurs passionnés désireux de préserver un patrimoine génétique et culturel avicole. À l'heure actuelle, il existe environ une quarantaine de races de poules françaises et le cheptel de certaines races disparues est en cours de reconstitution pour préservation du patrimoine génétique. Quelques efforts de valorisation économique sont proposés sur certaines races anciennes comme la race Grise du Vercors (Figure 5). Il est important de noter le rôle joué par les éleveurs amateurs dans la conservation de la variabilité génétique et sur la valorisation des races françaises.



Figure 5 : La race grise du Vercors

³ La White Rock est la variété blanche de la Plymouth Rock pour la filière chair, au même titre que la Leghorn et la Rhode Island pour la filière ponte. Ces races, dans le secteur commercial, ne sont pas utilisées en lignées pures, mais en croisements. La Cornish a été fortement utilisée pour améliorer les masses pectorales des poulets de chair conventionnels.

III.1.2 Définition de la basse-cour

Dans le dictionnaire, le mot basse-cour désignant « l'endroit et locaux où l'on élève, de façon artisanale, la volaille et les lapins domestiques » souligne une production traditionnelle, chargée d'histoire. À cela, s'ajoute « l'ensemble des animaux qui vivent dans celle-ci ». Souvent constituée de plusieurs espèces en fonction des usages, la basse-cour servait historiquement à nourrir de façon artisanale le foyer ou les proches de ceux qui la possèdent. La description du site d'élevage est brève et couvre une grande diversité de production souvent liée à une diversité de terroirs. L'association d'un élevage artisanal avec la présence de volailles domestiques découle de l'organisation architecturale et sociale du Moyen Âge.

Un article publié dans la Maison Rustique du XIX^e siècle indique que, dans presque toutes les fermes, les poules se déplacent librement où elles veulent, notamment parmi les bestiaux. Dans l'idéal, la basse-cour est séparée des autres bâtiments de la ferme, par un mur, un treillage ou une haie épaisse. Elle est plantée d'arbres ou arbustes qui donnent de l'ombre en été et permettent aux poussins de s'abriter et de se protéger des oiseaux de proie ; par ailleurs, certains d'entre eux fournissent des fruits aux animaux (33). Isolée ou non, la basse-cour comprend, outre quelques équipements spécifiques tels que des perchoirs, des mangeoires, des abreuvoirs, des pondoirs, un carré de gazon pour que les volailles puissent y paître et s'y ébattre, une ou deux mares pour les oiseaux aquatiques et un poulailler. Ainsi, la basse-cour était une production d'appoint pour les fermes.

Un des rôles importants de la volaille, souligné dans plusieurs ouvrages par les cultivateurs, concerne le nettoyage et l'entretien de la ferme en recueillant dans les fumiers et les litières les grains échappés des mangeoires ou rendus dans les excréments sans avoir été altérés par la digestion. Cela procure un double avantage : nourrir les poules « sans frais » et débarrasser les fumiers des grains pour éviter la germination de ceux-ci dans les terres, au grand détriment de la culture (28,34). Aujourd'hui, le terme de basse-cour est communément utilisé pour désigner l'ensemble de l'élevage non commercial et la présence de volailles domestiques chez les particuliers. Toutefois, les propriétaires de poules en milieu urbain ne se reconnaissent pas dans le terme de basse-cour et préféreront les termes de poulaillers familiaux ou même plus simplement considérer leurs poules comme de véritables animaux de compagnie. Les poulaillers pédagogiques ou participatifs sont quant à eux des poulaillers présents dans les écoles et dans des collectivités.

III.1.3 La basse-cour en France aujourd'hui

Les seules données acquises concernant les élevages non commerciaux en France datent de 2010 ; d'après une enquête réalisée par les DDCSPP, on estime la taille moyenne d'une basse-cour à 15 individus environ. Souvent, plusieurs espèces cohabitent avec une surreprésentation par les poulets (80%). Les oiseaux sont principalement maintenus pour la consommation domestique, mais ils créent aussi du revenu et des relations sociales. C'est la volaille de basse-cour qui permet d'entretenir en partie un lien entre les agriculteurs et les consommateurs, et la grande majorité des volailles de basses-cours n'appartiennent pas à des agriculteurs. Dans les basses-cours, l'élevage regroupe la production d'œufs et de viande. En ce qui concerne l'élevage de volailles de chair, la production est souvent saisonnière – l'automne dans le sud de la France et le printemps au nord. Peu de propriétaires élèvent leurs propres poussins ; le plus souvent, ils achètent des poussins ou des poulets de quatre semaines qu'on appelle « poulets démarrés » auprès d'aviculteurs du secteur 1 et 2 ou auprès d'éleveurs spécialisés.

En 2010, il y avait 132500 basses-cours appartenant à des agriculteurs, représentant 2,2 millions de volailles soit 1% de la production de volailles annuelle (20). En prenant en compte les autres espèces de volailles telles que les canards, oies, pintades et cailles. On peut estimer le nombre de volailles à 2,5 millions. Les enquêtes menées par la direction des services vétérinaires ont établi une moyenne d'une vingtaine de basses-cours par commune. En fonction de la localisation de la commune (rural ou urbain), 1 à 10% des foyers ont des basses-cours. En considérant la présence de 36 000 communes en France, il a été estimé un minimum de 700 000 basses-cours ayant 10 millions de volailles sur la base des déclarations effectuées. En considérant la très probable non-déclaration des basses-cours en milieu rural par peur des abattages préventifs en cas de crise sanitaire, la FAO estime de façon plus réaliste un effectif d'environ 1 million de propriétaires pour 20 millions de poules et 40 millions de volailles (toutes espèces confondues). Une récente étude réalisée en Belgique considère que 9,2% des foyers belges possèdent une basse-cour (35). Ainsi, si l'on considère qu'il en est de même pour la France, il pourrait y avoir jusqu'à plus de 2,5 millions de basses-cours françaises.

III.2 Aviculture familiale et de loisir dans le monde

III.2.1 Les élevages avicoles familiaux des pays industrialisés

Une vingtaine de publications scientifiques sont parues dans des journaux internationaux au cours de la dernière décennie au sujet des basses-cours (7,8,24,26,35–42). Les basses-cours sont majoritairement assez petites (inférieur à 50 individus), mais présentent un effectif variable dépendant de leur localisation (3 ou 4 poules en milieu urbain) (7,8). Les basses-cours sont principalement détenues pour la ponte (26). Elles présentent en grande majorité des poules ou des poulets, mais peuvent aussi présenter un mélange d'espèces qui peuvent être séparées ou non en fonction des contextes et des espèces (7,40).

III.2.2 Les grandes caractéristiques à l'échelle internationale

Plusieurs grandes caractéristiques sont communes aux élevages familiaux étudiés dans les pays industrialisés. Les travaux de thèse universitaire de Pohjola et al., regroupent dans le Tableau 3, l'ensemble des études réalisées dans les basses-cours des pays industrialisés (43).

Une des caractéristiques majeures de l'aviculture familiale et de loisir est sa grande diversité d'acteurs ainsi que l'hétérogénéité des pratiques d'élevages (35,37,44). Aussi, la filière avicole familiale se caractérise par une faible implémentation des pratiques de biosécurité en comparaison aux élevages commerciaux, cela ayant été montré par de nombreuses études (8,24,26,27,35–38,40,41). L'ensemble de ces caractéristiques - absence de biosécurité, grande diversité d'acteurs et importance des flux - souligne l'importance de considérer le secteur avicole familial dans l'étude des risques d'infection. Le bénéfice est double et va aussi bien à la santé des basses-cours et du propriétaire qu'aux élevages commerciaux avicoles.

Tableau 3 : Ensemble des études de pratiques des basses-cours des pays industrialisés d'après Pohjola et al., (43)

Titre	Type d'enquête et nombre de participants	Reference
Health survey of backyard poultry and other avian species located within one mile of commercial California meat-turkey flocks.	Entretien: 62 participants	(41)
Epidemiological study of Newcastle disease in backyard poultry and wild bird populations in Switzerland.	Entretien: 169 participants	(45)
Epidemiological study of Newcastle disease in backyard poultry and wild bird populations in Switzerland.	Questionnaire: 540 participants	(24)
A cross-sectional study of ownership of backyard poultry in two areas of Palmerston North, New Zealand.	Questionnaire: 20 participants	(39)
A cross-sectional study of ownership of backyard poultry in two areas of Palmerston North, New Zealand.	Questionnaire: 54 participants	(42)
Preliminary investigation of bird and human movements and disease-management practices in non-commercial poultry flocks in southwestern British Columbia.	Entretien: 18 participants	(37)
Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread.	Questionnaire: 286 participants	(35)
Backyard chicken keeping in the Greater London Urban Area: welfare status, biosecurity and disease control issues.	Questionnaire: 30 participants	(8)
Epidemiologic characterization of Colorado backyard bird flocks.	Questionnaire: 317 participants	(26)
Antibody prevalence of low-pathogenicity avian influenza and evaluation of management practices in Minnesota backyard poultry flocks.	Entretien: 150 participants	(27)
Salmonella awareness and related management practices in U.S. urban backyard chicken flocks.	Questionnaire: 382 participants	(36)
Evaluation of Maryland backyard flocks and biosecurity practices	Questionnaire: 41 participants	(40)
Backyard chickens in the United States: a survey of flock owners	Questionnaire: 1487 participants	(7)
Salmonella knowledge, attitudes and practices: A survey of backyard poultry owners residing in Seattle, Washington and the surrounding metropolitan area.	Entretien et enregistrement vidéo: 50 participants	(38)

III.3 Aviculture familiale et de loisir en France

III.3.1 Son importance

L'élevage de volailles de race en France est très développé. D'après la FAO, on compte en 2010, entre 40000 et 60000 éleveurs de ce type, entretenant ainsi la diversité génétique avicole qui compte environ 320 races, dont au moins 45⁴ françaises (6) (Tableau 4). Cela représenterait entre 2 et 5% des élevages familiaux présents en France. Les éleveurs adhèrent le plus souvent à des associations locales ou nationales (ex. : sociétés locales, clubs de races, associations nationales). Les associations font partie de la SCAF (Société Centrale d'Aviculture de France) et plus particulièrement de la FFV⁵ (Fédération Française des volailles). Il y aurait environ 20 000 propriétaires membres de 200 associations avicoles (29).

Il existe une grande variété de races, des races hybrides modernes et productives aux races traditionnelles françaises (Annexe 1). Elles se différencient par leurs performances de ponte et/ou de croissance, leur rusticité et leur durée de vie. L'existence de certaines races de poules traditionnelles remonte à la fin du XV^e siècle et les premiers standards de race sont définis en seconde moitié du XIX^e siècle. Certaines races portent le nom lié à leur origine et lieu de production. Des connexions au niveau international existent aujourd'hui de par les échanges entre éleveurs passionnés et par les expositions et concours (Entente Européenne d'Aviculture et de Cuniculture, Association Européenne des Volailles Rurales). La plupart des associations font des efforts pour la protection des races avicoles nationales. Parmi elles, certaines se consacrent à des espèces ou races plus spécifiques comme le Pigeon (22 000 éleveurs dans 900 clubs), les coqs de combats (5000 propriétaires) et les canards appelants (15 000 propriétaires).

Tableau 4 : nombre d'associations, races, propriétaires et volailles dans les différents sous-types du secteur 4 aviculture de loisir

Type d'éleveur	Source d'information	Nombre d'associations	Nombre de races françaises	Nombre de races totales	Nombre de propriétaires	Nombre moyen par propriétaire	Effectif total
Basse-cour	DDSVs, FFV	200	45 ⁶	320	20 000	35	600 000
Pigeons	FCF	900			22 000		2 000 000
Coqs de combat	CFCN	1	2		5 000	10	50 000
Canard appelant	DGAL, DDSVs				15 000	33	500 000
Total		> 1000	> 70	> 320	> 60 000	30	> 3 000 000

⁴ D'après le rapport de la FAO, publié en 2010, le tableau indique 68 races françaises. D'après M. Périquet, auteur de nombreux livres sur les races de volailles françaises, il semblerait qu'il n'y ait que 45 races françaises. Le chiffre a donc été modifié en comparaison au tableau initial.

⁵ La FFV (Fédération Française des Volailles) est en réalité la « Fédération française des sociétés d'éleveurs de gallinacés et de palmipèdes »

Les éleveurs adhérant à des associations nationales ou locales sont souvent animés par la passion de l'élevage et par la volonté de préserver un patrimoine génétique diversifié. On distingue plusieurs niveaux au sein du système associatif français :

Les clubs avicoles locaux (ou associations locales) généralement multi-espèces (volailles, lapins et pigeons) regroupant des éleveurs d'une commune ou d'un département.

Les clubs de race nationaux ou clubs spécialisés incluant une ou plusieurs races

Les sociétés et fédérations avicoles nationales : la SCAF qui englobe toutes les composantes de l'aviculture française et la FFV qui centralise et fédère les clubs spécialisés de races de volailles et de palmipèdes.

Ils sont organisés selon la Figure 6 présentée ci-dessous (46) :

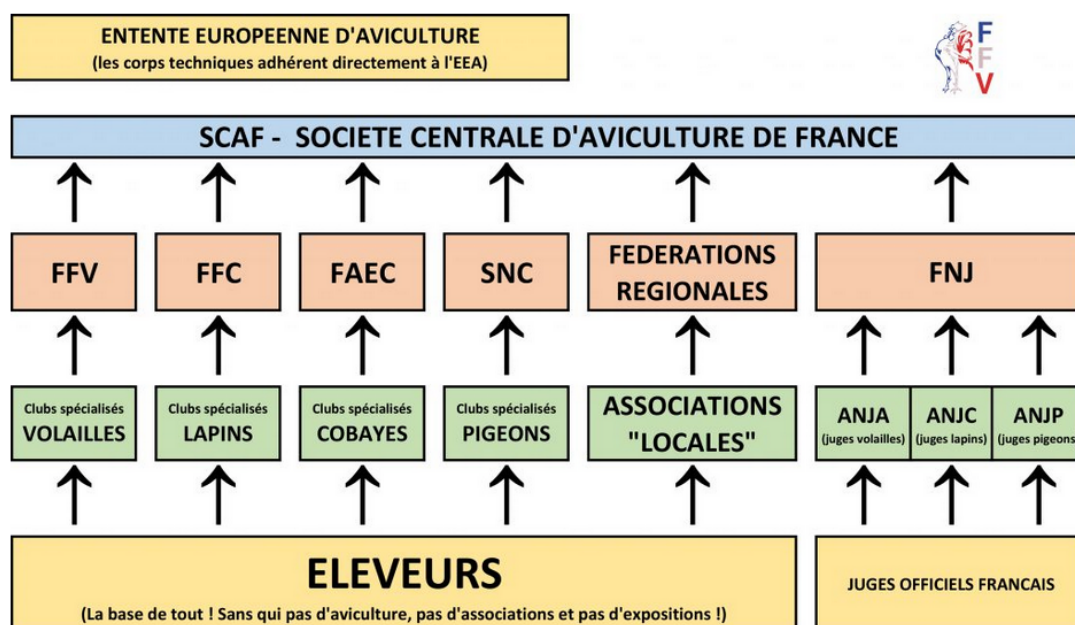


Figure 6 : Organisation de l'aviculture de loisir en France (46)

III.3.2 Ses caractéristiques

La Figure 7 représente de façon schématique la structuration de la filière avicole familiale et de loisir en France. Si les systèmes de production en intégration sont schématisés par une pyramide (cf. Figure 3 en infra), ce n'est pas le cas pour l'aviculture familiale constituée d'une plus grande diversité de sélectionneurs-multiplicateurs qu'on peut diviser en deux groupes : les « professionnels » dont c'est l'activité rémunérée principale (ou secondaire) et qui produisent à large échelle, et les particuliers/amateurs pour qui la sélection/multiplication est une passion, dont la rémunération n'est pas le moteur principal et pour qui l'activité peut apporter un complément financier. On peut citer dans les sélectionneurs-multiplicateurs le centre de sélection de Bechanne⁷ permettant la vente d'oiseaux de race sélectionnés à grande échelle.

La filière familiale est aussi caractérisée par sa grande diversité de canaux de vente et/ou échanges d'oiseaux et la pluralité de ses flux : élevages commerciaux du secteur 1 et 2, jardineries animaleries (Truffaut©, Botanic©), marchés aux volailles vivantes, magasins de coopératives (ex. Point Vert©, Gamm Vert©). Les basses-cours et poulaillers familiaux de particuliers ne font en général ni élevage ni reproduction, ils sont la destination des sélectionneurs-multiplicateurs. En opposition à la filière commerciale, des échanges existent entre les sélectionneurs-multiplicateurs amateurs par les échanges/ventes d'oiseaux et les expositions avicoles. En plus des flux verticaux d'oiseaux, des flux horizontaux sont fréquents dans le sous-secteur des élevages amateurs. Des échanges ont aussi été décrits entre filière commerciale et filière non commerciale (35).

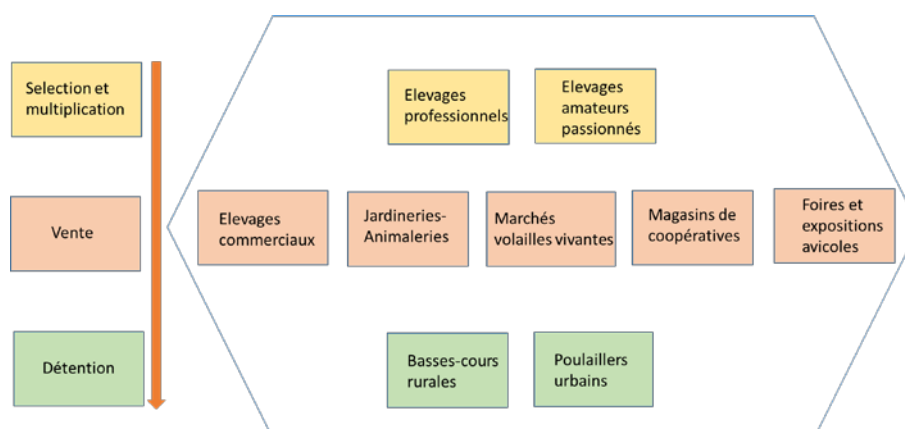


Figure 7 : Schématisation de la filière élevages non-commerciaux français

⁷ (47). Il est situé au cœur de la Bresse et a pour vocation la sélection génétique et la conservation des races avicoles locales françaises. Créé en 1956 à l'initiative des chambres d'agriculture de l'Ain et de la Saône-et-Loire, d'abord pour la sélection du poulet de Bresse, il est aujourd'hui le seul centre sélectionnant et préservant certaines races rustiques telles que le Poulet de Barbezieux (Barbezieux), la Poule Noire du Berry (Poule du Berry), la Poule d'Alsace, le Poulet Gâtinais (Gâtinaise), la Grise du Vercors, la Poule de Gournay (Gournay), la Poule Gasconne (Gasconne) et le Poulet Bourbonnais (Bourbonnaise). Il vend des animaux en direct à des particuliers et/ou éleveurs amateurs.

IV. Émergence des poulaillers familiaux et collectifs en paysage urbain

Introduction

Le rapport de l'homme à l'animal a beaucoup évolué ces dernières années, motivé par une volonté de rapprochement, et ce, plus particulièrement en milieu urbain. Ce besoin de rapprochement à l'animal a conduit à la mise en place de poules dans les jardins familiaux privés comme collectifs amorçant un réel changement démographique. Aujourd'hui, beaucoup de propriétaires détiennent des poules pour leur offrir des conditions d'élevage qu'ils jugent correctes et pour consommer des produits de qualité, et ce en réaction à la forte intensification de la production observée au cours des dernières décennies (48).

En effet, le bien-être de la poule domestique a été très discuté dans les pays développés à partir du début des années 1960, lors de la mise en place de poules pondeuses dans des bâtiments-cages. Cette industrialisation de la production a fait naître de nombreuses controverses concernant le bien-être animal, la production de lisier polluant dans des zones à forte densité, la menace pour la diversité biologique par la réduction des races dédiées à la production, l'introduction de résistances aux antibiotiques par une utilisation non raisonnée de ceux-ci, une sécurité alimentaire discutable du fait d'une alimentation non qualitative et/ou nécessitant l'import d'intrants extérieurs. Aussi, les fortes densités animales et les nombreux transports existants au sein des filières industrielles facilitent la multiplication et la diffusion de potentiels agents zoonotiques (49).

La prise de conscience du public sur les conditions d'élevage intensif a augmenté suite la publication d'ouvrages sur le sujet comme le livre *Animal Machines* (50) et par la prise de parole des mouvements, sociétés, professionnels, scientifiques et associations qui défendent la cause animale. On peut par exemple citer l'association L214 Ethique et Animaux qui est une des plus combative car elle milite pour l'arrêt de la consommation de produits animaux et par conséquent pour l'abolition de l'élevage en France. La considération de la place de l'animal évolue comme en témoigne la loi modernisant le statut juridique de l'animal dans le Code civil publiée au Journal officiel le 17 février 2015. L'animal est désormais reconnu officiellement par le Code civil comme « un être vivant doué de sensibilité » et non plus comme un « bien meuble » (51). Les principes directeurs du bien-être animal (BEA) repris par l'OIE se réfèrent aux « cinq libertés fondamentales » énoncées en 1979 par le Farm Animal Welfare Committee (Tableau 5).

Tableau 5 : Les 5 libertés comme éditées par le Farm Animal Welfare Committee (FAWC) (52)

Les 5 libertés	Conduite à tenir
Liberté de ne pas avoir faim ni soif	En donnant un accès facile à l'eau fraîche et une alimentation adéquate et correspondant aux besoins physiologiques de l'animal
Liberté de ne pas subir d'inconfort	En fournissant un environnement approprié : un abri, une aire de repos confortable et protégée des prédateurs
Absence de douleur, de blessure et de maladie	Par prévention, diagnostic et prise en charge rapide de l'animal malade
Liberté d'exprimer les comportements normaux	En fournissant un espace suffisant, des installations appropriées et d'autres congénères.
Liberté de peur et de détresse	En assurant des conditions de vie qui évitent la souffrance mentale (prédateurs, insécurité)

Ce sont également ces principes qui ont permis l'adoption de textes de loi concernant la protection des animaux dans les élevages, qui est une priorité de l'Union européenne et qui a inspiré la directive 98/58/CE établissant les normes minimales relatives à la protection des animaux dans les élevages (53).

Ces normes minimales prévoient :

- une surveillance continue des animaux par l'éleveur
- des bâtiments d'élevage adaptés et entretenus
- une conduite d'élevage appropriée
- des contrôles officiels réguliers

Depuis plusieurs années, des efforts sont réalisés au sein des groupements de production afin de respecter ces principes. Aujourd'hui, un étiquetage des produits respectant des cahiers des charges précis concernant le bien-être animal permet de s'assurer des modes d'élevages (54). Toutefois, les filières de production animales dites « industrielles » que sont les filières avicole et porcine souffrent toujours d'une image négative malgré l'amélioration des conditions de vie et de bien-être des animaux en élevage incitées par le 2^e pilier de la PAC constitué d'aides « au développement rural » en faveur d'une agriculture plus verte.

Aujourd'hui, une des difficultés concernant l'évaluation du BEA dans les filières de production avicole consiste en l'élaboration de critères d'évaluation faisant l'unanimité auprès des acteurs de la filière et des consommateurs. En effet, la sensibilité au bien-être animal diffère en fonction des individus conduisant ainsi à des exigences différentes en termes de conditions d'élevage (Figure 8) (55,56).

Dans un autre registre, les scandales sanitaires à répétition comme la présence de viande de cheval dans des lasagnes pur bœuf (2013), la présence de salmonelles dans du lait infantile ou de fipronil dans les œufs (2017) ont entraîné la défiance des consommateurs envers les productions industrielles et favorisé l'essor de productions alternatives de plus petite échelle. Pour toutes ces raisons, l'apparition de poulaillers en milieu urbain représente souvent une façon pour le consommateur, de se « réapproprier » son alimentation, de maîtriser les conditions d'élevage et de s'assurer individuellement du bien-être des animaux ainsi que de revenir à une production plus « locale » face à des industries agroalimentaires toutes puissantes (57).

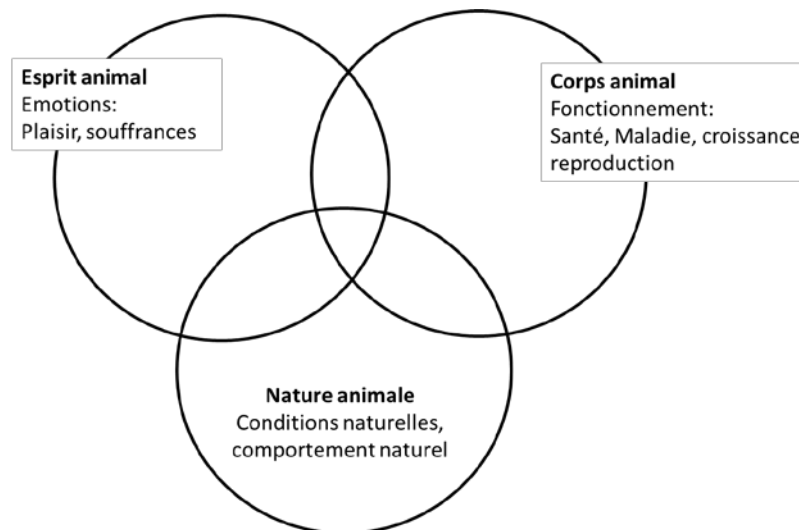


Figure 8 : Perception individuelle du bien-être animal sur la base des trois axes le définissant (58)

La mise en place de poulaillers collectifs, familiaux ou associatifs en zone urbaine fait partie intégrante de l'émergence de l'agriculture urbaine, qui s'inscrit dans une logique d'agriculture durable et alternative et qui est une réponse citoyenne à une volonté de « produire autrement ». Il semblerait ainsi que la « révolution verte » des années 1960-1990, ayant permis une forte augmentation de la productivité agricole dans le monde, ne réponde plus aux actuelles attentes citoyennes en termes de BEA, durabilité et protection de l'environnement dans les pays développés. C'est le cas notamment aux USA, au Royaume-Uni et en France (8,10,59). Pour illustration, aux États-Unis, il a été constaté une augmentation de l'étendue de l'agriculture urbaine et périurbaine de 30 à 40% entre 1988 et 2007.

Paradoxalement, l'évolution de la considération de l'animal dans nos sociétés pour plus de bien-être s'accompagne d'une perte de connaissances des propriétaires de poules concernant les mesures d'hygiène de base, la réglementation et la prévention des risques zoonotiques comme l'indiquent plusieurs études dans pays développés comme le Royaume-Uni ou les États-Unis, en particulier dans des poulaillers installés récemment (moins de 5 ans) et encore plus en milieu urbain (8,25,40). L'article présenté ci-dessous présente les opportunités et les risques environnement-santé liés aux poulaillers urbains.

Article introductif

Les poulaillers familiaux urbains : opportunités et limites de la convergence des usages dans un contexte interdisciplinaire de transition écologique.



Les poulaillers familiaux urbains : opportunités et limites de la convergence des usages dans un contexte interdisciplinaire de transition écologique

Camille Dumat, Agnès Fournier, Marie Souvestre, Jean-Luc Guerin, Dominique Dupouy, Cyril Feidt et Ariane Mélazzini-Déjean

<https://doi.org/10.4000/vertigo.21077>

Camille Dumat : CERTOP, Université Toulouse, INP-ENSAT / Association Réseau-Agriville, France, courriel : camille.dumat@ensat.fr

Agnès Fournier : Université de Lorraine – INRA, France

Marie Souvestre : École Nationale Vétérinaire de Toulouse, France

Jean-Luc Guerin : École Nationale Vétérinaire de Toulouse, France

Dominique Dupouy : Association des Jardins familiaux de Tournefeuille, France

Cyril Feidt : URAFFA, Université de Lorraine – INRA, France

Ariane Mélazzini-Déjean : Association Parole Expression, France

Résumé : La grande majorité des populations humaines réside dans les villes en 2018 et cette tendance s'intensifie. Pour répondre aux enjeux de bien-être et santé de ces populations, des projets d'alimentation durable se développent et concernent en particulier les productions de proximité, la reconnexion des consommateurs avec la production des denrées, ainsi que les considérations environnementales. C'est ainsi que des élevages non commerciaux de poules apparaissent en ville, souvent encouragés par les élus ou agences gouvernementales pour réduire aussi les quantités de déchets organiques des ménages. Afin d'inscrire dans une démarche d'amélioration continue ces nouvelles pratiques urbaines qui se démarquent des élevages traditionnels, il convient de les décrire (typologies, pratiques et règlements associés aux poulaillers urbains), puis de cerner les opportunités et les risques environnement-santé liés à ces élevages. C'est l'objectif de cette publication co-écrite par des chercheurs et associations, qui aborde de façon interdisciplinaire (environnement-santé, société, risques et réglementation) les diverses facettes des poulaillers urbains, pour éclairer les différents acteurs concernés et souligner également les lacunes de connaissances à combler.

Mots clefs : poules urbaines, valorisation des déchets organiques des ménages, nouvel animal de compagnie (NAC), bien-être animal, santé des basse-cours urbaines, interdisciplinarité, agriculture urbaine (AU), qualité sanitaire des œufs, polluants

Abstract : In 2018, the majority of human populations reside in cities and this trend is intensifying. To promote both the well-being and health of these urban populations, sustainable food projects are developing and concern in particular local production, the reconnection of consumers with food production, as well as environmental considerations. Thus, non-commercial urban poultry houses appear, often encouraged by official agencies for environment in order to reduce the amount of organic waste in households.

With the aim of continuous improvement, it's crucial to increase the knowledge about these new urban practices: typologies, practices and regulations associated, then to identify the opportunities and the potential environment-health risks related to these family urban poultry houses. This is the aim of this publication, co-written by researchers and associations, which tackles the various facets of urban poultry houses in an interdisciplinary way (environment-health, society, risks and regulation), in order to enlighten the various actors concerned and also to highlight knowledge gaps to be filled.

Keywords: Urban hens, recovery of household organic waste, new pet (NAC), animal welfare, health of urban backyards, interdisciplinarity, urban agriculture (AU), egg quality, pollutants

Introduction : Intérêt des élevages familiaux de poules en ville

La majorité des populations humaines réside dans les villes en 2018 et cette tendance s'intensifie : 70 % de la population mondiale vivra dans les villes d'ici 2050 selon l'Organisation des Nations Unies (ONU, 2017). Le Nouveau programme pour les villes et le Programme de développement durable à l'horizon 2030 soulignent tous deux l'importance de créer des villes « intelligentes et accessibles » bénéficiant à tous les citoyens, et conduisant à des avancées dans les domaines de la santé, de l'éducation et de l'énergie. Pour répondre aux enjeux de bien-être et de santé des populations urbaines, des projets d'alimentation durable se développent donc et concernent en particulier les productions de proximité, la reconnexion des consommateurs avec la production des denrées alimentaires ainsi que des considérations environnement-santé. À l'échelle globale ces dernières décennies, l'industrie alimentaire et la grande distribution se sont en effet progressivement substituées en grande partie à l'agriculture paysanne régionale, éloignant les consommateurs des producteurs (Bonny, 2005). En France, où 12 % des foyers sont en situation d'insécurité alimentaire, des actions se développent : le syndicat pour une agriculture paysanne et la défense de ses travailleurs (<http://confederationpaysanne.fr/>) a par exemple lancé en 2017 une campagne « Agriculture et Alimentation - Produire et manger à quels prix ? » pour interpeller l'opinion sur le thème de l'alimentation durable.

Cependant, les pratiques alimentaires changent depuis peu comme en témoigne le développement d'élevages non commerciaux urbains de poules. Pourquoi adopter une poule en ville? Plusieurs raisons sont spontanément évoquées par les propriétaires : ces volailles sont autonomes et de bonne compagnie (appréciées des enfants), leur entretien est peu contraignant et économique, elles fournissent quotidiennement des œufs frais, participent au recyclage des déchets alimentaires (les poules permettent aux collectivités locales de réduire les coûts de traitement des ordures) et fournissent un engrais naturel (Mouterde & El Hadj, 2015). Né aux États-Unis, l'élevage de poules urbaines a de plus en plus d'adeptes dans le monde depuis une décennie. En France, l'envol de la poule urbaine est attesté par les ventes en hausse de poules pondeuses aux abords des grandes villes (Duretz, 2015). Les petits élevages urbains de poules sont souvent encouragés par les élus, associations et agences gouvernementales, qui y voient le moyen de réduire les quantités de déchets organiques des ménages. De plus, les poules sont des animaux attachants et peu contraignants selon les responsable oiseaux de grandes enseignes d'animalerie et de jardinage (Truffaut ou Jardiland) qui ont observé en 2014 une croissance annuelle de 50 % des ventes de poules pondeuses (40 000 volailles vendues en 2013 en France par l'enseigne Truffaut).

En 2017, les assises nationales de l'alimentation ont en particulier mis en évidence les préoccupations éthiques des consommateurs sur la manière dont les animaux sont nourris, élevés, soignés (usage des antibiotiques) et abattus. L'extrême productivité des souches sélectionnées ces dernières années (au détriment de la biodiversité animale domestique des gallinacés), combinée aux méthodes de l'élevage industriel des poules en cages ou des poulets en milieu confiné ont fait chuter les prix des œufs et des poulets. Cette intense concurrence a conduit à la réduction de l'élevage en Europe et à une modification de la génétique des races de poules dans les élevages. Source de protéines, la poule était pourtant présente autrefois dans toutes les fermes, maisons ouvrières et jardins familiaux. Facile à élever sur des surfaces modestes (4 à 10 m² pour deux individus) la poule permet actuellement aux consommateurs de garder un lien avec l'élevage. Certaines précautions (réglementation, voisinage, alimentation, etc.) doivent cependant être respectées pour accroître les avantages des poulaillers urbains tout en favorisant le bien-être des poules et en limitant les potentielles nuisances (Terraeco, 2017).

Selon la Fondation Nature-Homme (2017), construire une alimentation durable est un véritable projet de société avec des enjeux cruciaux pour la santé, les écosystèmes, la biodiversité, les paysages, le terroir, la culture, l'emploi, etc. Pour conclure les états généraux de l'alimentation, le premier ministre français (Philippe, 2017) a affirmé l'importance de la confiance des consommateurs en illustrant ses propos avec la récente crise sanitaire du Fipronil dans les œufs : « Qu'a-t-elle montré? Eh bien que l'opinion a réagi avec vivacité. Avec inquiétude même. Mais cette séquence a aussi montré qu'avec de la transparence, de la pédagogie et des preuves de traçabilité, la profession a su rassurer et renforcer la confiance du consommateur ». Les Français connaissent en effet une véritable histoire d'amour avec les œufs selon l'enquête menée en 2017 par CSA pour le Comité national pour la promotion de l'oeuf (CNPO) : 96 % des Français consomment des œufs, et 98 % des consommateurs disent vouloir maintenir ou augmenter leur consommation d'œufs.

« Manger mieux, local, sainement et mieux connaître la composition des denrées consommées » sont des objectifs énoncés comme prioritaires lors des états généraux de l'alimentation. L'objectif de 50 % de produits issus d'agriculture biologique, locaux ou écologiques dans la restauration collective d'ici la fin du quinquennat (sous la présidence de Macron E.) est inscrit dans la loi, et le Gouvernement français vise l'objectif de 15 % de surface agricole utile française en agriculture biologique pour 2022, contre 6 % aujourd'hui. Ont également été énoncés comme des priorités, la lutte contre le gaspillage alimentaire et le renforcement des sanctions pour le non-respect des règles de bien-être animal, qui sont actuellement de 6 mois d'emprisonnement et 7 500 euros d'amende et passeront bientôt à un an et 15 000 euros d'amende. Les ONG pourront se porter partie civile en cas de procédure à la suite de mauvais traitements, au titre du Code rural et de la pêche maritime.

Dans ce contexte très favorable au développement des agricultures urbaines durables à l'échelle globale, les gallinacés ont le vent en poupe dans les villes! Pour inscrire dans une démarche d'amélioration continue ces nouveaux élevages urbains (qui se démarquent des élevages traditionnels productifs et impliquant des races de poules issues des schémas intensifs), il est donc pertinent, de cerner leurs typologies, la réglementation en vigueur, les opportunités et les risques environnement-santé à éviter. C'est l'objectif de cette publication co-écrite par des chercheurs et associations qui abordent de façon interdisciplinaire (agroécologie, santé humaine et animale, sciences humaines et sociales, risques et réglementation) les diverses facettes de ces poulaillers urbains afin d'éclairer les acteurs impliqués. Les enjeux et les lacunes de connaissances à combler pour consolider l'expertise et améliorer ainsi raisonnablement les pratiques sont discutés dans un esprit d'ouverture et de transition : l'industrie agro-alimentaire ainsi que la production de proximité ont actuellement leur place dans la société pour assurer une diversité de denrées accessibles à tous.

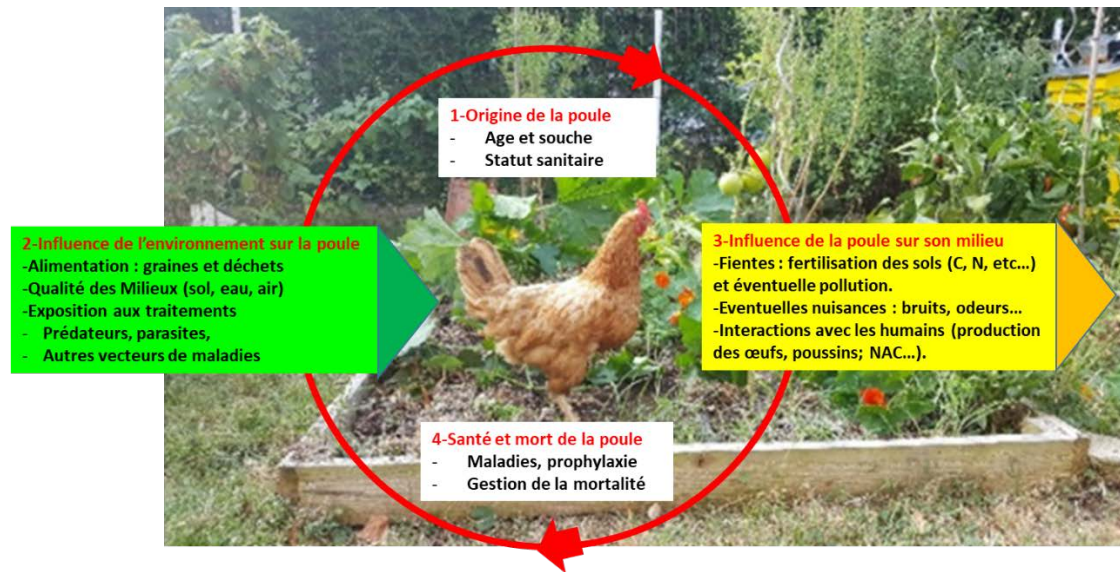
Les poules urbaines : des vecteurs de transition écologique?

La poule urbaine mobilisée pour des projets concrets d'alimentation durable

Une publication du Centre d'Observation de la Société intitulée « Quelle insécurité alimentaire aujourd'hui en France? » et datée du 20 février 2016, conclue sur le manque de données disponibles pour répondre à cette question! Cependant, 3,9 millions de personnes (soit environ 6 % de la population totale) utilisent les services de l'aide alimentaire, 3,3 % de la population n'avait pas pris de repas durant une journée entière au cours des deux dernières semaines et 7,5 % n'avaient pas les moyens de manger de la viande tous les deux jours (enquête sur les conditions de vie des ménages de l'Insee, 2012). Une étude plus ancienne (2005-2007), menée par l'Agence nationale de la sécurité alimentaire (Anses, étude Inca2) évaluait à 12,2 % la part de la population en situation « d'insécurité alimentaire », définie comme la population qui déclare ne pas avoir assez à manger, « souvent » ou « parfois », ou « ne pas pouvoir manger tous les aliments qu'elle souhaite pour des raisons financières ».

Pour promouvoir une alimentation plus juste et durable, la confédération paysanne propose d'accroître l'implication de la société civile dans les politiques alimentaires. L'idée de démocratie alimentaire, propose de dépasser le statut de consommateur pour le remplacer par celui de citoyen, qui a un poids politique sur les décisions prises, et qui concerne l'ensemble des habitants des territoires. Les enjeux de l'alimentation structurent aussi l'environnement, le bien-être animal, etc. Des politiques d'éducation à la démocratie alimentaire doivent accompagner les citoyens pour qu'ils maîtrisent les enjeux et le fonctionnement des instances pour connaître leurs droits, prendre conscience de leur poids politique dans le cadre du Programme national nutrition santé (PNNS). C'est également la posture du Professeur De Schutter (2017) président de l'International Panel of Experts on Sustainable Food Systems (IPES-Food). Il décrit un système agricole mondial caractérisé par 800 millions de personnes qui souffrent de la faim, et conclue à l'urgence de changer de mode de décision pour viser la démocratie participative dans le monde agricole et vaincre les freins à la transition. Ces freins à la transition sont les suivants : la pensée en silos et à court terme qui rendent la réflexion globale difficile; l'idée que certaines nations doivent « nourrir le monde » alors qu'une consommation plus locale de produits frais, relocalisée est plus durable; la concentration des pouvoirs entre les mains de grandes compagnies; une dépendance au chemin de développement des dernières décennies; un système qui privilégie les exportations; l'attente du prix bas; des indicateurs de mesure des rendements erronés. Les freins à la transition agroécologique ont été décrits par Magrini et al. (2016) dans le cas des cultures de légumineuses : une situation de blocage technologique résulte de la coévolution des systèmes de culture, basée sur un paradigme agrochimique, des politiques publiques et une dynamique de marché favorisant les céréales. Ce processus a commencé avec le choix historique des institutions publiques européennes et françaises de reléguer les légumineuses en concurrence directe avec le soja importé. En outre, des facteurs interdépendants, tels que la sélection des races, les subventions publiques et les systèmes alimentaires, ont favorisé des rendements d'adoption croissants pour les céréales au détriment des légumineuses. Dans ce contexte de réflexions sur une transition vers une alimentation plus juste, saine et durable, comme illustré par la figure-1, les poulaillers urbains participent pleinement à la formation de l'espace public sur ce thème polysémique.

Figure 1. Analyse du cycle de vie (ACV) de la poule depuis l'origine à la fin de vie, avec les grandes étapes pour lesquelles des transferts de matières, polluants, maladies peuvent se produire : origine de la poule, influence de l'environnement sur la poule, influence de la poule sur son milieu, santé et mort de la poule. Dumat & Souvestre (2018).



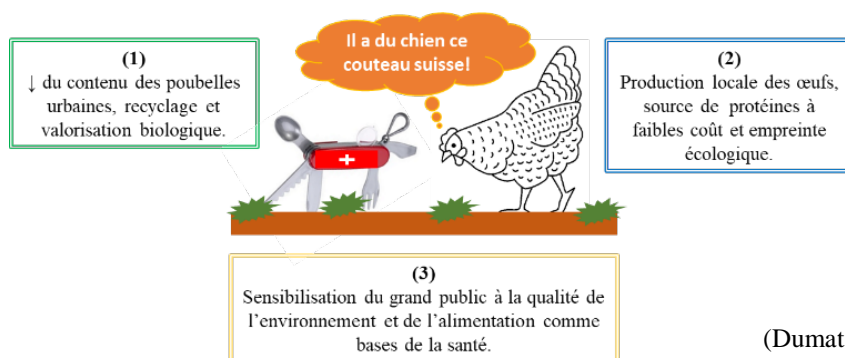
Des interactions avec les cycles biogéochimiques (C, N, P, métaux, polluants organiques) se produisent à l'interface poule/environnement. Ce schéma global fait écho aux chapitres développés dans le présent article. En effet, sur l'ensemble du cycle de vie de la poule plusieurs étapes nécessitent de se poser des questions environnement-santé. En conclusion de son discours aux États généraux de l'alimentation (2017), le premier ministre français insistait d'ailleurs sur la dimension progressive du changement en citant Antoine de Saint-Exupéry : « Ce qui sauve, c'est de faire un pas. Encore un pas ». Les poulaillers urbains répondent en effet directement à deux grands enjeux concrets et cruciaux pour des villes durables : la sécurité alimentaire et la réduction des quantités de déchets, et ils favorisent aussi la mobilisation des acteurs intéressés par la démocratie participative essentielle pour légitimer les réformes. Dans le cadre de son programme général « Nourrir la ville », le Service Agenda 21 –Ville durable de la ville de Genève travaille sur trois axes principaux : (i) promotion des produits agricoles locaux; (ii) sensibilisation au « bien manger » et (iii) agriculture urbaine (Genève, ville durable, 2016). Le projet « Cocorico » propose ainsi aux citoyens de réintroduire les poules dans les quartiers et les jardins grâce à l'installation de petits poulaillers qui animent les espaces urbains et fournissent des œufs et poulets de proximité « produits de manière durable ». En effet, dans une perspective de « souveraineté alimentaire », la ville de Genève estime fondamental d'impliquer les citoyens dans la réflexion. Les poules sont ainsi présentées comme un moyen concret, ludique, simple et pédagogique pour ouvrir le débat global sur ce que l'on mange et aussi sur la place des animaux dans notre société. Une brochure « Cocorico, ramenez les poules dans vos quartiers! » est distribuée aux habitants de la ville (Genève, ville durable, 2016), elle décrit pour les particuliers les nombreuses raisons de créer leur propre poulailler et aussi des indications techniques de base pour le réaliser. Par ailleurs, la fondation Bill et Melinda Gates s'associe avec l'ONG Heifer International pour donner 100.000 poules à des familles démunies d'Afrique subsaharienne (Lascar, 2016). Gates développe son argumentaire sur son blog : « Il est très clair pour moi que quiconque vivant dans une extrême pauvreté ira mieux avec des poulets ». C'est à l'issue de ce constat que Bill Gates a décidé, avec l'aide de différents partenaires, de créer des « systèmes durables pour le marché des volailles », avec l'objectif d'aider 30 % des familles rurales en Afrique subsaharienne.

La poule au service de l'économie circulaire urbaine

En Europe, les poules domestiques font l'objet d'un véritable engouement depuis 2010 et dans le cadre de leurs programmes de gestion des déchets, de nombreuses communes tentent l'expérience. En France, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) développe des actions pour réduire les déchets à la source (dématérialisation) telle « OPTIGEDE », plate-forme d'échanges et de diffusion d'outils et de retours d'expérience sur la prévention et la gestion des déchets (<http://www.optigede.ademe.fr/>) destinée aux collectivités et aux entreprises. La poule est une des pistes soutenues par l'Ademe pour réduire la fraction organique des déchets ménagers. Une émission sur ce sujet est d'ailleurs disponible sur France Inter (2017) : « Des poules municipales en cadeau pour réduire nos poubelles ». Sur OPTIGEDE, un espace dédié concerne le partage d'expériences de l'opération « Adopte une poule » (<http://optigede.ademe.fr/fiche/adopte-une-poule>) qui devenue populaire par son côté insolite : bien que les animaux de basse-cour se nourrissent de nos déchets depuis toujours, l'utilisation des poules pour réduire les déchets est « une nouveauté » en passe de devenir un outil complémentaire au compostage et lombricompostage. Les opérations de distribution de poules créent souvent le « buzz » et un effet boule-de-neige (ainsi des écoles ou des mairies se lancent dans l'aventure).

Dans le cadre de son programme local de prévention des déchets, le Trigone, syndicat mixte de production d'eau potable et de traitement des déchets du Gers, a été soutenu par l'Ademe (2013-2015) pour développer une expérimentation qui consistait à utiliser des poules afin de réduire les déchets des ménages et collecter des chiffres fiables sur la consommation des biodéchets par les poules et la production d'œufs (<http://www.optigede.ademe.fr/fiche/experimentation-des-poules-pour-valoriser-les-biodechets>). Quatre-vingts foyers témoins gersois se sont portés candidats pour accueillir chez eux deux poules ainsi qu'un kit pour mener à bien cette opération. Les objectifs concrets de ce projet étaient : (i) quantifier puis valoriser les biodéchets des ordures ménagères des foyers témoins; (ii) proposer des œufs « en circuit court » pour les foyers volontaires; (iii) accompagner des ménages vers une pratique pédagogique (enfants) et sociale; (iv) économiser les frais liés à la collecte, au transport et traitement pour les 16 tonnes estimées de biodéchets éliminés par les poules. Dans une démarche d'alimentation durable, les urbains sont incités par diverses collectivités et organismes publics à mettre en place un poulailler dans leurs jardins. Tel le couteau suisse (Figure-2), la poule apparaît en effet comme un « outil multifonction de développement durable » : (i) réduction du contenu des poubelles urbaines par un recyclage et une valorisation biologique des déchets (qui sont transformés en œufs); (ii) production locale des œufs qui représentent ainsi une source de protéines à faible coût et une empreinte écologique réduite pour les foyers; (iii) sensibilisation du grand public à la qualité de l'environnement et de l'alimentation comme bases de la santé.

Figure 2. La poule, un « outil multifonction de développement durable » : (i) réduction du contenu des poubelles urbaines par un recyclage et une valorisation biologique des déchets; (ii) production locale des œufs qui représentent ainsi une source de protéines à faibles coût et empreinte écologique pour les foyers; (iii) sensibilisation du grand public à la qualité de l'environnement et de l'alimentation comme bases de la santé.



(Dumat, 2018)

La poule gasconne, race autochtone élevée par une poignée de passionnés a été sélectionnée par les élus du syndicat mixte pour affirmer leur soutien à la filière agricole du département. Les résultats quantitatifs obtenus (Ademe, 2015) sont les suivants : en moyenne par mois, 1 poule consomme 6 kg de biodéchets et produit 16 œufs; soit environ en moyenne pour une année et deux poules 150 kg de biodéchets consommés et presque 400 œufs produits. Par ailleurs, cette action inédite a été très appréciée du grand public. Les retours des foyers témoins ont été très positifs, car cette expérimentation a permis de réunir la famille autour d'une thématique : responsabilisation des enfants sur l'alimentation des poules, transformation des œufs, suivi des quantités de déchets, nettoyage et entretien du poulailler.... L'action s'est également révélée intéressante pour l'image du syndicat, car le traitement des déchets n'est pas un sujet « glamour », alors que cette opération avec des poules permet de parler des bio-déchets et aussi de gaspillage alimentaire ou de compostage...

Selon les calculs réalisés par l'Ademe en 2015 à partir des tonnages des poubelles des ménages (hors déchets verts) collectées par les collectivités locales, un habitant produit en moyenne 300 kg d'ordures ménagères par an (<http://www.cniid.org/Les-dechets-en-France-quelques-chiffres>) et une poule peut annuellement ingérer jusqu'à environ de 75 kg de déchets organiques (restes de nourriture, épluchures, pain dur, etc.) et produire 200 œufs. En complément d'une ration de céréales, deux poules peuvent ingurgiter jusqu'à 100 kg de déchets organiques par an. Si 100 familles adoptent deux poules, c'est jusqu'à 10 tonnes de déchets organiques qui peuvent être détournés de la collecte des ordures ménagères résiduelles annuellement. Soit une économie potentielle de 1745 € par an pour la collectivité (prix moyen de la tonne collectée et traitée : 174.52 € en 2015). La poule présente donc plusieurs avantages : elle consomme les déchets et pond des œufs (récompense plus « ludique » que le compostage qui reste cependant incontournable pour certains déchets organiques tels que les broyats de branches, feuilles, etc.) et elle amène également de la compagnie (dans le foyer et aussi entre foyers avec les poulaillers partagés entre voisins). D'abord initiée par la Belgique puis l'Alsace, la Sarthe, le Val de Marne, etc. La distribution de poules aux habitants contre bons soins prend donc de l'ampleur. C'est en effet un investissement rentable à moyen terme pour les communes, en plus d'être une initiative positive pour le développement durable. Des sites internet proposent ou communiquent sur des opérations de poulaillers urbains dans toute la France, avec pour but de sensibiliser et former le grand public à la gestion autonome des bio-déchets : « adopteunepoule.fr » ou <http://fermedubonheur.forumactif.org/>. De nombreux projets décrits sur ces sites illustrent la dynamique à l'œuvre autour des poulaillers urbains. Le tableau-1 présente un récapitulatif non exhaustif d'initiatives pour réduire les quantités de déchets organiques.

Tableau 1. Récapitulatif non exhaustif d'initiatives de poulaillers urbains développés pour réduire les quantités de déchets organiques mis en décharge.

Projet	Objectifs	Organisation
Poulaillers familiaux proposés par la municipalité de Châtillon (Hauts-de-Seine).	Tester une piste en matière de réduction des déchets : sensibiliser au gaspillage alimentaire et au tri, les enfants et adultes.	Deux poules et un poulailler fournis en 2014 à 20 foyers sélectionnés. En échange, chaque foyer pèse ses déchets pendant six mois.
Poulailler communal proposé par la commune de Viller les Pots (Côte d'or).	Mesurer l'impact effectif de cette méthode originale et peu onéreuse de réduction des déchets, tout en sensibilisant les citoyens à cette problématique.	En mai 2013, un poulailler communal d'une dizaine d'occupantes pour les 1050 habitants de la commune a été inauguré. Les enfants s'occupent de son entretien et les parents apportent leurs déchets aux gallinacés.

Poulaillers familiaux proposés par la Commune de région de Blain.	« J'adopte une poule, je réduis mes déchets ».	Mise en place chez les habitants en 2016 de 100 poulaillers fabriqués par un ESAT à Lannion avec 2 poules traditionnelles (soit 200 en tout). Deux réunions publiques ont été organisées avec remise d'un guide d'élevage aux foyers participants.
Poulaillers pédagogiques proposés par le syndicat de valorisation des déchets de la zone centrale Côtes d'Armor (SKerval Centre Armor).	Démarche « Territoire Zéro Déchet, Zéro Gaspillage » : réduire et/ou détourner un maximum de déchets organiques des ordures ménagères.	Programme suivi par le Ministère de l'Environnement et financé par l'Ademe. Implantation en 2016 de 5 poulaillers pédagogiques, à vocation expérimentale, puis d'autres poulaillers sont installées jusqu'en 2018 en fonction des demandes.
Distribution de poules pondeuses aux habitants par le syndicat inter-départemental mixte pour l'équipement rural (SIMER) de Montmorillon (86 500).	Atteindre en 5 ans une baisse de 7 % de la quantité de déchets produits sur le territoire.	Le SIMER s'est engagé avec l'ADEME en 2012 dans un programme de réduction des déchets. Au regard de l'engouement que présente les poules sur le territoire français, l'opération « R'œuf cyclage » a été lancée en 2014 avec d'une part, le test auprès de 10 foyers témoin de l'impact de la poule pondeuse sur la production de déchets et d'autre part une distribution à grande échelle de poules à la population.

Cette réduction des quantités de déchets organiques et le plaisir d'avoir des animaux sont deux moteurs importants qui incitent les citoyens à créer des poulaillers familiaux urbains. L'acquisition et l'élevage d'un petit parterre de poules pondeuses exercent un attrait renouvelé dans les familles urbaines. Le plaisir des yeux, le plaisir enfantin de ramasser un œuf encore chaud, de le manger en famille ou de l'offrir à son(a) voisin(e), tout comme la volonté de recycler une part de ses déchets organiques, justifient cet intérêt. Sous réserve de certaines précautions présentées juste après, le développement des poulaillers urbains apparaît donc comme un vecteur efficace de transition écologique et d'alimentation durable.

Prise en compte des considérations environnementales, sanitaires et réglementaires pour des poulaillers urbains durables.

Aspects environnementaux des poulaillers urbains

L'élevage de poules en ville s'est développé aux États-Unis au début des années 2000, où la majorité des agglomérations l'a progressivement légalisé. Par exemple, l'association new-yorkaise Just Food aide des groupes d'habitants du Bronx, du Queens ou de Brooklyn à doter leur jardin communautaire d'un poulailler. C'est aussi dans cet objectif que la ferme pédagogique de Paris (<http://equipement.paris.fr/ferme-de-paris-6597>) a organisé en février 2015 sur son site du bois de Vincennes (1, route du Pesage - Bois de Vincennes 75012 Paris) une réunion d'information publique intitulée « Comment faire un poulailler en ville? » animée par un vétérinaire avicole (Boukaïba A.) et un formateur en prévention des déchets (Fasquel J.J) qui a réuni 60 personnes (femmes et hommes de 20 à 70 ans). Cette réunion a parfaitement illustré la variabilité des projets portés par les citoyens : Guylaine songe à ouvrir une cafétéria autonome, deux poules capables d'engloutir 150 kg de déchets par an (données Ademe, 2015) seraient des alliées; Gérard, retraité du XIXe arrondissement de Paris, voit dans le

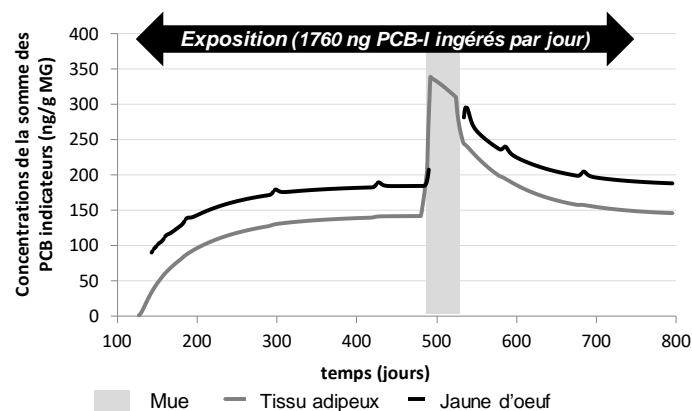
poulailler un moyen d'animer son jardin partagé; Frédéric tente de transformer un terrain abandonné dans le XVIII^e arrondissement de Paris, en un lieu de vie du quartier, un poulailler attirera le voisinage; Des professionnels de l'agriculture urbaine, permaculteurs passionnés et membres de jardins partagés complètent l'assemblée : Le Pouce vert, Vergers urbains, le jardin des Deux Lauriers, etc. L'espace est le premier défi d'un poulailler urbain selon Fasquel J.J. qui, avec quinze autres familles, a accueilli six poules au jardin Santerre, dans son immeuble du XII^e arrondissement de Paris; terrains vagues, cours d'immeubles et toits peuvent faire l'affaire pour installer un poulailler (Terraeco, 2017). Dans une démarche de développement durable, il est cependant indispensable de prendre en compte pour un élevage sur sol, les quantités de déjections riches en azote produites par les poules. Le calcul suivant est proposé (Terraeco, 2017) : sachant qu'une poule produit environ 90 grammes de fiente par jour, qu'il y a 26 kg d'azote organique par tonne de fiente et que le sol est capable d'en absorber 170 kg par hectare, 340 m² sont requis pour quatre poules, juste pour l'épandage (qui peut se faire par le biais du compost et sur différents terrains), ce à quoi il faut ajouter le terrain, sur lequel les gallinacés pourront gambader soit 4 mètres carrés par poule en bio.

Par ailleurs, l'environnement urbain est souvent marqué par les activités anthropiques (industries, chauffage urbain, trafic routier, etc.), à la fois passées et actuelles, comme illustré par les bases de données BASOL (sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif) et BASIAS (Inventaire historique des sites industriels et activités de service). Ainsi, la présence de contaminants de natures diverses dans l'environnement urbain (Pierart et al., 2018; Dumat et al., 2016; Clark et al., 2008) et/ou parfois les déchets consommés par les poules peuvent affecter la qualité sanitaire des œufs : par exemple, la teneur en plomb dans les pommes de terre peut passer de 0,2 mg/kg MF sans épluchage à 0,01 après épluchage (Samsøe-Peterson et al., 2002). Les sols urbains sont essentiellement pollués par des métaux (Chenot et al., 2013) et/ou par des composés organiques, tels les hydrocarbures et les HAP (OSUNA, 2017). Il est donc important d'attirer l'attention des différents acteurs impliqués dans le développement durable des poulaillers urbains sur les facteurs environnementaux à maîtriser afin d'optimiser la qualité sanitaire des œufs et sur l'importance d'une démarche d'anticipation et de prévention des risques chimiques. Selon Travel et al. (2008), les polluants organiques persistants (POP), bioaccumulables et lipophiles, sont actuellement les plus pertinents à contrôler dans le cas des élevages familiaux.

Quel que soit l'initiative développée mettant en scène des poules en élevage familial urbain, il est donc nécessaire de tenir compte de la qualité de l'environnement de celles-ci, que cela concerne les matrices environnementales (air, sol, eau, végétaux, pédofaune) ou encore les matrices mises à disposition des poules de façon volontaire (épluchures de légumes, cendres) ou situées à proximité de celles-ci : matériaux divers : plastiques, bois traités. Les poules ont en effet un comportement naturel exploratoire de picage qui se trouve être exacerbé par certains facteurs pouvant être présents en élevage familial : petit effectif (Sørensen et al., 2014; Kijlstra et al., 2007), faible couvert végétal, ration alimentaire déséquilibrée... Ce comportement favorise donc l'ingestion par les poules de matrices issues de leur environnement. Or ces matrices peuvent être une source d'exposition à différents polluants organiques persistants et aux éléments traces métalliques (ETM), comme l'ont montrées différentes études de corrélation entre le niveau de contaminants présents dans les œufs et dans le sol du parcours des poules (Windal et al., 2009; Pirard et al., 2005). C'est une des raisons qui expliquent que des œufs de poules issues d'élevage plein air et notamment de petits élevages familiaux sont parfois plus contaminés que les œufs de poules d'élevage conventionnel (Travel et al., 2008; CONTEGG, 2008).

Certaines pratiques d'élevage sont donc plus à risque que d'autres en termes d'exposition de la poule. D'autres éléments sont également à considérer pour comprendre pourquoi la poule des élevages familiaux peut être plus sensible à la contamination. En effet, elle peut être de race moins productive que les races classiquement utilisées en élevage commercial, qui sont sélectionnées pour avoir une intensité de ponte élevée. Cela a un impact sur le niveau de contamination des œufs, car une fois ingéré le polluant est absorbé, distribué et/ou stocké dans les tissus, et/ou métabolisé et enfin il peut être éliminé via l'œuf. L'œuf est alors un produit qui reflète la qualité de son environnement. Ce transfert vers l'œuf s'effectue via un dépôt de polluants en même temps que le dépôt de lipides du jaune d'œuf lors de la formation de ce dernier. Plus la charge de l'organisme en polluant est importante plus la concentration de polluants dans l'œuf est élevée. Ainsi, dans le cas d'une intensité de ponte moindre (en comparaison avec une poule très productrice), la charge de polluant dans l'organisme de la poule augmente (car la sortie est moindre) et avec elle la charge en polluant dans les œufs pondus (Fournier et al., 2015). De même, la poule de particulier, contrairement à la poule d'élevage conventionnel, est généralement gardée plusieurs saisons de suite et subit donc plusieurs cycles de ponte, qui sont intercalées de périodes de mues durant lesquelles la ponte s'arrête (Sauveur, 1988). Là encore, l'effet de l'arrêt de la sortie du polluant via les œufs, est visible sur la concentration de polluants dans les œufs lors de la reprise de ponte comme illustré par la figure 3. De même, l'état d'engraissement de la poule peut aussi avoir une influence sur la dynamique des polluants (Fournier et al., 2015).

Figure 3. Cinétiques des concentrations de polychlorobiphényles indicateurs (PCB-I) dans le tissu adipeux de la poule et dans le jaune d'œuf, simulées durant les 800 premiers jours de vie de la poule pondeuse, avec un niveau d'engraissement de 18 % et un taux de ponte maximal de 99 %. La poule subit une exposition chronique (d'après Fournier et al., 2015).



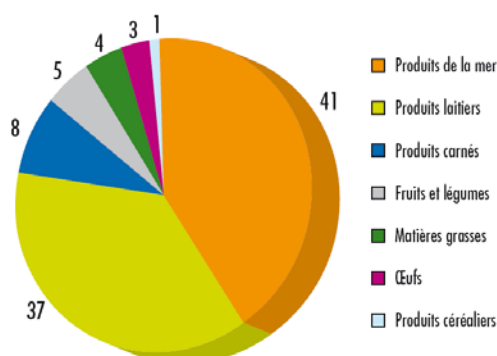
Réduire les risques d'exposition à la source est donc la démarche la plus efficace et qui est préconisée dans plusieurs règlements (REACH en Europe, ICPE et gestion des sites et sols pollués en France). Par exemple, après le 31 mai 2018, il ne sera plus possible aux entreprises de fabriquer ou importer des substances chimiques à plus d'une tonne par an, si elles n'ont pas été enregistrées selon le règlement européen n°1907/2006 REACH (EnRegistrement, Evaluation, Autorisation, Restrictions des substances CHimiques) entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne (<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/reglementation-reach>, 2017). Il s'agit de recenser, d'évaluer et de contrôler les substances chimiques fabriquées, importées, mises sur le marché européen. D'ici 2018, plus de 30 000 substances chimiques seront connues et leurs risques potentiels établis; l'Europe disposera ainsi des moyens juridiques et techniques pour garantir à tous un haut niveau de protection contre les risques liés aux substances chimiques. Pour toutes les substances chimiques (surtout celles qui sont extrêmement préoccupantes), y compris les substances

naturelles, les substances organiques et les métaux : celles utilisées dans des procédés industriels et celles rencontrées dans des mélanges, comme dans les produits de nettoyage, les peintures; les substances contenues dans des articles comme les textiles, les meubles, les équipements informatiques ou les composés électroniques, les objectifs de REACH sont en particulier : protéger la santé humaine et l'environnement face aux risques potentiels des substances chimiques; instaurer une information identique et transparente sur la nature et les risques des substances, telles quelles ou dans un mélange, du fournisseur jusqu'au client final; sécuriser la manipulation des substances chimiques par les salariés. Des points mis en exergue clairement dans REACH en lien avec les élevages familiaux urbains de poules sont en particulier : (i) le bien-être animal; (ii) la dimension participative et l'information de l'espace public sur l'utilisation durable des substances chimiques; (iii) le fort intérêt pour les scénarios d'exposition (« Tout savoir sur les scénarios d'exposition » document pdf).

En parallèle, il est crucial d'explicitier les différents scénarios d'exposition humaine aux polluants tels que ceux liés à la consommation d'œufs issus des poulaillers urbains. Viser des conditions d'élevage qui permettent de réduire la charge en polluants des œufs produits par les poules et si possible de mettre en place les conditions d'obtention d'œufs sains. Il convient dans un premier temps de limiter l'accès aux matrices polluées d'origine anthropique. Une analyse de sol peut permettre d'évaluer dans un premier temps le niveau d'exposition qu'il représente pour les poules, les œufs et in fine l'humain. Si le sol est contaminé, certaines précautions permettront de limiter l'exposition des poules aux polluants : éviter la distribution de la ration au sol, parcours avec un sol nu, ration déséquilibrée... L'addition de matières séquestrantes telles que des biochars représente une piste de recherche actuellement explorée pour piéger les polluants au niveau des sols et éviter leur absorption en cas d'ingestion (Yehya et al., 2017). Différentes combinaisons de ces facteurs permettant de moduler le transfert de polluants organiques persistants vers l'œuf de poule peuvent être testées via l'utilisation d'un modèle à compartiments (Fournier et al., 2015). Ce type de projets est crucial, car dans certaines zones polluées (par exemple les abords du site de l'ancienne fonderie MétalEurope dans le nord de la France) et en absence de réglementation sur les denrées alimentaires non commercialisées, une exposition humaine peut découler de la consommation des œufs produits sans précaution dans certains poulaillers familiaux urbains.

Les aspects environnementaux et sanitaires sont étroitement liés, même si ce lien est très souvent difficile à expliciter simplement et directement, d'où les nombreuses controverses médiatisées actuellement sur l'utilisation des substances chimiques dans le secteur agroalimentaire en particulier. Par exemple, certaines enseignes communiquent sur leur politique de substitution des substances controversées dans l'offre produit (<https://www.magasins-u.com/cooperative-u/vision-engagements/substances-controversees>). En effet, une personne qui consomme des œufs autoproduits contaminés (sans qu'elle ne soit au courant) par divers polluants persistants couramment rencontrés en zones (péri)urbaines tels que plomb, cadmium, arsenic, HAP, etc. peut développer en conséquence de cette exposition une pathologie au bout d'un certain nombre d'années, variable selon les caractéristiques de l'exposition et de la personne, sans que le lien entre exposition et pathologie développée soit identifié. Par exemple, pour éradiquer les poux rouges qui parasitent fréquemment les poules, les propriétaires utilisent parfois des solutions risquées comme l'antiparasite du chien qui peut se retrouver dans les œufs. Quel risque pour le consommateur? L'œuf étant consommé au quotidien, avec plus de 200 œufs consommés en moyenne par an, l'exposition du consommateur via cette denrée alimentaire relève du risque chronique. La figure 4 présente la contribution (en %) de différents aliments à l'exposition de la population moyenne française aux PCDD/F et PCB-DL, les œufs représentent 3%. Œufs issus de la filière agricole (ANSES, 2005). De plus, une étude de différents profils de consommateurs montre que dans les cas extrêmes (consommation d'un œuf par jour fortement contaminé), l'œuf à lui seul génère une exposition supérieure à 50 % de la dose hebdomadaire tolérable (CONTEGG, 2008).

Figure 4. Contribution (en %) de différents aliments à l'exposition de la population moyenne française aux PCDD/F et PCB-DL. Œufs issus de la filière agricole (ANSES, 2005).



Dans l'idéal, des poules urbaines en bonne santé et qui ne sont pas exposées aux polluants environnementaux produiront des œufs de qualité qui participeront à la bonne santé des éleveurs consommateurs. Il se crée alors un partenariat, une symbiose qui peut être très bénéfique, sous réserve de connaître et appliquer un certain nombre de précautions à la fois sanitaires et environnementales. Sur le site de « Bruxelles Environnement », l'administration de l'environnement et de l'énergie en Région de Bruxelles-Capitale, créé en 1989, une page est consacrée aux questions à se poser avant de s'engager dans l'élevage familial de poules (<http://www.environnement.brussels/thematiques/alimentation/produire-mes-aliments/que-produire-en-ville/les-poules-urbaines>). Des conseils pour l'élevage de poules en ville sont proposés dans le guide technique de la Commune d'Etterbeek qui s'est lancée dans l'aventure. Il est en particulier indiqué que le bien-être d'un animal passe par un environnement adapté à ses besoins : une poule a besoin d'espace, d'une nourriture adaptée, de soins, de présence dans la durée, car certaines races rustiques peuvent atteindre 12 ans.

Aspects sanitaires des poulaillers urbains

Aujourd'hui la poule prend de plus en plus de place dans les cliniques vétérinaires (ASV, 2015). Elle est un des animaux les plus présents à la clinique des NAC (Nouveaux Animaux de compagnie) à l'ENVT (École nationale vétérinaire, Toulouse). Cela montre une population de poules grandissante dans la ville de Toulouse ainsi qu'un intérêt croissant pour leurs soins. Il est ainsi important que les propriétaires d'élevages familiaux soient accompagnés dans cette démarche afin d'assurer la santé et la sécurité alimentaire des aliments qui sont consommés.

Le premier risque réglementé concerne la grippe aviaire, classée dans les dangers sanitaires de 1re catégorie. Selon une note de service DGAL/SDSPA/2015-1145 (23/12/2015) « La France est exposée, par sa situation par rapport aux couloirs migratoires d'oiseaux sauvages et la répartition des élevages, à l'introduction de virus d'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) circulant chez les oiseaux sauvages et domestiques en dehors de l'UE, ou à l'évolution de souches faiblement pathogènes circulant en Europe. En novembre 2014, l'apparition du virus IAHP H5N8 en Europe illustre ce risque. » Si le risque épidémiologique semble être moindre en milieu urbain du fait d'une plus faible densité d'élevages commerciaux, le risque sanitaire existe sur tout élevage de volailles, incluant les non-commerciaux. On ne peut donc exclure une éventuelle circulation du virus dans ces élevages urbains non commerciaux, même s'ils joueraient un rôle à priori mineur

dans la transmission de la maladie selon Bavinck et al. (2008). La surveillance concerne potentiellement toutes les populations d'oiseaux domestiques, que l'on peut répartir en trois groupes : les élevages commerciaux de volailles, les élevages non commerciaux (volailles ou autres oiseaux captifs), et les appelants (pour la chasse). L'ensemble du territoire national est sous surveillance IAHP en permanence. Des zones particulières de surveillance peuvent être définies en fonction du niveau de risque :

- les zones prioritaires et les zones à risque particulier complémentaires définies par l'arrêté du 24/01/2008
- les zones réglementées correspondant aux périmètres de protection (3 km) et de surveillance (10 km) mis en place autour des foyers en élevage
- les zones réglementées correspondant aux périmètres de contrôle (3 km) et d'observation (10 km) mis en place autour des foyers dans la faune sauvage.

La surveillance est permanente et son intensité est modulée en fonction du niveau de risque national lié aux cas dans l'avifaune, qui fait l'objet d'un arrêté du ministère de l'Agriculture en application de l'arrêté ministériel (AM) du 24/01/2008. Les dangers sanitaires sous surveillance sont les virus influenza de type A hautement pathogènes répondant à l'une des définitions réglementaires suivantes :

- les virus du genre influenza virus A, appartenant aux sous-types H5 ou H7, avec des séquences génomiques particulières.
- des virus de l'influenza aviaire présentant, chez les poulets âgés de six semaines, une pathogénicité importante.

Il existe également d'autres agents pathogènes pouvant conduire à des maladies concernant les détenteurs de volailles ou les consommateurs de volailles/œufs de basse-cour, il peut être cité les agents de toxi-infections alimentaires comme les salmonelloses (<https://www.anses.fr/fr/content/campylobact%C3%A9riose-0>) ou les campylobactérioses (<https://www.anses.fr/fr/content/salmonellose>) pouvant conduire à des infections intestinales et gastro-entérites parfois graves. Il peut être également évoqué la chlamydie qui est une maladie transmissible à l'homme et dont les oiseaux peuvent être le réservoir; cette maladie peut conduire à des troubles respiratoires ou à des formes plus graves. La maladie se transmet principalement par l'inhalation de poussières ou de fientes contaminées (Léon et al., 2005; ministère de l'Agriculture et de la Pêche, DGFAR, DGAL, 2006).

Il est donc nécessaire de connaître le risque associé à ces diverses maladies afin d'adopter la bonne conduite à tenir vis-à-vis des basse-cours urbaines. De nombreuses études ont été effectuées sur la santé et les maladies au sein des élevages commerciaux, mais la difficulté de recensement des basse-cours a conduit à peu d'études sur la question. Une étude canadienne décrit la répartition et les pratiques associées aux poulaillers des particuliers (Mainali et al., 2016). Aux USA, Garber et al. (2007) se sont intéressés aux élevages de poules non commerciaux, ils ont conclu que les oiseaux des élevages commerciaux de gibier étaient généralement de plus gros effectifs et faisaient l'objet de plus de soins de santé et de plus de pratiques de biosécurité. De la même façon, l'université de Guelph mène un projet « basse-cour » (<https://www.uoguelph.ca/ahl/submissions/small-poultry-flock-disease-surveillance-project>). La brochure synthétique de présentation du projet est disponible en ligne, elle précise que cette étude permettra de déterminer les éventuels agents infectieux (virus, bactéries et parasites) des élevages de poules des familles impliquées dans le projet, y compris ceux qui peuvent être nocifs pour les humains (par ex. *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp.), et fournira des informations de base sur les principaux pathogènes présents dans des élevages non commerciaux en Ontario. Le questionnaire aidera les chercheurs à mieux comprendre les pratiques d'élevage et de biosécurité utilisées par les propriétaires d'élevages non commerciaux. Ces connaissances seront utilisées pour élaborer des outils éducatifs dans le but d'améliorer la santé et le bien-être des poules des élevages non commerciaux et non contingentés. Mainali & Houston (2016) ont également investigué la répartition, la

composition et les modes de gestion des petits élevages de volailles en Alberta pour évaluer les répercussions sur la propagation des maladies aviaires et des zoonoses préoccupantes pour la santé publique. Pour obtenir un aperçu épidémiologique initial de cette population croissante et des zones potentielles de risque, une enquête a été menée pour caractériser le secteur. Des informations sur la démographie des troupeaux et la santé des oiseaux, ainsi que sur les pratiques de production et de biosécurité ont été recueillies et analysées à partir de 206 enquêtes. Une grande diversité de propriétaires et de troupeaux (grandes variations dans la taille et la composition des troupeaux) a été observée. Les poules pondeuses étaient le type d'oiseau le plus souvent signalé (93,4 %). La consommation personnelle (81,8 %) et la vente d'œufs (48,2 %) étaient les objectifs les plus fréquemment cités pour posséder un troupeau. L'utilisation inconstante d'interventions médicales telles que la vaccination, les traitements et la consultation vétérinaire a été observée. Les données sur l'approvisionnement, le logement et le déplacement des oiseaux ainsi que les mouvements de personnes et de visiteurs révèlent un potentiel de contact important entre les troupeaux et les humains. De plus, les pratiques de base en matière d'élevage et de biosécurité ont été jugées incompatibles et souvent inadéquates, soulignant les lacunes importantes et les possibilités d'améliorer la santé des petits troupeaux de volaille de l'Alberta afin de limiter les risques pour la santé publique.

En France, la typologie des basse-cours (effectif moyen, espèces présentes) ainsi que les pratiques associées sont peu connues. De la même façon, le statut sanitaire des basse-cours dans les villes comme dans les campagnes est inconnu. Les basse-cours sont-elles plus exposées aux maladies que les élevages commerciaux? Le risque de transmission des poules aux humains est-il important? Pour répondre à certaines de ces questions, un projet de thèse intitulé « approche générale – santé des basse-cours » est financé par la chaire de biosécurité aviaire de l'ENVT pour recenser au mieux les élevages non commerciaux en Occitanie (Toulouse et agglomération) afin d'appréhender la typologie de ces basse-cours et de mieux comprendre les pratiques associées aux élevages non commerciaux dans nos villes. En effet, il est important de savoir comment sont soignés les animaux de basse-cours, car l'utilisation de médicaments est aujourd'hui très contrôlée de par l'apparition de résistances aux antibiotiques. De plus, son utilisation à l'interface homme-animal peut favoriser l'apparition de bactéries pathogènes transmissibles de l'animal à l'homme. Des prélèvements seront effectués sur les poules afin d'étudier le portage de certains agents pathogènes sur des poules d'apparence saines, mais pouvant contaminer l'homme par exemple les Salmonelles (Xavier et al., 2011). Il s'agit d'une démarche participative ou chaque propriétaire de poules est invité à participer à l'étude afin de s'assurer, par quelques analyses de laboratoires, que sa basse-cour est en bonne santé et qu'elle n'héberge pas d'agents pathogènes. Ce projet de sciences participatives intitulé « POC » piloté par le laboratoire de recherche LabCom VIRAL en collaboration avec le CERTOP, axe transition écologique, permettra de renseigner d'avantage les aspects liés à la prise en charge de la santé des poules urbaines et leur impact sur les autres élevages alentours. Pour le projet POC, des volontaires de Toulouse métropole/Occitanie voulant participer au projet de santé des basse-cours seront recrutés. Cela permettra également aux propriétaires des basse-cours de les sensibiliser aux bonnes pratiques d'élevage de leurs poules urbaines. En échange, cela permettra à l'équipe de recherche de décrire la typologie de ces basse-cours ainsi que leurs pratiques. Le détenteur de volailles contacte l'équipe en charge du projet, complète un questionnaire d'une 50 aine de questions concernant son poulailler et accepte de recevoir un des membres de l'équipe pour réaliser un ou plusieurs prélèvements non invasifs. Il s'agit simplement de frotter délicatement un embout coton dans la cavité buccale et dans le cloaque de l'animal. Il sera recherché plusieurs agents pathogènes pouvant conduire à de la mortalité chez les poules ou pouvant être un danger pour l'homme.

La problématique est de savoir s'il existe un lien entre les agents pathogènes des élevages non commerciaux (basse-cours urbaines ou rurales) et les élevages commerciaux. Le projet de thèse explorera les questions suivantes : quels liens existent

entre les différents compartiments? Les risques sanitaires et l'exposition des animaux sont-ils les mêmes? Quelles pratiques existent dans les différents secteurs? Quelle est l'exposition des détenteurs aux maladies?

La figure 5 illustre les principaux risques sanitaires observés pour les volailles et le tableau 2 présente les différentes typologies des élevages.

Figure 5. Principaux risques sanitaires observés pour les volailles. Souvestre & Dumat (2018).



Tableau 2. Typologies des élevages selon des critères d'origine, environnement et pratiques, exposition aux maladies.

	Basse-cours rurales	Basse-cours urbaines	Élevages commerciaux
Origine	Élevages commerciaux de poules voisines	Adoption de poules de réformes « locales »	Origine unique pour un lot Souche définie
	Élevage (semi)-professionnels d'ornements/races différentes		
	Marchés/foires/exposition		
	Animaleries		
Environnement et pratiques	Effectifs plus grand [10-15]	Petits effectifs [2-5]	Grands effectifs
	Proximité physique homme/animal?		Règles de biosécurité strictes homme/animal
	Quelles pratiques de soins? Absence de vaccinations		Suivi par un vétérinaire sanitaire Vaccinations
Exposition aux maladies	Poules/faune sauvage : proximité et gestion?		Gestion faune sauvage
	Proximité élevages commerciaux	Autres animaux de compagnie	Milieu maîtrisé et suivi sanitaire

L'installation d'un poulailler par les particuliers pour l'autoconsommation (non commercial) avec quelques œufs offerts (voisins ou proches) doit répondre à des règles (différentes des professionnels), notamment en matière d'environnement, sanitaire et urbanisme. La densité de population urbaine impose des règles afin d'éviter les nuisances et épidémies (Ooreka, 2017).

Considérations sanitaires

Réglementairement, il existe un recensement des élevages familiaux et la détention d'animaux doit être déclarée auprès de la mairie via l'arrêté du 24 février 2006 relatif au recensement des oiseaux détenus par toute personne physique ou morale en vue de la prévention et de la lutte contre l'influenza aviaire. Les épisodes de grippe aviaire ayant eu lieu en Europe et en France notamment au cours des dernières années 2016-2017 ont conduit à un renforcement de la réglementation concernant les élevages non commerciaux. Des recommandations ont été faites afin d'améliorer le dispositif de surveillance et d'augmenter la réactivité en cas d'apparition de nouveaux cas d'influenza aviaire hautement pathogène : note de service DGAL/SDSPA/2015-1145 (23/12/2015). Ainsi, le détenteur d'oiseaux est responsable de signaler les problèmes de santé qu'il détecte sur les oiseaux dont il a la charge à son vétérinaire. « Au niveau de risque IA élevé ou supérieur au sens de l'AM du 24/01/08, la surveillance des oiseaux par le détenteur est maintenue quotidiennement afin de déceler l'apparition de symptômes de maladie grave ou la présence de cadavres d'oiseaux captifs ou sauvages. Tout comportement anormal et inexplicable des oiseaux et tout signe de maladie grave doit être obligatoirement déclaré sans délai au vétérinaire sanitaire. » À cette note de service s'ajoute l'arrêté de biosécurité du 8 février 2016 qui implique l'application de mesures de biosécurité dans les basse-cours (<http://agriculture.gouv.fr/biosecurite-les-mesures-pour-tous-les-detenteurs-de-volailles>). Lors de la détection d'un foyer, les exploitations non commerciales qui sont en zone de protection doivent se déclarer auprès des mairies (Instruction technique DGAL/SDSPA/2017-636 28/07/2017) ou sur Internet via la procédure suivante : <http://mesdemarches.agriculture.gouv.fr/>. Des visites sont alors faites pour vérifier l'état de santé des animaux et pour réaliser un dépistage sur les animaux jusqu'à recouvrer le statut indemne. Les animaux sont abattus seulement si les analyses de laboratoire s'avèrent positives.

On peut prendre l'exemple du site internet de la DDPP de la Loire-Atlantique mis à jour le 08/07/2016 qui indique les démarches administratives à effectuer lors de la possession d'une ou plusieurs volailles, avec un statut d'amateur ou de professionnel à l'échelle du département (<http://www.loire-atlantique.gouv.fr/Politiques-publiques/Protection-et-sante-animales/Volailles/Detenir-des-volailles-a-titre-amateur-ou-professionnel>). Le statut d'éleveur est accordé à partir de 250 volailles, mais tout détenteur d'oiseaux, à l'exception de ceux dont les oiseaux sont détenus en permanence à l'intérieur de locaux à usage de domicile, est tenu d'en faire la déclaration auprès du maire du lieu de détention des oiseaux. De plus, la détention de moins de 250 volailles est régie par le règlement sanitaire départemental. Pour toute question, il convient de se rapprocher du maire de votre commune, chargé de l'application de ce règlement. Par ailleurs et quel que soit le nombre de volailles, un registre d'élevage doit être tenu sauf si les produits sont exclusivement destinés à de l'autoconsommation. Les volailles doivent être détenues dans des conditions compatibles avec leurs besoins et respectueuses du bien-être animal.

Plan urbain

Ces règles dépendent en particulier du contexte (rural ou urbain, lotissement, etc.) et du type de poulailler (mobile ou dur, surface occupée au sol). Pour être en conformité avec la réglementation en vigueur, il est donc recommandé de s'informer tout d'abord en mairie des règles d'urbanisme local; certaines mairies (plutôt en zones (péri)urbaines) ont en effet pris des arrêtés pour éviter la prolifération de poulaillers (limitation ou interdiction), alors que d'autres municipalités les préconisent, surtout si elles ont opté pour la redevance incitative. De plus, le règlement interne de certains lotissements peut spécifier des contraintes ou carrément l'interdiction d'avoir des poules dans son jardin. Selon un arrêté municipal de 1971, l'élevage et la détention d'animaux de basse-cour sont prohibés à Clermont-Ferrand, à moins de cinquante mètres des habitations, pour des raisons de salubrité publique. Cette infraction est sanctionnée par une amende (Martin, 2013).

Installer un poulailler mobile (petite structure qui abrite 4 ou 5 poules, voire dix maximum pour les poules naines) ou un poulailler en dur dont l'emprise au sol n'excède pas les 5 m² ne nécessite aucune autorisation préalable au service d'urbanisme de la mairie. Mais, une déclaration préalable de travaux est indispensable pour un poulailler en dur de surface \geq 5 m². Il faut se référer en mairie au règlement urbanisme local tel que le plan local d'urbanisme (PLU). Comme pour les abris de jardin, il faut tenir compte du zonage de l'habitation : site patrimonial remarquable, site classé, zone urbaine (UB), future zone à construire (2AU), zone de lotissement (1AU), etc. Surface > 20 m² : demande de permis de construire. Cependant, s'il s'agit de travaux sur une construction existante (poulailler accolé à la maison par exemple), le seuil de 20 m² est porté à 40 m² si la construction est située dans une zone urbaine couverte par un PLU ou un plan d'occupation des sols (POS). Mais cette extension du seuil ne s'applique pas dès lors que, après réalisation des travaux, la surface ou l'emprise totale de la construction dépasse 150 m² (article R. 421-14 du Code de l'urbanisme). La figure-6 récapitule les principaux points réglementaires en vigueur pour les poulaillers urbains.

Figure 6. Principaux points réglementaires en vigueur pour les poulaillers urbains.



(Dumat, 2018)

Bien-être animal

Un particulier fait de l'« élevage familial » et les quelques poules détenues sont considérées comme des animaux d'agrément ou de compagnie (« On entend par animal de compagnie tout animal détenu ou destiné à être détenu par l'homme pour son agrément. » Code rural et de la pêche maritime, article L214-6).

En termes de bien-être animal, le Code rural et de la pêche maritime donne les règles que tout propriétaire d'animaux doit respecter : « Tout animal étant un être sensible doit être placé par son propriétaire dans des conditions compatibles avec les

impératifs biologiques de son espèce. » (article L. 214-1). « Tout homme a le droit de détenir des animaux [...] et de les utiliser [...], sous réserve des droits des tiers et des exigences de la sécurité et de l'hygiène publique et des dispositions de la loi [...] relative à la protection de la nature. » (article L. 214-2). « Il est interdit d'exercer des mauvais traitements envers les animaux domestiques ainsi qu'envers les animaux sauvages apprivoisés ou tenus en captivité. » (article L. 214-3).

Nuisances au voisinage

Pour un élevage d'agrément, il n'y a pas de distance d'implantation du poulailler à respecter par rapport aux habitations voisines. Deux règles juridiques s'appliquent cependant, pour éviter les nuisances :

1-La responsabilité civile du propriétaire des animaux : « Le propriétaire d'un animal, ou celui qui s'en sert, pendant qu'il est à son usage, est responsable du dommage que l'animal a causé, soit que l'animal fût sous sa garde, soit qu'il fût égaré ou échappé. » (Code civil, article 1243). Un enclos évitera que les volailles vagabondent sur la voie publique ou chez le voisin, sachant que le propriétaire est responsable des dommages causés par ses poules.

2-L'interdiction des nuisances sonores : selon le Code de la santé publique, article R. 1334-31 : « Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, dans un lieu public ou privé, qu'une personne en soit elle-même à l'origine ou que ce soit par l'intermédiaire d'une personne, d'une chose dont elle a la garde ou d'un animal placé sous sa responsabilité. ». Or, le contexte a son importance, si le chant du coq le matin et le soir, et le caquètement des poules sont considérés comme des bruits normaux de voisinage à la campagne, ce pourra ne pas être le cas en ville. De même, un coq qui chante toute la journée peut constituer une nuisance sonore.

Enfin, certaines règles de bon voisinage et bon sens sont à respecter pour éviter les nuisances relatives au bruit et aux odeurs, mais aussi les troubles de voisinage, comme : ne pas avoir un coq à proximité de vos voisins; entretenir et nettoyer régulièrement son poulailler pour éviter les odeurs nauséabondes; ne pas entreposer le fumier près d'un point d'eau ou de la voie publique; clôturer l'espace réservé aux poules dans votre jardin. Offrir des œufs frais de temps à autre adoucira aussi les relations de voisinage. Lors de la réunion d'information publique intitulée « Comment faire un poulailler en ville? » à la ferme pédagogique de Paris (Terraeco, 2017). S. Sarmiento, conseillère environnement à la Ferme de Paris a déclaré : « En réalité, la loi, voilà la seule menace pour un poulailler urbain, en cas de nuisances et de plainte, vous tombez sous le coup des articles 22 et 126 du règlement sanitaire. Mais, le poulailler n'est ni interdit ni autorisé, on est dans un vide juridique ». Selon Boukaïba A., vétérinaire avicole, vu la densité de population à Paris, en cas de grippe aviaire, les autorités interdiront purement et simplement les poulaillers, et un autre risque, moins hypothétique, est celui du désengagement : les sessions hebdomadaires de nettoyage, le passage quotidien et les séjours ponctuels chez le vétérinaire peuvent lasser les moins déterminés. « Quand le poulailler est collectif, il faut un responsable, quelqu'un qui, si besoin, rappelle aux autres leurs obligations. » Pour Fasquel J.J., le SMS du dimanche soir est devenu rituel : « Tu te souviens que tu es de poules demain ? », envoie-t-il à l'un des coresponsables de la basse-cour. Finalement, le plaisir, le lien social et l'optimisme sont avant tout au rendez-vous pour cet éleveur qui conclue : « J'ai l'impression que prendre soin des poules, ça nous rend plus humains! »

Les données quantitatives fiables sont relativement peu disponibles et il est donc indispensable de tenir compte également des savoirs faire de chacun et d'être ouvert aux évolutions des connaissances et des pratiques. À l'extrême de ces petits élevages familiaux, se trouvent les exploitations d'élevage de grande envergure, classées pour la protection de l'environnement en France (ICPE) qui font l'objet de réflexions environnement-santé très poussées pour permettre une forte

production tout en limitant les risques (Actualités juridiques, 2017). Il apparaît intéressant dans le futur de tenir compte des bonnes pratiques développées dans ces deux catégories d'élevages dans une démarche de transition écologique.

Les urbanités et symboliques des gallinacées

Le 15 janvier 2018 interviewée dans les jardins familiaux de Tournefeuille (Association AJT en action depuis une quinzaine d'années, France, 31, <http://www.jardiniersdetournefeuille.org/>) dont elle est la co-présidente et fondatrice, Mme Dupouy D. explique la dynamique sociale induite par le poulailler collectif en place depuis bientôt sept années. « Au départ, plusieurs jardiniers souhaitaient mettre des poules sur leurs parcelles individuelles. Mais, c'était compliqué à envisager pour des raisons pratiques : une poule lâchée dans un jardin potager gratte la terre et peut déterrer les plantes cultivées, en quelques jours la terre est à nue ! Nous avons donc rapidement opté pour un poulailler collectif qui s'est vite mis en place grâce à plusieurs opportunités : des dons de matériel pour construire l'enclos et l'abris pour les poules (des piquets en bois en acacia, du grillage, etc.) et les poules offertes par des adhérents de l'AJT, la grande motivation d'un employé de l'association pour s'occuper des poules et l'intérêt permanent des jardiniers et des visiteurs (surtout les enfants des écoles) pour venir nourrir avec leurs déchets organiques de repas et admirer les poules. Les poules participent en effet à la biodiversité des jardins, elles nous reconnectent à un passé pas si lointain où les fermes existaient dans toutes les villes ou à proximité : les habitants s'y fournissaient régulièrement en lait et œufs frais, viande, etc. La région toulousaine a de plus une tradition bien ancrée de productions agricoles variées (maraichage, grandes cultures, élevages) et de bien manger, de gourmandise et de partage. De nombreuses personnes qui viennent dans les jardins familiaux de Tournefeuille ont souvent un proche agriculteur. Avec les poules, les enfants voient en direct la production des œufs frais locaux et c'est alors facile de les sensibiliser à la notion complexe d'alimentation durable : pourquoi c'est important de savoir d'où viennent les produits consommés; pourquoi on se pose des questions sur le bien-être et la santé des poules; pourquoi et comment le gaspillage peut être évité... L'AJT prend au sérieux son rôle dans la transmission des connaissances et savoir-faire agro écologiques aux générations futures, nous avons par exemple créé plusieurs panneaux pédagogiques placés dans les allées avec des informations sur les plantes engrais verts, les abeilles, le compostage et bien sûr les poules. Une transition écologique s'est amorcée depuis une dizaine d'années, les mentalités évoluent : les personnes qui se mobilisent actuellement pour le nouveau site de jardins familiaux (près de la base de loisirs de la Ramée) sont beaucoup plus sensibilisées aux enjeux de la biodiversité, de l'alimentation durable et de l'intérêt de travailler de façon dé-compartmentée (avec les scientifiques, les élus, etc.) qu'il y a 15 ans lorsque nous avons monté ce premier site où nous discutons. »

Ces poules multifonctions nous font donc réfléchir et prendre du recul sur nos pratiques quotidiennes et elles incitent à la décompartmentation et interdisciplinarité indispensables pour une gestion durable des écosystèmes complexes. Après avoir fait en quelque sorte table rase du passé et misé massivement sur les bienfaits de la chimie, les acteurs de l'agriculture se mobilisent désormais pour une transition agroécologique plus respectueuse de la santé, de l'environnement et de la démocratie (Zask, 2016). On a l'habitude de penser que la démocratie moderne vient des Lumières, de l'usine, du commerce, de la ville. Le paysan resterait un personnage au mieux simple et vertueux, au pire arriéré et réactionnaire, n'ayant que haine et mépris pour la ville, la société et le progrès authentique. À l'opposé de cette vision, l'ouvrage de Zask (2016) « La démocratie aux champs » examine ce qui, dans les relations entre l'agriculteur ou le jardinier et la terre cultivée, favorise la formation de la citoyenneté. L'autonomie, la solidarité et l'intelligence collective sont aussi revendiquées par les acteurs mis en scène par « Ver de terre production » qui objective de former tous les agriculteurs dans leur transition agroécologique et met à disposition des films pédagogiques tel que « Le poulet de chair et l'œuf agroforestier » de Canet A. président de l'Association Française d'AgroForesterie. La poule, le vers de terre, le hérisson, etc. sont autant de traits d'union entre

l'Homme et la Nature, entre les zones rurales et les villes. Ces animaux font en effet appel à tous nos sens et à toutes nos compétences. Le plaisir est au rendez-vous et aussi la réflexion, la créativité et la prise en compte des retours d'expériences. Chaque poulailler urbain est un cas particulier, un écosystème vivant, dynamique qui favorise la réflexion encouragée par Gori (2011) comme gage de démocratie, et impose une gestion agile, pragmatique et interdisciplinaire. Avec les poulaillers urbains on reprend conscience de l'existence des prédateurs (renard, martre, etc.), des commensaux, rats, souris (voire mouches) souvent attirés par les grains, la paille ou les œufs. On se pose la question du bien-être et de la santé animale et de la fin de vie de ces animaux qui peuvent nous accompagner pendant une dizaine d'années. Sur le site de l'association « Poule's Club » il est proposé de participer à l'action : « j'adopte une poule de réforme » qui permet à des citoyens de sauver des poules réformées des poulaillers industriels. L'objectif est avant tout de comprendre pour mieux consommer ou agir, et savoir apprécier les efforts et le savoir-faire des différents producteurs et acteurs de la filière concernant les poules. C'est ainsi que de nouvelles offres sont faites aux consommateurs pour intégrer davantage ces préoccupations « environnement-santé, lien social, éthique... » : exemple de l'opération « Magalli » (<https://www.magalli.fr/poule/ajouter>) qui propose à la vente des poules de variétés rustiques et dont l'origine est tracée, ou de la basse-cour du bois gourmand (<http://www.labassecourduboisgourmand.fr/>) qui concilie l'élevage et la conservation des sols.

Actuellement, la poule a sans aucun doute une bonne image, en France en particulier, elle a souvent été utilisée pour symboliser des « qualités féminines » : très organisée, agile et fidèle amie comme dans le conte « poule rousse » (Durdikova et Morel, 1964) ou travailleuse consciencieuse dans la fable « la poule aux œufs d'or » (La Fontaine, 1668). Les hommes politiques s'intéressent aussi aux gallinacées : récemment, en date du 24/02/2018 (site internet BFM TV) il est indiqué : « Le Président de la France, Macron E. adopte une poule : alors qu'il rencontrait les agriculteurs au Salon de l'agriculture, un éleveur a offert une poule au président... ». Pour la Journée de la femme du 8 mars 2015, le sénateur écologiste Placé J.V. pose avec une poule (revue Marie Claire, <http://bigbrowser.blog.lemonde.fr/2015/03/05/jean-vincent-place-la-poule-et-les-femmes/>) pour « dénoncer toute forme de sexisme et de misogynie dans les différents corps de métier, dont la politique ». La gallinacée est en effet une référence à un incident sexiste survenu le 8 octobre 2013 à l'Assemblée nationale. En pleine intervention sur l'âge de départ à la retraite, la députée Massonneau V. est interrompue par des caquètements de poule moqueurs. Elle s'insurge alors : « Arrêtez, cela suffit! Je ne suis pas une poule! » une suspension de séance est appliquée. Getz (2017), professeur à l'école de commerce ESCP Europe, plaide pour une gouvernance au travail basée sur la confiance dans une communication intitulée « comment protéger la poule aux œufs d'or? ». En France, il y a 9 % de poules aux œufs d'or, soit des salariés très engagés prêts à donner le meilleur d'eux-mêmes sans contrepartie particulière. Que faire? Isaac Getz passe alors du poulailler au jardin. Pour lui, quand une fleur fane au jardin avant de fleurir, rien ne sert de lui donner de l'engrais. Il faut connaître ses besoins physiologiques et la planter au bon endroit. Là où elle pourra s'épanouir sans que l'on ait besoin d'agir sur la fleur. Commence alors le travail de jardinier qui consiste à mesurer les aspirations des salariés, à savoir leur faire confiance et à libérer ainsi les initiatives.

Les représentations de la poule évoluent actuellement, il a fallu un siècle aux chercheurs pour comprendre ce qui se passe dans le cerveau des poules, gros comme une noisette (Smith et Zielinsky, 2015). La poule a cependant des capacités cognitives étonnantes, elle a des capacités de communication voisines de celles de certains primates. Quand elle prend des décisions, elle tient compte de son expérience et de ses connaissances sur la situation. Elle peut résoudre des problèmes complexes et se montrer compatissante envers des individus en danger. Quoi qu'il en soit, ces découvertes obligent à une réflexion éthique sur les élevages de poules commerciaux comme non-commerciaux, en intégrant la considération du bien-être physiologique et comportemental des animaux. En 1950, Nicholas et Elsie Collias, de l'université de Californie à Los Angeles, ont montré

que les poules ont un répertoire d'environ 24 cris différents, souvent associés à des événements particuliers. Dans le film d'animation *Chicken Run* (2000), remake du film de 1963 « La grande évasion », la poule devient un symbole de l'intelligence collective (<https://www.youtube.com/watch?v=l6XNTXkazdw>). Contrairement à ses compagnes d'infortune, résignées à leur triste condition, Ginger, poulette rebelle et ingénieuse, qui fait partie d'un élevage tenu d'une main de fer par le couple Tweedy cupide et stupide, multiplie, en vain, mais sans se décourager les tentatives d'évasion. C'est aussi toute la question de l'exploitation animale qui se pose en filigrane.

Conclusion et perspectives

Comme la majorité des populations humaines réside dans les villes, le développement de la nature en ville est un enjeu crucial pour le bien-être, la santé des habitants et la promotion d'une alimentation durable. Sous réserve des différentes précautions explicitées dans cette communication interdisciplinaire, les poulaillers urbains rendent des services écosystémiques importants (tels que la production de protéines locales, réduction des quantités de déchets organiques, lien et dynamique sociale, reconnexion à la production alimentaire, etc.) qui favorisent la prise de conscience et la participation des citoyens aux enjeux de la transition écologique.

Cependant la poule est un organisme vivant qui nécessite des soins en termes d'alimentation, santé et environnement. Pour obtenir des œufs sains en ville, des précautions sont indispensables en particulier si le sol contient des polluants persistants émis par des activités anthropiques présentes ou anciennes. Finalement, pour optimiser les bénéfices de ces nouveaux élevages urbains et en limiter les désagréments, le constat est aussi fait du manque de données disponibles, en particulier sur : (i) la qualité des œufs produits en lien avec les pollutions fréquemment observées en zones urbaines et (ii) la santé de ces basse-cours et leurs liens avec les élevages commerciaux. C'est pourquoi il apparaît indispensable de développer des projets de recherche avec un volet de sciences participatives tel que le projet POC (des volontaires de Toulouse métropole/Occitanie voulant participer au projet de santé des basse-cours seront recrutés) et de communiquer vers l'espace public sur les projets d'agriculture urbaines comme visé par le Réseau-Agriville (<http://reseau-agriville.com/>) : une ressource synthétique et grand public dédiée aux poulaillers urbains ainsi qu'une courte vidéo seront mises en ligne en libre accès en 2018.

Bibliographie

- Actualités juridiques-Catégorie Environnement, 2017, Les seuils réglementaires d'élevage de poules assujetti à autorisation. Question écrite de Jean-Louis Masson, n° 940, publiée au JO du Sénat du 31 août 2017.
- Ademe, 2015, Programme local de prévention des déchets du Trigone (syndicat mixte de production d'eau potable et de traitement des déchets du Gers) pour développer une expérimentation de poulaillers familiaux afin de réduire les quantités de déchets organiques des ménages. <http://www.optigede.ademe.fr/fiche/experimentation-des-poules-pour-valoriser-les-biodechets>.
- ANSES, 2005, Dioxines, furanes et PCB de type dioxine : Evaluation de l'exposition de la population française, Rapport ANSES novembre 2005, 57pp.
- ASV Supplément, 2015, Le « boom » des poules de compagnie, n°85, janvier 2015.
- Bavinck, V., A. Bouma, M. van Boven, M.E. Bos, E. Stassen and J.A. Stegeman, 2009, The role of backyard poultry flocks in the epidemic of highly pathogenic avian influenza virus (H7N7) in the Netherlands in 2003, *Preventive Veterinary Medicine*, 88, pp. 247-254.
- Bonny, S., 2005, Les systèmes de production agricole dans la chaîne agroalimentaire : position et évolution, *Économie rurale*, 288, pp. 91-98.
- Clark, H.F., D.M. Hausladen, D.J. Brabander, 2008, Urban gardens: lead exposure, recontamination mechanisms and implications for remediation design, *Environ. Res.*, 107, 3, pp. 312-319.
- Chenot, E.D., C. Schwartz, C. Dumat, F. Douay, B. Pourrut, C. Pernin, 2013, Introduction, 344 pages, coordination par Schwartz Christophe, Jardins potagers: terres inconnues? EDP Sciences ISBN : 978-2-7598-0723-9, page 8.
- CONTEGG, Contamination van eieren afkomstig van kippen gehouden bij particulieren, 2008. Projet rt-06/9- CONTEGG, 196 pages.
- De Schutter, O., 2017, La démocratie participative, essentielle pour changer l'agriculture, Consom'Action, CONSOGLOBE, [En ligne] URL : <https://www.consoglobe.com/democratie-participative-agriculture-cg>. Consulté le 24 juin 2018.
- Dumat, C., T. Xiong, M. Shahid, 2016, Introduction, 88 pages, coordination par Dumat Camille, Agriculture urbaine durable : opportunité pour la transition écologique, Presses Universitaires Européennes, Saarbrücken, DE. ISBN 978-3-639-69662-2, page 9.
- Durdikova, L. et E. Morel, 1964, Poule rousse, Les classiques du Père Castor (3). ISBN 9782081601116.
- Duret, M., 2015, L'envol de la poule en ville, Le Monde.fr. 14.04.2015. [En ligne] URL : https://www.lemonde.fr/m-plan-b/article/2015/04/14/l-envol-de-la-poule-en-ville_4615800_4498071.html. Consulté le 24 juin 2018.
- Fondation Nature-Homme, 2017, Construire ensemble une alimentation durable. [En ligne] URL : <http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/alimentation-durable-quels-enjeux/>. Consulté le 24 juin 2018.
- France Inter, 2017, Des poules municipales en cadeau pour réduire nos poubelles. [En ligne] URL : <https://www.franceinter.fr/emissions/l-esprit-d-initiative/l-esprit-d-initiative-04-decembre-2017>. Consulté le 24 juin 2018.
- Fournier, A., O. Martin, A. Travel, L. Puillet, C. Feidt and C. Jondreville, 2015, Modeling PCB transfer into hen eggs: influence of physiological characteristics of the animal, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34, 1, pp. 173-183.
- Kijlstra, A., W.A. Traag and L.A.P. Hoogenboom, 2007, Effect of flock size on dioxin levels in eggs from chickens kept outside, *Poultry Science*, 86, 9, pp. 2042-2048.
- Garber, L., G. Hill, J. Rodriguez, G. Gregory and L. Voelker, 2007, Non-commercial poultry industries: Surveys of backyard and gamefowl breeder flocks in the United States, *Preventive Veterinary Medicine*, 80, pp. 120-128.
- Getz, I., 2017, Comment protéger la poule aux œufs d'or ? L'Est Eclair, économie. Publié le 10/04/2017. [En ligne] URL : <http://www.lesteclair.fr/2017/04/10/comment-protoger-la-poule-aux-oeufs-d-or>. Consulté le 24 juin 2018.
- Genève, ville durable, 2016, Projet Cocorico : ramenez les poules dans vos quartiers, 16 pages. www.ville-geneve.ch.
- Gori, R., 2011, La Dignité de penser, Editeur : Les liens qui libèrent, 150 pages. ISBN-10 : 2 918 597 503
- IPES, 2016, Uniformity to Diversity, a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. International Panel of Experts on Sustainable Food systems. [En ligne] URL : http://www.ipes-food.org/images/Reports/IPES_ExSummary02_1606_BRweb_pages_br.pdf. Consulté le 24 juin 2018.
- La Fontaine, J., 1668, La poule aux œufs d'or, Fables livre V.
- Lascar, O., 2016, Bill Gates : pour lutter contre la pauvreté, mieux vaut un poulet qu'un ordinateur, *Sciences et Avenir High-tech Informatique*. Publié le 10/04/2017. [En ligne] URL : https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/informatique/bill-gates-pour-lutter-contre-la-pauvrete-mieux-vaut-un-poulet-qu-un-ordinateur_23375. Consulté le 24 juin 2018.
- Léon, O., B. Sraka et J.L. Guérin, 2005, Les infections à Chlamydia psittaci chez les volailles et leur impact en santé publique, *Bulletin des GTV*, pp. 239-244.
- Magrini, M.B., M. Anton, C. Choleza, G. Corre-Hellou, G. Duc, M.H. Jeuffroy, J.M. Meynard, E. Pelzer, A.S. Voisin and S. Walrand, 2016, Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*, 126, 1 pp. 52-162.
- Mainali, C. and I. Houston, 2016, Small Poultry Flocks in Alberta : Demographics and Practices, *Avian Diseases*, 61, pp. 46-54. <https://doi.org/10.1637/11460-062716-Reg.1>
- Martin, C., 2013, Les poules urbaines ne sont pas les bienvenues à Clermont-Ferrand, La Montagne. [En ligne] URL : https://www.lamontagne.fr/clermont-ferrand/insolite/2013/08/28/les-poules-urbaines-ne-sont-pas-les-bienvenues-a-clermont-ferrand_1670055.html. Consulté le 24 juin 2018.
- Ministère de l'agriculture et de la pêche, DGFAR, DGAL, 2006, Document Ornithose-Psittacose.
- Mouterde, P. et K. El Hadj, 2015, Et si on adoptait des poules pour recycler nos déchets ? Le Monde. [En ligne] URL : https://www.lemonde.fr/cop21/visuel/2015/12/04/et-si-on-adoptait-des-poules-pour-recycler-nos-dechets_4824465_4527432.html. Consulté le 24 juin 2018.
- OSUNA, 2017, « Qualité et usages des sols urbains : Points de vigilance ». Document de synthèse, [En ligne] URL : <https://www.nature-en-ville.com/document/qualite-et-usages-des-sols-urbains-points-de-vigilance>. Consulté le 24 juin 2018.
- Ooreka, 2017, La législation pour le poulailler du particulier. [En ligne] URL : <https://poulailler.ooreka.fr/comprendre/legislation-poulailler>. Consulté le 24 juin 2018.
- Organisation des nations Unies-Département des affaires économiques et sociales, 2017, Qu'est-ce que la ville sinon les gens ? [En ligne] URL : <https://www.un.org/development/desa/fr/news/social/what-is-the-city-but-the-people.html>. Consulté le 24 juin 2018.

- Philippe, E., 2017, Discours de conclusion du Premier ministre le 21/12/2017 pour les États généraux de l'alimentation, Site du ministère de l'agriculture et de l'alimentation, [En ligne] URL : <http://agriculture.gouv.fr/egalim-discours-de-conclusion-du-premier-ministre-edouard-philippe>. Consulté le 24 juin 2018.
- Pierart, A., C. Dumat, A. QuyManh Maes, C. Roux and N. Sejalon-Delmas, 2018, Opportunities and risks of biofertilization for leek production in urban areas: Influence on both fungal diversity and human bioaccessibility of inorganic pollutants, *Science of The Total Environment*, 624, pp. 1140-1151.
- Pirard, C., G. Eppe, A.C. Massart, S. Fieren, E. De Pauw and J.F. Focant, 2005, Environmental and human impact of an old-timer incinerator in terms of dioxin and PCB level : A case study, *Environmental Science and Technology*, 39, 13, pp. 4721-4728.
- Samsøe-Petersen, L., E.H. Larsen, P.B. Larsen and P. Bruun, 2002, Uptake of Trace Elements and PAHs by Fruit and Vegetables from Contaminated Soils, *Env. Sci. Technol.*, 36, pp. 3057-63.
- Sauveur, B., 1988, Reproduction des volailles et production d'œufs, INRA Editions, pp 1-449.
- Smith, C. et S. Zielinsky, 2015, L'intelligence de la poule, *Pour la Science*, 454 - Éthologie.
- Sørensen, S., L. Krüger, R. Bossi, T.L. Cederberg and K.H. Lund, 2014, Dioxins and PCBs in hen eggs from conventional and free range farms from the danish control program in 2012-13, In Proceedings of the 34th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants Madrid, Spain.
- Terraeco, 2017, Des poules en ville, c'est possible... mais ça s'apprend. [En ligne] URL : <http://www.terraeco.net/poulailler-ville-poules,58413.html>. Consulté le 24 juin 2018.
- Travel, A., C. Jondreville, J. Guinvarch, M. Chabault, S. Lubac, C. Feidt, P. Marchand, R. Bonnard, S. Le Bouquin-Le Neveu, V. Allain, A. Thebault, V. Gonnier et Y. Nys, 2008, La filière fait le point sur le risque de transfert de Polluants Organiques Persistants vers les œufs, *Thema*, 6, pp. 11-19.
- Windal, I., V. Hanot, J. Marchi, G. Huysmans, I. Van Overmeire, N. Waegeneers and L. Goeyens, 2009, PCB and organochlorine pesticides in home-produced eggs in Belgium, *Science of the Total Environment*, 407, 15, pp. 4430-4437.
- Xavier, J., D. Pascal, E. Crespo, H.L. Schell, J.A. Trinidad and D.J. Bueno, 2011, Seroprevalence of Salmonella and Mycoplasma infection in backyard chickens in the state of Entre Ríos in Argentina, *Poultry Science*, 90, pp. 746-751, doi : 10.3382/ps.2010-01036.
- Yehya, S., M. Delannoy, A. Fournier, M. Baroudi, G. Rychen and C. Feidt, 2017, Activated carbon, a useful medium to bind chlordecone in soil and limit its transfer to growing goat kids, *Plos One*, 12, 7. Published: July 19, 2017, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179548>
- Zask, J., 2016, La démocratie aux champs. Du jardin d'Eden aux jardins partagés, comment l'agriculture cultive les valeurs démocratiques, Editeur : Empêcheurs de penser en rond, 247 pages. ISBN : 978-2-35925-101-2

Discussion

La cohabitation homme/animal existe depuis très longtemps et la domestication des volailles a permis une autonomie alimentaire à l'échelle locale pendant des siècles. Toutefois, on peut penser que la production de volailles n'a été qu'un appoint (le terme de basse-cour ayant encore tout son sens péjoratif) là où les bovins offraient viande, lait, grasse, cuir, les moutons viande, lait et laine et le Cheval force de travail et prestige. La cohabitation homme/animal peut être définie par ses intérêts et ses contraintes. Plusieurs articles aujourd'hui constatent les motivations des propriétaires en soulignant les bienfaits qu'ils ont à avoir des animaux: rétablir le lien à la terre, produire local et réamorcer un retour vers l'autonomie alimentaire, considérer la poule comme un maillon dans « l'économie circulaire » dans le recyclage des déchets. Ainsi, tous ces rôles confèrent à la poule sa caractéristique majeure soulignée par Dumat et al., de « couteau suisse » (10,59).

En contrepartie, la détention d'animaux implique des contraintes sanitaires afin de limiter la transmission d'agents zoonotiques à l'homme tels que certains virus influenza aviaire (IA) H5N1, des chlamydia, des agents de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) comme les salmonelles ou les campylobactéries qui peuvent avoir des conséquences majeures sur la santé humaine (60–62). De plus, la scission existant entre monde rural et monde urbain ne cesse de s'accroître aujourd'hui conduisant à une perte de la connaissance « paysanne » en milieu urbain. Il semble ainsi important de rétablir un lien entre les deux mondes afin de pouvoir limiter les risques zoonotiques à l'échelle globale et indépendamment de l'environnement.

Comme mentionné dans les cinq piliers du bien-être animal par le Farm Animal Welfare Committee (Tableau 5), la santé des animaux de basse-cour fait partie intégrante de leur bien-être. Ainsi, la connaissance de la biologie et des besoins physiologiques des volailles, de leur santé et du risque zoonotique inhérent à leur présence dans les jardins familiaux doit être intégrée dans la formation au bien-être animal des propriétaires (36). La création d'un réseau ou d'une filière basse-cour à visée pédagogique et la mise en place de programmes d'information et de formation présentent un début de solution, en particulier si ces initiatives sont implantées là où les propriétaires de volailles vont chercher des services : jardinerie-animalerie, éleveurs de races, vendeurs d'aliments. Par ailleurs, l'existence de services vétérinaires compétents pouvant répondre aux besoins émergents ainsi que la diffusion de sources d'information fiables semblent indispensables pour accompagner les initiatives et limiter les risques de « maltraitance par ignorance » en milieu urbain.

Les enjeux sanitaires associés à l'élevage avicole

I. Risques zoonotiques

L'interface homme-volaille a d'abord été considérée uniquement du point de vue de la santé animale au début du XIX^e siècle avec la découverte des pestes aviaires. Bien des années plus tard, l'épizootie d'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) de 2004 à 2007 marque les esprits avec l'introduction d'un virus H5N1 hautement pathogène (HP) dans les élevages de volailles et sa possible transmission à l'homme avec quelques centaines de cas humains répertoriés (63,64). Force est de constater alors que la circulation du virus peut se faire dans les différents secteurs de la filière avicole commerciale ou non commerciale. L'année 2020 en est le parfait exemple avec l'apparition en France de foyers d'IA H5N8 HP dans des poulaillers de jardineries-animaleries en premier lieu puis dans des élevages commerciaux sud-ouest (65).

I.1 Liste des principaux agents zoonotiques transmis par la volaille

Le virus de l'IA n'est pas le seul agent zoonotique à considérer et on peut par exemple ajouter les agents responsables de toxi-infections alimentaires comme *Salmonella* spp. et *Campylobacter* spp. (66). De la même façon, on peut citer les *Chlamydia* spp., qui concernent les personnes en contact étroit avec les oiseaux et induisent des symptômes respiratoires principalement (67,68). Cela est sans compter les circulations possibles de bactéries ayant acquis des résistances aux antibiotiques et qui peuvent être transmises de façon active ou passive, directe ou indirecte (11,36,69–71). Pour citer un exemple, en 2013 en France, huit cas humains de psittacose due à *Chlamydia psittaci* (Chl.p) ont été identifiés suite à des activités d'éviscération de poulets sur des fermes comprenant des poules et des canards. Dans les basses-cours, il a également été isolé *Chlamydia psittaci* et plus récemment, *Chlamydia gallinacea*, tout deux à l'origine de pneumonies plus ou moins graves chez les hommes ayant eu un contact rapproché avec des volailles dans le cadre d'abattages (67,68,72).

Aux Etats-Unis, le seul agent pathogène provenant des basses-cours, identifié et déclaré dans des cas de contamination humaine est *Salmonella* sp. avec 45 cas répertoriés (73). Les cas de campylobactériose associés à la présence de volailles de basses-cours n'ont pas été décrits chez l'homme ; toutefois il a été montré que les basses-cours pouvaient jouer le rôle de réservoir pour *Campylobacter jejuni* présent dans 45% des basses-cours étudiées en Finlande (74). La maladie de Newcastle peut causer des conjonctivites chez l'Homme lorsqu'une personne est exposée à de grandes quantités du virus. A ce jour, le risque de transmission d'une volaille de basse-cour à l'Homme semble très faible voire inexistant. La plupart du temps, ce sont les travailleurs de laboratoire et les vaccinateurs qui sont les plus touchés (75). En ce qui concerne l'agent zoonotique *Mycobacterium avium*, sa transmission à l'homme par des poules de basses-cours n'a pas été mise en évidence malgré une récente identification de cette bactérie dans des basses-cours aux Etats-Unis ; bien que celle-ci reste rare (6 cas positifs sur 2509 cas de mortalité) (76).

I.2 Vers une émergence d'agents zoonotiques ?

Au-delà d'une liste d'agents pathogènes « classiques », l'émergence de nouveaux agents zoonotiques à l'interface homme-animal attire l'attention. Ainsi, dans le sud-est de l'Asie, la forte promiscuité entre homme et volaille pourrait en partie expliquer l'émergence de virus influenza réassortants tel que des virus H5N2 et H5N6 (77–79). L'Europe et la France ne sont pas épargnées par la circulation de virus ou bactéries à fort risque zoonotique (80). Dans le cas de *Chl.p*, par exemple, alors que la bactérie était jusqu'à récemment considérée comme le seul agent causal de chlamydie aviaire, deux nouvelles espèces aviaires, *Chl. avium* et *C. gallinacea*, ont été récemment décrites (81). L'importance pathologique de ces nouveaux agents chez l'homme ou les oiseaux n'est pas actuellement bien comprise, mais ils pourraient présenter un risque potentiellement important (82). On peut également citer l'émergence de salmonelles multirésistantes et leur circulation à grande échelle comme dans le cas de *Salmonella Heidelberg* aux USA en 2013 (83). Il en est de même pour l'apparition et la diffusion de *Escherichia coli* productrices de Beta-Lactamase à Spectre Etendu (BLSE) en Thaïlande (84). La législation sanitaire internationale et nationale impliquant les programmes de dépistage permettent néanmoins une surveillance accrue des agents pathogènes et de leur éventuelle émergence.

Dans plusieurs études, la considération du risque varie en fonction du type de production (12). De nombreuses organisations sanitaires gouvernementales mondiales et nationales se sont intéressées aux possibles mutations du virus de l'IA. Elles établissent un lien entre l'augmentation du risque de sélection et l'accélération de ces mutations et l'intensification des processus d'élevage d'animaux destinés à l'alimentation. Ainsi, Leibler et al., insiste sur la reconnaissance des défis spécifiques au modèle industriel en matière de biosécurité et de bioconfinement pour limiter les risques liés à ce type de production (85). Pour ces raisons, beaucoup pensent que l'évolution vers des structures de plus petite échelle représenterait plutôt une solution qu'un problème concernant l'émergence de nouveaux agents pathogènes (86–89). En effet, malgré une biosécurité limitée, les infections de propriétaires de volailles par ces virus IAs semblent être plutôt rares (27,90). Pollock et al. indique aussi que le secteur avicole familial ne semble pas représenter la plus grande menace pour la santé publique en comparaison à l'élevage d'autres animaux, tels que les chiens et les chats (25).

Toutefois, d'autres études semblent contredire ce constat en mettant en évidence le rôle des basses-cours dans la diffusion des virus de l'IA ou de la maladie de Newcastle en Égypte ou aux États-Unis (63,91–93) ainsi qu'en évoquant la surexposition des propriétaires aux risques de toxi-infections alimentaires (25,73,94). Les agents pathogènes identifiés comme provoquant des zoonoses possibles sont présentés dans le Tableau 6, ci-dessous (95,96). Les plus importants à considérer dans le secteur avicole familial, compte tenu des niveaux de prévalence observés dans la littérature et du risque potentiel qu'ils représentent pour l'homme y figurent en gras.

Tableau 6 : Liste des agents zoonotiques décrits pour la volaille.

Catégorie	Agent infectieux	Caractéristiques
Bactéries à l'origine de TIAC	<i>Salmonella</i> sp.	Transmission de la bactérie par les fientes ou le matériel contaminé. Agents de toxi-infections alimentaires conduisant à des diarrhées/entérites.
	<i>Campylobacter</i> spp.	Les oiseaux sont des réservoirs de la bactérie, transmission par les fientes conduisant à des troubles digestifs.
	<i>Escherichia coli</i>	Risque par l'exposition d'oiseaux porteurs de souches bactériennes virulentes. La transmission est majoritairement fécale (et par aérosols en cas de promiscuité).
	<i>Clostridium perfringens</i>	Bactérie commensale du tube digestif des oiseaux pouvant contaminer la viande.
	<i>Staphylococcus</i> sp.	13 espèces bactériennes pouvant être portées par les oiseaux ; transmission souvent indirecte conduisant à des gastro-entérites chez l'homme.
	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Transmission par les fientes ; l'avifaune sauvage peut jouer le rôle de réservoir.
	<i>Listeria monocytogenes</i>	À l'origine de septicémies et encéphalites ; les volailles peuvent être des réservoirs de la bactérie.
	<i>Shigella</i> sp.	Bactérie transmise par les fientes ou les oiseaux.
Autres bactéries	<i>Pasteurella multocida</i>	Bactérie présente dans les voies respiratoires supérieures, infection opportuniste.
	<i>Chlamydia psittaci</i> <i>Chlamydia gallinacea</i>	Transmission par des aérosols, par les voies respiratoires.
	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Bactérie qui provoque une septicémie chez les oiseaux ; transmission majeure à l'homme lors de l'abattage/découpe de carcasses contaminées.
	<i>Mycobacterium avium</i>	Infections chroniques. Transmission des mycobactéries par les fientes (environnement) ou par des aérosols pouvant conduire à troubles digestifs et pulmonaires.
Virus	Virus de l'IA (<i>Influenza A virus</i>)	Virus circulant dans les aérosols ; transmission possible, bien que rare, à l'homme travaillant en contact étroit et prolongé avec les oiseaux – conduit à des états grippaux.
	Virus de la maladie de Newcastle (<i>Avian Avulavirus 1</i>)	Virus circulant dans les aérosols, les poussières, dans le cadre de vaccinations avec souches vivantes. Conduit à des conjonctivites, sinusites, état grippal mineur.
Levures et champignons	<i>Candida albicans</i>	Levure usuelle du tube digestif pouvant être transmise lors de nourrissage à la main ou de contact rapproché.
Parasites	<i>Giardia</i> sp.	Protozoaire à transmission orale ou fécale ; porteurs asymptomatiques ou pouvant présenter des troubles digestifs
	<i>Cryptosporidium</i> sp.	Parasite à transmission orale ou fécale pouvant provoquer des diarrhées chez l'homme.

II. Législation sanitaire

Afin de protéger la population des nuisances ainsi que des risques zoonotiques liés à la détention de volailles, un ensemble de textes réglementaires nationaux et européens se succèdent pour maîtriser et contrôler les risques associés à la détention de volailles domestiques dans le cercle familial. La détention d'oiseaux domestiques est possible pour tout individu. Ainsi, pour toute question, le détenteur est invité à se rapprocher du maire de sa commune.

II.1.1 Réglementation d'ordre général

- Article L214 – Code rural et de la pêche maritime Chapitre IV (97)

Tout homme a le droit de détenir des animaux dans les conditions définies à l'article L. 214-1 et de les utiliser dans les conditions prévues à l'article L. 214-3, sous réserve des droits des tiers et des **exigences de la sécurité et de l'hygiène publique** et des dispositions de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature.

- Article 122 – Règlement sanitaire général (98)

Les animaux domestiques ou sauvages apprivoisés ou tenus en captivité.
Les propriétaires de ces animaux sont tenus d'empêcher qu'ils ne soient à l'origine **de transmission de germes pathogènes ou de nuisances pour l'homme**.

- Article R1334-31 du code de la santé publique (99)

Aucun **bruit particulier** ne doit, par **sa durée, sa répétition ou son intensité**, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, dans un lieu public ou privé, qu'une personne en soit elle-même à l'origine ou que ce soit par l'intermédiaire d'une personne, d'une chose dont elle a la garde ou d'un animal placé sous sa responsabilité.

- Arrêté du 13 Juin 1994, article 1^{er} (100)

Ainsi pour qu'une basse-cour reste une basse-cour, le nombre de ses pensionnaires est limité à 50 animaux de plus de 30 jours. Elle reste soumise aux règles générales du **Règlement sanitaire départemental**.

Au-delà de 50 animaux de plus de 30 jours, votre basse-cour devient un élevage, une installation classée, soumise à une loi stricte nécessitant d'en faire la déclaration.

Pour cette réglementation, il est établi un système "d'animaux-équivalents" défini de la manière suivante:

- les poules, poulets, faisans, pintades comptent pour 1 animal-équivalent ;
- les canards comptent pour deux animaux-équivalents ;

- les dindes et les oies comptent pour trois animaux-équivalents ;
- les palmipèdes gras en gavage comptent pour cinq animaux-équivalents ;
- les pigeons et les perdrix comptent pour un quart d'animal-équivalent ;
- les cailles comptent pour un huitième d'animal-équivalent.

À la suite de la circulation du VIA en France en 2006, la déclaration des basses-cours en mairie a été rendue obligatoire (cf infra). En réalité, peu de déclarations sont effectuées auprès des mairies et on remarque une forte hétérogénéité des connaissances réglementaires par les élus locaux en fonction de leur localisation (milieu rural ou urbain). La connaissance sanitaire sera souvent mieux acquise et diffusée auprès des basses-cours rurales qu'auprès des particuliers en milieu urbain.

II.1.2 Réglementation sanitaire spécifique

- Dangers sanitaires de 1^{re} et 2^e catégorie concernant les volailles domestiques

Les dangers sanitaires, classifiés en trois catégories, définissent les dangers biologiques (bactéries, virus, parasites, etc.) ou chimiques, qui sont de nature à porter atteinte à la santé des animaux et des végétaux, à la chaîne alimentaire, au commerce des animaux et des végétaux, ou à être transmissibles à l'homme. La hiérarchisation des priorités sanitaires est particulièrement importante dans un contexte sans cesse évolutif. Elle fait d'ailleurs l'objet depuis 2010 d'une nouvelle nomenclature permettant de donner une meilleure lisibilité des démarches à entreprendre à tous les niveaux pour assurer la protection sanitaire du territoire. Les trois catégories sont définies comme suit dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Définitions des 3 catégories de dangers sanitaires et mesures de lutte associées

Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
Dangers sanitaires susceptibles de porter une atteinte à la santé publique, ou à mettre gravement en cause les capacités de production nationales ou la salubrité de l'environnement.	Dangers sanitaires affectant l'économie d'une filière, animale ou végétale.	Dangers relevant de l'initiative individuelle privée.
Dangers nécessitant des mesures de prévention, de surveillance ou de lutte définies et imposées par l'État dans un but d'intérêt général.	Des programmes collectifs, volontaires ou rendus obligatoires, sont définis pour pouvoir efficacement conduire des mesures de prévention, de surveillance ou de lutte.	Accompagnement particulier des individus/entreprises afin qu'ils bénéficient de la part des organisations professionnelles et/ou de l'État des formations et des conseils adaptés leur permettant d'améliorer le niveau global de la gestion sanitaire de leur entreprise et du territoire.

Les définitions réglementaires des trois catégories de dangers sanitaires sont mentionnées dans l'article L.201-1 du code rural et de la pêche maritime (101).

- Arrêté du 29 juillet 2013 (102)

L'arrêté du 29 juillet 2013, présente pour l'ensemble des animaux de production, les dangers sanitaires de 1^{re} et 2^e catégorie (précisés Tableau 8 ci-dessous pour les volailles et/ou oiseaux).

Tableau 8 : Dangers sanitaires de 1^{re} et 2^e catégorie

Dangers sanitaires de 1 ^{re} catégorie	Dangers sanitaires de 2 ^e catégorie
Encéphalite japonaise (<i>Flaviviridae</i> , <i>Flavivirus</i>)	Chlamydophilose aviaire ou ornithose-psittacose
Virus West-Nile (<i>Flaviviridae</i> , <i>Flavivirus</i>)	Pullorose-typhose (<i>Salmonella</i> Gallinarum Pullorum)
Virus de l'IA HP, et de sous-type H5, H7 faiblement pathogène	
Virus de la maladie de Newcastle (<i>Paramyxoviridae</i> , <i>Orthoavulavirus</i>)	
<i>Salmonella</i> Enteritidis, Hadar, Infantis, Typhimurium, Virchow	

- Réglementation spécifique à l'IA
 - Arrêté du 24/02/2006 (103)

Tout détenteur d'oiseaux est tenu d'en faire la déclaration auprès du maire du lieu de détention des oiseaux en renseignant la fiche figurant à l'annexe 1 du présent arrêté.

- 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'IA (Article 12) (104). Un arrêté du 3 juin 2019 modifie le présent arrêté du 8 février 2016 (105).

Par dérogation aux articles 2 à 10 et 14, les détenteurs des exploitations non commerciales appliquent à minima les mesures de biosécurité suivante :

- aucune volaille ou oiseau captif d'une exploitation non commerciale n'entre en contact direct avec des volailles ou autres oiseaux captifs d'exploitations commerciales ou n'a accès à une exploitation commerciale
- toutes les mesures sont prises pour éviter les contaminations liées aux véhicules, autres animaux et personnes étrangères à l'exploitation et pour limiter l'accès des bâtiments aux rongeurs, aux insectes et autres nuisibles
- l'approvisionnement en aliments et en eau de boisson est protégé d'un accès par les oiseaux sauvages
- la litière neuve est protégée et entreposée à l'abri de l'humidité et de toute contamination, sans contact possible avec des cadavres
- en cas de mortalité anormale, le détenteur contacte un vétérinaire pour une visite sanitaire de l'exploitation à ses frais, sans préjudice des règles de police sanitaire prévues en cas de suspicion d'influenza aviaire validée par le directeur départemental en charge de la protection des populations
- les cadavres sont isolés et protégés avant leur enlèvement et le cas échéant, avant présentation au vétérinaire
- pour les détenteurs non commerciaux d'appelants pour la chasse au gibier d'eau, les mesures de biosécurité s'appliquant sont celles de l'arrêté du 1er août 2006 susvisé.

- Réglementation visant les toxi-infections alimentaires causées par les salmonelles (16)

Il est important de citer la réglementation mise en place dans le cadre du programme national de lutte contre les salmonelles (poules pondeuses, poulets de chair ou dindes d'engraissement) qui concerne uniquement les élevages de plus de 250 oiseaux (16). Elle permet la surveillance active, par des prélèvements, de la présence de *Salmonella* spp. dans l'environnement. Les propriétaires de basses-cours ne sont pas concernés par cela, mais une connaissance de cette réglementation pourrait permettre aux particuliers d'entamer une démarche volontaire de suivi sanitaire de leur poulailler afin de préserver la santé de leurs foyers. Par exemple, de nombreux cas de salmonelloses ont été identifiés dans des foyers familiaux aux USA suite à l'augmentation du nombre de basses-cours (11). Pour ces mêmes raisons, la consommation d'œufs hors du strict cadre familial est interdite.

- Réglementation portant sur l'alimentation animale à base de déchets non spécifiques

En France, tout comme dans les autres pays européens, il est interdit de nourrir les animaux de ferme (animaux à l'origine de la production de denrées alimentaires) avec des restes de cuisine. Or, la volaille et plus précisément la poule pondeuse entre réglementairement dans la définition d'animal de ferme, même si celle-ci est gardée comme animal de compagnie, car les propriétaires en consomment les œufs.

o Règlement CE n°1069/2009 du règlement sanitaire (106)

La valorisation des DCT (déchets de cuisine et de table) en alimentation animale **est strictement interdite pour les animaux d'élevage destinés à la consommation humaine** (viande, œufs, lait...). Cependant, elle peut être autorisée pour les autres animaux (refuges pour chiens et chats, chenils, meutes de chien de chasse, zoos, cirques, élevage d'animaux à fourrure...) et cela uniquement si l'utilisateur final (détenteur des animaux) obtient une autorisation. Cette autorisation qui prend la forme d'un arrêté préfectoral doit être exigée par le restaurateur. Cet usage, dès lors qu'il est destiné à des carnivores domestiques, doit être accompagné d'une cuisson, pratiquée en général par l'utilisateur, détenteur des animaux.

Cette mesure sert à prévenir la dispersion de plusieurs agents pathogènes, notamment les virus des maladies de Newcastle et de Gumboro (107,108). En effet, ces virus peuvent être présents dans la viande de poulet ou les œufs, et pourraient être retrouvés dans les restes de table distribués aux oiseaux. Nourrir la volaille de déchets alimentaires aurait causé une épidémie de maladie de Newcastle en Suisse en 1994 (45). On observe, en France comme dans d'autres pays, que cette mesure est très peu prise en compte dans les initiatives actuelles, et qu'au contraire des communautés de communes valorisent l'adoption de poules pour le recyclage des déchets (109). L'enjeu actuel est donc de définir le statut législatif de la poule de basse-cour et de compagnie afin de savoir si le même règlement s'applique dans ce contexte. Aujourd'hui, la méconnaissance de la réglementation sanitaire actuelle par les particuliers et par les instances gouvernementales et publiques dans la mise en place d'initiatives urbaines est un enjeu majeur de santé publique.

III. Agents pathogènes d'importance économique et sanitaire

III.1 Les agents pathogènes d'intérêt dans la filière avicole commerciale

Certains agents infectieux réglementés impliquent une surveillance accrue des élevages et la mise en place de mesures drastiques en cas de détection. C'est le cas notamment des virus de l'IA H5-H7 HP ainsi que des salmonelles majeures pouvant conduire à de grandes pertes économiques. Ainsi, les acteurs de la filière professionnelle remettent souvent en question la présence des basses-cours à proximité des élevages commerciaux et leur potentiel rôle de réservoir. Outre les quatre maladies infectieuses à déclaration obligatoire à l'OIE (IA H5, H7, pullorose, typhose et formes hautement pathogènes de la maladie de Newcastle), d'autres agents pathogènes doivent aussi être considérés comme économiquement importants et prioritaires à surveiller et contrôler. C'est particulièrement le cas du virus de la laryngotrachéite infectieuse (ILTV) *Gallid alphaherpesvirus 1* appartenant au genre *Iltovirus*, de la sous-famille des *Alphaherpesvirinae*, et de la famille des *Herpesviridae* ainsi que des virus de la bronchite infectieuse (IBV) *Avian coronavirus* de sous-genre *Igacovirus*, de genre *Gammacoronavirus*, de la sous-famille des *Orthocoronavirinae*, et de la famille des *Coronaviridae*. Des bactéries peuvent également être une menace pour les élevages commerciaux ; on peut citer les mycoplasmes *Mycoplasma gallisepticum* (MG) et *Mycoplasma synoviae* (MS), *Pasteurella multocida* (PM), *Ornithobacterium rhinotracheale* (ORT), *Escherichia coli* (*E.coli*), *Bordetella avium* (Ba), *Avibacterium paragallinarum* (AvP) pouvant conduire à des signes cliniques importants, des surinfections, de la mortalité et des chutes de production. Peu de données ont été publiées sur la prévalence de ces différentes bactéries sur le territoire français dans le compartiment commercial, mais toutes ont été mises en évidence dans d'autres pays industrialisés (110–116).

III.2 Agents pathogènes d'intérêt dans la filière avicole familiale

Les agents pathogènes présents dans les basses-cours peuvent représenter un risque sanitaire pour les propriétaires détenteurs (22). Indépendamment du risque représenté par les basses-cours pour les élevages commerciaux, il a été montré que les volailles familiales sont exposées à une grande variété d'agents pathogènes, que ce soit des agents d'infection primaires ou des agents de surinfection (117,118). Cela a beaucoup été étudié dans les systèmes de production villageois des pays en développement où de graves épizooties sont survenues au cours des dernières années (119–121). La santé des basses-cours dans les pays développés est en revanche encore peu étudiée malgré un récent regain d'intérêt pour la production avicole familiale.

D'après diverses enquêtes, les propriétaires déclarent majoritairement une bonne santé de leurs volailles (7,24,37,41), mais peu d'entre eux ont recours à l'expertise de vétérinaires ou de laboratoires de diagnostic. Les étiologies infectieuses conduisant à de la mortalité au sein de basses-cours représentent 60% des causes

de mortalité (122–125). Quelques études rétrospectives identifient les causes de mortalité majeures des basses-cours comme étant liées à la maladie de Marek (6,2%-26,5%), aux mycoplasmoses aviaires (1,5-25,3%) et aux colibacillooses (7,4%-15,9%) (9,41,126,127).

En Ontario, une enquête prospective a été menée sur deux ans afin d'identifier les causes infectieuses principales de mortalité. Des infections respiratoires multifactorielles ont été identifiées dans la plus grande majorité des cas, puis des infections bactériennes à *E.coli*, *Clostridium perfringens*, *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Mycoplasma synoviae* (MS), virales dues aux virus de la maladie de Marek (MDV) et de la bronchite infectieuse (IBV) et parasitaires à *Eimeria* et *Histomonas*. Les agents infectieux isolés le plus souvent sur les volailles présentant des signes cliniques respiratoires sont dans l'ordre décroissant : MS, IBV, MG, ILTV, *E.coli* et AvP (128).

Des enquêtes sérologiques et/ou recherchant des agents pathogènes ont également été réalisées. Un tableau présentant l'ensemble de ces résultats figure dans l'Annexe 2 de l'article 2 présenté dans la partie expérimentale (9,27,41,42,45,71,122,124,126–139). Des enquêtes sérologiques réalisées aux États-Unis, en Suisse et en Nouvelle-Zélande montrent une faible prévalence du NDV et du VIA (0-30%) (27,40–42,45,127,139). Toutefois, au cours des dernières années, les basses-cours ont été impliquées dans l'apparition de nouveaux foyers de ces maladies. On peut citer l'exemple de l'Italie et de la Californie, pays ayant connu en 2000 et en 2002, une circulation intense de VIA et NDV (140,141). Aussi, il a été isolé de façon récurrente des génotypes virulents NDV en Bulgarie et en Ukraine.

Des agents pathogènes respiratoires tels que les metapneumovirus aviaires (aMPV), l'IBV, l'ILTV, MG et MS ont, de façon plus générale, une prévalence plus élevée dans le compartiment des basses-cours (126,135,139,142). La majorité de ces maladies sont contrôlées en élevage commercial par l'utilisation courante de vaccins ce qui n'est pas le cas dans le secteur des élevages familiaux. En revanche, des agents pathogènes tels que les virus de l'encéphalomyélite aviaire (AEV), de l'anémie infectieuse (CIAV) et de la maladie de Gumboro (IBDV) présents dans le secteur commercial ont été peu cherchés dans le compartiment des basses-cours (41,139,143).

Afin de mieux comprendre les risques de transmission des agents pathogènes entre les différents secteurs et leur importance dans l'ensemble de la filière, la partie suivante présente les différentes caractéristiques des agents pathogènes d'intérêt.

III.3 Caractéristiques épidémiologiques

Cette partie présente certains agents pathogènes communément présents chez la volaille, qui ont été choisis en fonction de leur importance économique, de leur prévalence décrite dans les basses-cours, de leur

pertinence quant à la production commerciale de volaille en France et en Europe (y compris les maladies à déclaration obligatoire) et de leur caractère éventuellement zoonotique.

Le tableau ci-dessous présente les modes de transmissions et les signes cliniques associés aux infections bactériennes à *Pasteurella Multocida* (PM), *Ornithobacterium rhinotracheale* (ORT), *Bordetella avium* (Ba), *Avibacterium paragallinarum* (AvP), *Escherichia coli* (*E.coli*), *Salmonella* spp, *Campylobacter* spp et *Mycoplasma* spp. Il en est de même pour les virus de la bronchite infectieuse (IBV), de la laryngotrachéite infectieuse (ILT/TV), de la maladie de Marek (MDV), de l'IA (VIA), de la maladie de Newcastle (NDV) et du syndrome infectieux de la grosse tête (SIGT).

Pour les bactéries et virus à tropisme respiratoire, les voies de contamination majeures sont les aérosols. L'inhalation de particules ou poussières contaminées conduit à la transmission de l'agent infectieux au sein du lot. Pour les agents pathogènes à tropisme digestif, la contamination se fera majoritairement de façon indirecte par les objets contaminés par les fientes. La compréhension de la pathogenèse et des voies de transmission des différents agents pathogènes d'intérêt pour la filière avicole permet de mieux comprendre le possible rôle des basses-cours comme réservoir. Le Tableau 9 ci-dessous synthétise les voies de transmission, les espèces sensibles et le type de portage des agents pathogènes étudiés (144–150).

Tableau 9 : Voies de transmission, portage et sensibilités des espèces aux agents pathogènes respiratoires étudiés

Agent pathogène	Voies de transmission	Espèces sensibles	Caractéristiques du portage
<i>Pasteurella multocida</i> (PM)	Horizontale. Directe ou indirecte. Par inhalation d'aérosols ou ingestion de contaminants	Poule, Dinde, Canard, Oie, autres espèces d'oiseaux sauvages	Portage pouvant être chronique et effet saisonnier (automne – hiver)
<i>Ornithobacterium rhinotracheale</i> (ORT)		Dinde, Poule	
<i>Bordetella avium</i> (Ba)	Horizontale. Directe ou indirecte. Par ingestion de contaminants	Dinde, autres volailles	Portage pouvant être chronique. Influence des conditions d'élevages
<i>Avibacterium paragallinarum</i> (AvP)	Horizontale. Directe ou indirecte. Par ingestion de contaminants. Possible par voie aéroportée	Poule Animaux âgés	Portage le plus souvent chronique et effet saisonnier (automne – hiver)
<i>Escherichia coli</i> (E.coli)	Horizontale. Directe ou indirecte. Par ingestion de contaminants.	Toutes espèces	Bactérie commensale du tube digestif et possible agent de surinfection
<i>Salmonella enterica</i>	Horizontale ou verticale. Directe ou indirecte. Par ingestion de contaminants.	Toutes espèces	Portage asymptomatique dans le tractus intestinal des espèces aviaires
<i>Campylobacter spp</i>	Horizontale. Directe ou indirecte. Par ingestion de contaminants.	Poule, Dinde, Canard, Oie	
<i>Mycoplasma spp</i>	Horizontale ou verticale. Directe ou indirecte par inhalation	Poule, Dinde, moineau domestique	Portage asymptomatique par les espèces réservoirs
Virus de la bronchite infectieuse (IBV)	Horizontale. Majoritairement par inhalation et contact direct	Poule, Faisan	Absence de portage chronique
Virus de la laryngotrachéite infectieuse (ILTV)	Horizontale. Directe ou indirecte. Par les voies respiratoires et oculaires	Poule, Faisan, Paon, Canard	Portage latent possible
Virus de la maladie de Marek (MDV)	Horizontal. Directe ou indirecte. Par inhalation	Poule	Portage symptomatique ou asymptomatique et forte pression environnementale
Virus de l'influenza aviaire (VIA)	Horizontale. Directe ou indirecte. Par inhalation ou ingestion.	Oiseaux sauvages, Anatidés, Poule	Portage asymptomatique chez les anatidés et oiseaux d'eau.
Virus de la maladie de Newcastle (NDV)	Transmission horizontale. Contamination directe ou indirecte, par inhalation ou par ingestion	Poule, Dinde, oiseaux sauvages	Portage asymptomatique possible chez différentes espèces
Metapneumovirus aviaire (aMPV)	Transmission horizontale. Contamination directe ou indirecte, par inhalation ou par ingestion	Poule, Dinde, Faisan, oiseaux sauvages	Pas de portage asymptomatique chez la Poule. Portage asymptomatique par les oiseaux migrateurs.

La basse-cour : un réservoir d'agents pathogènes ?

I. La basse-cour : hôte de maintenance

I.1 Définition du rôle d'hôte de maintenance

La notion de réservoir a été largement utilisée dans une grande variété de contextes et de nombreuses publications décrivent les basses-cours comme étant des « réservoirs potentiels » d'agents pathogènes. Toutefois, la présence d'agents pathogènes et le portage asymptomatique de virus ou bactéries dans le compartiment non commercial ne font pas pour autant des basses-cours des réservoirs. En effet, si on reprend la définition publiée par Haydon et al., un hôte réservoir correspond à une ou plusieurs population(s) ou un environnement ayant une connexion épidémiologique dans lequel un agent pathogène peut être maintenu en permanence sans apport extérieur et duquel l'infection est transmise à une population cible (151). Un hôte réservoir est donc un hôte de maintenance ayant également une fonction d'hôte relais vis-à-vis de la population cible considérée.

La circulation d'un agent pathogène dans une communauté d'hôtes repose sur trois caractéristiques spécifiques à la population considérée : (i) son exposition à l'agent pathogène, déterminée par son écologie ; (ii) sa réceptivité, c'est-à-dire son aptitude à héberger l'agent pathogène et à en permettre le développement ou la multiplication, sans nécessairement en être affecté (iii) sa capacité à transmettre l'agent pathogène à un nouvel hôte. Deux fonctions sont à distinguer : la fonction de maintenance, qui est la capacité à maintenir l'agent pathogène dans la communauté et la fonction de transmission, qui est la capacité à transmettre l'agent pathogène à la population cible. La population de maintenance n'est pas nécessairement en contact avec la population cible ce qui implique la présence d'hôtes intermédiaires considérés comme hôtes relais qui permettent de faire un lien entre hôte cible et hôte de maintenance au cours du temps et dans l'espace (151–153).

Dans le contexte des basses-cours, le chapitre précédent a montré que des prévalences importantes d'un grand nombre d'agents pathogènes étaient observées dans les élevages familiaux, ce qui suggère un rôle d'hôte de maintenance. En effet, les élevages familiaux, en raison de leurs caractéristiques structurelles, côtoient de nombreuses sources potentielles d'agents pathogènes, et ce, de façon active ou passive. Souvent pluri-espèces, multi-âge, et ayant un fort taux de renouvellement des animaux; l'absence de mesures de précautions sanitaires et/ou de vides sanitaires réguliers dans le secteur non commercial favorise la maintenance et la circulation d'agents pathogènes en son sein (127,138,154,155). Toutefois, l'étude de la fonction de transmission aux élevages commerciaux reste nécessaire pour conclure quant à ce rôle de réservoir.

I.2 Expositions de l'élevage familial aux agents pathogènes

Au Bangladesh en 2007, la proximité des basses-cours à des points d'eau, la présence de fermes commerciales dans un rayon d'un demi kilomètre, la proximité d'oiseaux migrateurs, les contacts avec des pigeons, la présence de rongeurs, la proximité inter-espèces de poulets et de canards domestiques ainsi que la proximité de carcasses de poulets achetés sur les marchés ont été identifiés comme des facteurs de risque de circulation du virus H5N1 pour les élevages familiaux (156). Toutefois, l'importance relative de ces facteurs de risques de contamination des élevages commerciaux dépend souvent de leur localisation ainsi que du contexte. En Chine, il a été montré qu'en fonction des régions, les facteurs de risques n'étaient pas les mêmes. Dans une première région, le facteur de risque majeur était le contact des volailles avec la faune sauvage, dans une seconde région, le contact entre volailles et palmipèdes domestiques voisins a été identifié comme le risque majeur, dans une tierce région, il a été question de l'introduction de volailles provenant d'un marché aux volailles vivantes en plus d'un contact avec la faune sauvage (157). La Figure 9 présentée ci-dessous indique les différents facteurs de risques étant à l'origine de la contamination éventuelle des basses-cours. Une majorité des études concerne les virus influenza, mais on peut penser qu'il en est de même pour une majorité d'agents pathogènes identifiés dans la filière avicole.

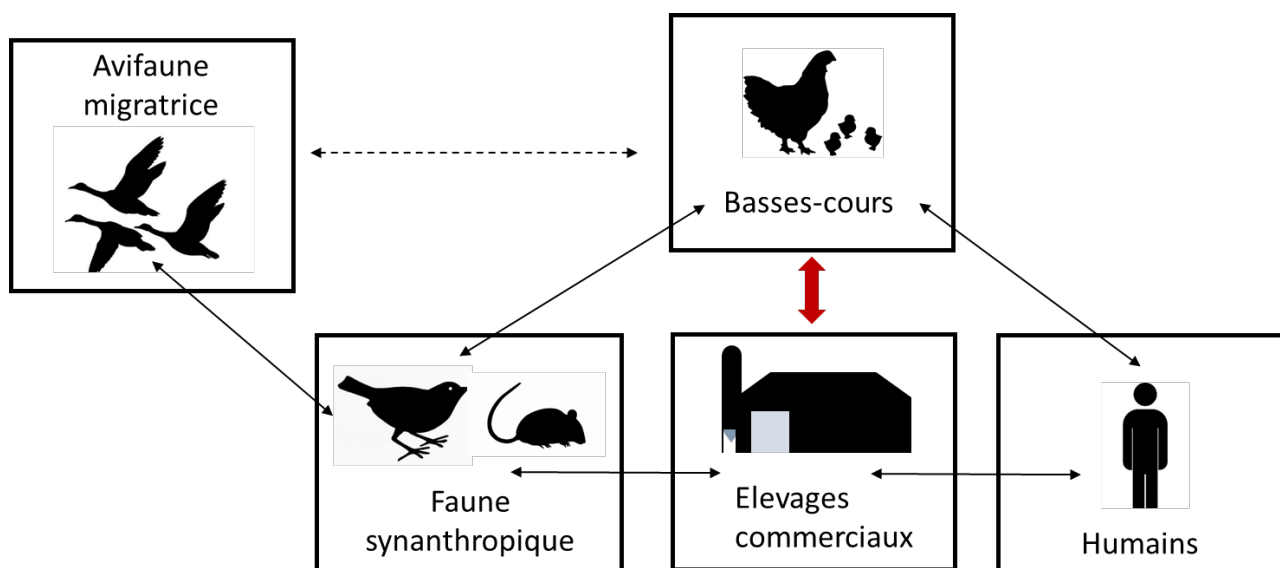


Figure 9 : Représentation schématique de la circulation d'agents pathogènes à l'interface basses-cours, faune sauvage, faune captive et humains.

Les flèches représentent les flux d'agents pathogènes. La double flèche rouge représente plus spécifiquement l'interface basses-cours-élevages commerciaux étudiée ici. Les autres flèches indiquent les autres moyens de transmissions indirects. L'icône « humains » regroupe l'ensemble des pratiques associées à la production avicole : transports d'animaux, matériel, visites d'élevages. La transmission par la faune sauvage peut se faire par transmission directe (contact avec l'avifaune locale) ou indirecte (contact avec des fientes contaminées ou contact avec de la litière, eau ou alimentation contaminée par de la faune sauvage).

I.2.1 Densité avicole

Pour des basses-cours localisées dans des zones de forte production avicole, des facteurs de risques de diffusion du virus de l'IA ont été identifiés. En effet, en cas de foyer détecté au sein d'un élevage commercial, la forte densité animale, les manquements aux mesures de biosécurité, les différents flux associés à l'élevage (transports d'animaux, camions d'aliments, visite fréquente des services techniques et sanitaires), ainsi que la forte proximité géographique entre compartiments peuvent être autant de facteurs conduisant à la contamination depuis les élevages commerciaux vers les basses-cours (132,158).

Il a été montré que la proximité géographique par rapport à un autre troupeau contaminé était un facteur de risque pour l'infection d'un élevage (159–161). En effet, plusieurs agents pathogènes (notamment respiratoires) peuvent être transmis par aérosols sur de longues distances comme cela a pu être montré dans l'apparition de cas de laryngotrachéite infectieuse dans la péninsule de Delmarva aux États-Unis (154). Lors de l'épidémie d'IA (H7N3) de 2004 dans la vallée de Fraser en Colombie-Britannique, des particules virales ont pu être détectées jusqu'à 800 mètres des fermes foyers sans pour autant démontrer d'infection (162–165). En France, il a été montré la présence d'ARN viral du virus influenza H5N8 jusqu'à 110m de distance du foyer lors de l'épidémie de 2016-2017 (166). Le même constat a été fait au Canada et aux États-Unis, où une forte proximité existe entre les élevages familiaux et les élevages commerciaux avec souvent des distances inférieures à 1km impactant le statut sanitaire des basses-cours (24,127,132,154,167).

Si la diffusion d'agents pathogènes par des aérosols peut se faire sur plusieurs centaines de mètres autour des élevages commerciaux contaminés, des vecteurs, passifs ou actifs, notamment des hôtes relais peuvent transmettre des agents infectieux par voie oro-fécale. On peut citer la faune sauvage locale, et l'homme (éleveurs, vétérinaires, services techniques), via les flux de matériel ou d'animaux contaminés (168).

I.2.2 Interface volailles-faune sauvage

De nombreux agents pathogènes ont été isolés dans le compartiment de l'avifaune sauvage leur conférant un possible rôle de réservoir. C'est le cas pour MG, *E.coli*, *Salmonella* spp, *Mycobacterium* spp, *Campylobacter* spp., *Chlamydia* spp, le VIA et le NDV (137,169–173,173–177).

Du fait de leur accès à un parcours plein air, pas toujours délimité, le contact avec la faune sauvage est plus important pour les volailles familiales (37). Au Maryland, 44% des propriétaires de basses-cours gardent leurs oiseaux libres sur leur terrain, dont 15% avec un accès à l'eau d'une source naturelle. Ces conditions d'élevage facilitent l'introduction d'agents pathogènes présents chez les oiseaux sauvages, tels que des VIA, dans le troupeau (155). La proximité avec des oiseaux d'eau ou leur habitat a été identifié plusieurs fois comme facteur de risque majeur pour la dissémination des VIA aux basses-cours (42,127,137). Jimenez et

al., mettent en évidence un « spillover »⁸ des oiseaux sauvages aux basses-cours (172). Il semblerait que la contamination puisse se faire de deux façons : soit par les voies aérosols en cas de forte proximité avec les oiseaux d'eau, soit par l'intermédiaire de fientes contaminées sur le parcours des volailles (94,169). Il est important de noter que la présence de canards domestiques en mélange avec des poulets facilite également la circulation du VIA, mais aussi de différentes souches de coronavirus (CoV) et du virus de l'anémie infectieuse (CAV) (179). Il est intéressant de noter que les canards (ou d'autres espèces) peuvent être des vecteurs biologiques, ou à minima, mécaniques de souches virales très proches des virus de la bronchite infectieuse et d'autres virus d'intérêt pour la filière avicole.

Outre l'avifaune sauvage, d'autres animaux peuvent être à l'origine de transmission d'agents pathogènes, c'est le cas notamment des rongeurs qui peuvent circuler au sein des basses-cours et entre élevages, des arthropodes comme les mouches, les ténébrions et poux rouges qui peuvent être vecteurs d'agents pathogènes (127). On peut aussi citer la présence d'animaux domestiques pouvant être à l'origine de transmission entre élevages comme les chats et les chiens (180–182). Inversement, les élevages familiaux ou commerciaux permettent la dispersion des agents infectieux dans l'environnement comme il l'a été montré pour des porcs plein air (169). Une méta-analyse réalisée par Wiethoelter et al (183) a montré que l'interface avifaune sauvage-élevages familiaux en plein air était la plus étudiée en ce qui concerne les risques mondiaux de pathogènes émergents, principalement concernant le VIA. La complexité de l'interface volailles-faune sauvage est due à sa grande diversité ce qui rend sa compréhension globale délicate (184).

I.2.3 Flux humains et animaux

Comprendre les schémas de mouvements normaux et les pratiques d'élevages des différents secteurs de la filière avicole semble indispensable pour comprendre la dynamique de propagation des agents pathogènes. Les oiseaux de basses-cours et d'élevages familiaux sont sujets à des déplacements ; la participation à des expositions, la vente à des particuliers, la garde ou l'échange d'animaux sont des mouvements fréquents dans ce secteur (37). Toutefois, il a été démontré que dans le secteur non commercial, la fréquence et les types d'animaux déplacés étaient différents en fonction de la finalité de la production. En effet, il a été observé que les éleveurs de gibiers ou d'oiseaux de races étaient plus enclins à déplacer leurs animaux (24,37,185).

I.2.3.1 Flux d'animaux et introductions

Comme le montre la Figure 10, la complexité des flux et des introductions d'animaux est une caractéristique majeure des volailles familiales. L'introduction d'animaux de diverses origines sans dépistage

⁸ « spillover » (*angl.* spillover) : Mot anglais évoquant la notion de « débordement » et, à ce titre, pouvant correspondre, en épidémiologie, à l'atteinte accidentelle d'une espèce réceptive mais habituellement non touchée par un agent pathogène biologique donné (178).

ni mesures sanitaires peut favoriser l'introduction des agents pathogènes dans les élevages familiaux (37). Dans son étude comprenant 25 élevages familiaux, Burns indique quatre différents modèles d'élevages présentant des mouvements d'oiseaux différents en fonction de l'objectif principal du propriétaire/éleveur. On distingue les négociants de volailles (groupe 1), les éleveurs de races pures ou patrimoniales (groupe 2), ceux qui ont pour objectif la production d'œufs (groupe 3), et ceux qui ont comme objectif principal la production de viande (dinde et poulet) (groupe 4). Le récent développement des analyses de réseau (SNA)⁹ permet aujourd'hui une approche quantitative des relations entre les différents acteurs d'une filière (187).

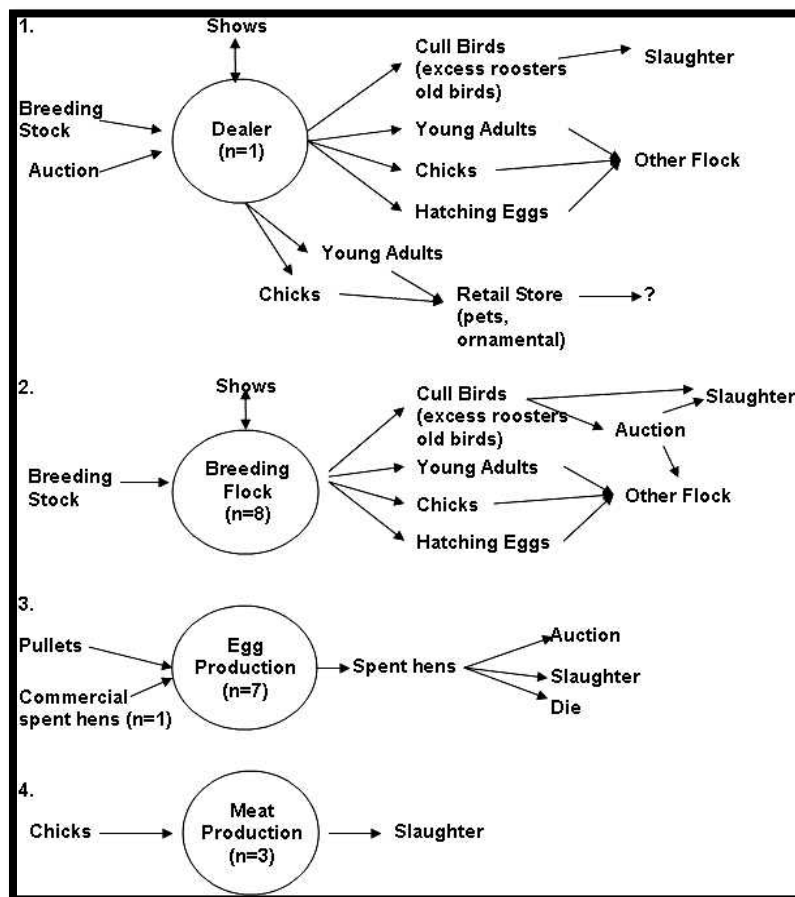


Figure 10 : Flux et interaction dans la filière basse-cour d'après Burns et al., (37)

I.2.3.2 Les contacts humains

Dans les élevages avicoles familiaux et commerciaux, il a été montré l'importance des contacts humains directs ou indirects avec les volailles (37,168). Les employés ou personnes travaillant dans l'industrie de la volaille ont été identifiés comme des connecteurs importants entre les élevages commerciaux et élevages

⁹ SNA (ang. *social network analysis*). L'analyse des réseaux sociaux en général étudie le comportement de l'individu au niveau micro, le schéma des relations (structure du réseau) au niveau macro, et les interactions entre les deux. Les réseaux sociaux sont à la fois la cause et le résultat du comportement individuel. (186)

familiaux pouvant être à l'origine des transmissions (188). Bien que moins fréquents, les contacts directs sont considérés comme présentant une plus grande probabilité de transmission du VIA (37). Les visites des basses-cours par des personnes ayant été en contact avec d'autres volailles semblent être une pratique usuelle et les circulations dans plusieurs élevages au cours d'une même journée ont été montrés comme étant un risque majeur de transmission du VIA (189). En revanche, les contacts avec d'autres propriétaires d'oiseaux ayant lieu en dehors du site d'élevage sont moins à risque de transmission du virus de l'IA, car nécessitant le transfert de matériel infectieux d'une personne à l'autre.

De la même façon, en plus du personnel, Johnson indique l'importance des véhicules et des transports associés à la filière commerciale dans la transmission du ILTV (154). Les mouvements de personnel et de matériel ont été fortement incriminés lors de l'épizootie d'IA dévastatrice de 1983-1984 en Pennsylvanie (49,140,190). Il en est de même pour d'autres agents pathogènes respiratoires ou zoonotiques tels que les mycoplasmes, les entérobactéries, *Salmonella* spp. et *Campylobacter* spp. (191–193).

Dans le cas de la circulation du VIA, on identifie une temporalité de l'infection avec deux étapes bien différentes : l'introduction primaire dans un élevage souvent à la suite de contaminations par contact direct ou indirect avec des oiseaux d'eau (ou par la circulation de volailles vivantes comme cela a pu être le cas aux États-Unis avec le virus faiblement pathogène H7N2 en 2002)(64,194) ; la diffusion secondaire qui représente la plus grande menace de propagation des VIAs par transfert mécanique de matières fécales infectieuses dans lesquelles le virus peut rester infectieux pendant plusieurs jours.

I.3 Réceptivité des volailles familiales pour les agents pathogènes

Les caractéristiques spécifiques des élevages familiaux telles que l'absence de vide sanitaire, les introductions fréquentes de nouveaux oiseaux, les mélanges d'âges et d'espèces ainsi qu'une faible maîtrise des conditions d'élevage peuvent être des facteurs favorisant la contamination, le portage et l'excrétion d'agents pathogènes (comme MG, MS ou ILTV). Des différences génétiques entre souches de volailles peuvent également avoir un effet sur la susceptibilité de l'hôte, la multiplication ou la réplication de certains agents infectieux (195). Les facteurs de stress jouent également un rôle dans le portage, l'infection et l'apparition des signes cliniques, ceux-ci pouvant être aggravés par la présence de plusieurs agents pathogènes.

I.3.1 Le pathobiome de la basse-cour

Le concept de pathogénicité a considérablement évolué au cours des dernières années et le scénario considérant uniquement l'agent pathogène et ses facteurs de virulence sans considérer l'hôte semble aujourd'hui insuffisant pour l'expliquer dans un grand nombre de cas. Il existe une grande diversité d'agents

pathogènes : virus, bactéries, champignons, protozoaires dont la pathogénicité dépend de façon très spécifique de leurs interactions avec l'hôte et son environnement microbien. En effet, le microbiome¹⁰ est à l'origine de modifications du processus de la « maladie » et de l'apparition de signes cliniques (197,198). L'utilisation d'outils récents de métagénomique a permis d'identifier de multiples co-infections démontrant ainsi les limites du postulat de Koch et Hill « Un microbe – une maladie ». En effet, il a été montré que certaines bactéries commensales du tube digestif pouvaient devenir virulentes sous l'influence de divers facteurs comme l'action d'autres micro-organismes (et le transfert horizontal de gènes entre bactéries commensales et pathogènes) (199). C'est dans ce contexte d'interactions entre communautés microbiennes qu'émerge le concept de « pathobiome » qui représente l'agent pathogène intégré dans son environnement biotique. Comprendre le pathobiome implique 1) une connaissance fine de la communauté de micro-organismes le définissant, 2) l'identification des effets de cette communauté de micro-organismes sur sa pathogénicité, 3) de comprendre les interactions entre micro-organismes et 4) avoir la connaissance des facteurs biotiques et abiotiques conduisant au déséquilibre du pathobiome et conduire à l'apparition de la forme clinique de la maladie (200).

Si la majorité des études considérant le microbiome concernent le tractus digestif, l'approche peut être déclinée aux arbres respiratoires supérieurs et inférieurs pour comprendre les causes et mécanismes des infections respiratoires. En effet, les caractéristiques abiotiques de l'hôte peuvent avoir un effet sur la composition du pathobiome modulant ainsi la pathogénicité propre à chacun des micro-organismes le constituant (201). Les affections respiratoires chez la volaille en sont un très bon exemple, car elles sont le plus souvent d'étiologie plurifactorielle et incluent des agents infectieux relayés par des facteurs liés à la conduite d'élevage, l'environnement et la sensibilité de l'animal. En effet, en plus des maladies à déclaration obligatoire par l'OIE, on constate l'importance et/ou l'émergence d'autres maladies infectieuses tel que la laryngotrachéite infectieuse, les infections respiratoires ou articulaires à MG et MS ou le coryza infectieux. AvP, agent du coryza infectieux, est décrit comme rare en Europe, mais a récemment été mis en évidence grâce aux outils de séquençages développés ces dernières années (202).

I.3.1.1 De la santé à la maladie : notion de déséquilibre

Comme pour un agent pathogène isolé, les mêmes facteurs vont influencer l'effet du pathobiome sur l'organisme :

- Les facteurs liés à l'hôte (le régime alimentaire de l'hôte, le statut immunitaire, l'environnement de l'hôte et les expositions à des vecteurs, réservoirs, les conditions d'élevages).

¹⁰ Ensemble des communautés microbiennes en plus de leurs gènes et environnement qui les entoure. En d'autres termes, il désigne un microbiote en prenant compte des données géniques et génomiques et des interactions avec son habitat (196).

- Les facteurs environnementaux (les stress abiotiques appliqués à l'hôte, aux vecteurs ou réservoirs)
- L'emplacement de l'hôte (en milieu urbanisé ou à proximité de zones à risque ou faune sauvage)

On distingue deux types de stress conduisant à la notion de déséquilibre pouvant ainsi conduire à la maladie : les stress biotiques c'est-à-dire les stress résultants de l'action néfaste d'un organisme vivant sur l'hôte et les stress abiotiques exercé par un changement d'environnement. Il a été montré pour certains agents pathogènes tels que *Campylobacter* ou *Salmonella* spp., l'impact de neurotransmetteurs tel que la noradrénaline sur le comportement de l'agent pathogène. Des réponses de l'hôte, tel que la production d'interféron, peuvent altérer les tissus facilitant ainsi l'invasion par les agents pathogènes ou peuvent interagir directement avec certaines bactéries (203).

I.3.2 Exemple du syndrome respiratoire chronique

Dans le contexte du syndrome respiratoire chez les volailles, la perturbation du fonctionnement normal des immunités innée et adaptative peut être causée par de nombreux agents infectieux ou par des facteurs environnementaux (204) :

- *Agents infectieux respiratoires*

- Les mycotoxines présentes dans l'alimentation ou dans l'environnement (205).
- Les virus immunosuppresseurs comme le virus de la maladie de Marek ou le virus de la maladie de Gumboro (206,207).
- Les co-infections respiratoires à d'autres agents pathogènes.

- *Les facteurs environnementaux*

- Une densité animale élevée et des tailles de lots trop importantes (208).
- Une alimentation inadéquate conduisant à des déséquilibres alimentaires tels que des carences en vitamine A (209)
- Une mauvaise ventilation conduisant à des taux d'ammoniacs élevés, humidité relative inadéquate (210). Plusieurs facteurs, notamment le type de litière, la densité, la manipulation du fumier peuvent influencer la teneur en ammoniac de l'air dans les poulaillers. Or, on sait que des poulets ou dindes exposés en continu à 20 ppm d'ammoniac ont montré des signes bruts ou histologiques de dommages dans le tractus respiratoire et une plus grande susceptibilité aux infections (211)
- Un stress thermique (212)
- La poussière atmosphérique, qui a montré un effet négatif sur la réponse aux infections respiratoires (145)

▪ *Les réactions vaccinales*

La protection de la volaille commerciale contre les agents viraux ou bactériens dépend de l'utilisation généralisée de vaccins. En ce qui concerne les maladies respiratoires, la vaccination à l'aide de vaccins vivants atténués s'avère être la méthode la plus efficace. Ces vaccins viraux ou bactériens se répliquent dans les voies respiratoires des oiseaux, mais bien qu'atténués, ils causent encore un certain degré de dommages cellulaires conduisant à l'immunité de l'oiseau. Il est possible dans certains cas d'avoir une réaction vaccinale « roulante » pouvant conduire à une réaction vaccinale grave et modifiant ainsi le pathobiome respiratoire des oiseaux permettant des surinfections bactériennes suivant le même schéma qu'une circulation de virus sauvage. La plupart des spécialistes de la santé des volailles conviennent que la maladie respiratoire qui résulte de l'interaction des virus vaccinaux respiratoires avec *E. coli* est la maladie respiratoire la plus courante des volailles commerciales (145). Ainsi, la présence concomitante d'agents pathogènes et de mauvaises conditions d'élevages peuvent conduire à une réaction vaccinale grave pouvant impliquer des immunosuppressions et des surinfections associées.

Dans les conditions d'élevage commercial, les infections respiratoires compliquées impliquant des étiologies multiples avec des virus, mycoplasmes et autres bactéries sont les plus souvent observées, surtout en cas de conditions environnementales défavorables ou en présence d'agents immunosuppresseurs. Les signes respiratoires peuvent aussi être induits par les programmes de vaccinations mis en place de façon systématique, pouvant jouer eux-mêmes un rôle majeur dans le développement du syndrome respiratoire (213,214). Le « syndrome respiratoire » est un complexe qui présente des facteurs d'induction, provoquant un déséquilibre de la sphère respiratoire (ex. : ILTV, aMPV), des facteurs de surinfection comme des bactéries pathogènes, opportunistes ou commensales (mycoplasmes, *E.coli*, AvP) et des facteurs de promotion souvent liés à un environnement inadéquat (forte humidité, ammoniac) qui aggravent les lésions associées. À noter qu'une majorité des agents pathogènes associés au syndrome respiratoire ont un impact économique majeur dans les filières avicoles de production d'œufs et de viande (*E.coli*, MG, MS, ILTV).

À ce jour, les infections respiratoires multiples impliquant les mycoplasmes ont été très décrites (145). Si une simple infection à MG ou MS entraîne peu de conséquences cliniques, on sait que les interactions avec le NDV ou l'IBV augmentent la gravité de l'infection en fonction de la virulence des souches (206,215,216). Certains sous-types de VIA peuvent également être des agents de co-infections dans le cas d'infections respiratoires et aggraver les signes cliniques (217). C'est le cas par exemple de la lignée mexicaine H5N2 et du H9N2 d'Asie Moyen-Orient et Afrique, virus faiblement pathogènes pouvant provoquer des bouchons trachéaux et bronchiques (218).

D'autres synergies ont été identifiées dans la sphère respiratoire comme AvP et MG, MG et ILTV, IBV et *E.coli*, ORT et aMPV, aMPV et *E.coli* ou Ba, Chl.p et le VIA H9N2 (217,219–228). Chl.p qui est une bactérie intracellulaire obligatoire, a été identifiée comme précédant systématiquement une infection clinique

à ORT chez les poulets de chair (114). Toutes ces interactions sont influencées par la virulence de l'agent pathogène, la dose et le contexte d'exposition. Les conséquences de l'ensemble de ces facteurs ne sont pas bien comprises pour la plupart des combinaisons d'agents. Par ailleurs, la circulation d'agents pathogènes tels que AvP, MG, MS, ILTV, ORT ou Chl.p peut conduire à du portage chronique asymptomatique en l'absence de stress environnementaux ou la circulation d'autres agents infectieux.

II. La gestion du risque sanitaire dans la filière avicole

II.1 Dans le secteur commercial

Dans le secteur commercial, la gestion du risque sanitaire se décline en deux ensembles de pratiques.

La première consiste en la mise en place de mesures de biosécurité pour limiter l'introduction d'agents pathogènes (et de bioconfinement pour en limiter la sortie). La biosécurité est définie comme l'ensemble des mesures prises pour réduire le risque d'introduction ou de propagation d'infections dans les populations animales (229). La protection d'un troupeau contre l'introduction, l'établissement et la propagation d'agents pathogènes repose sur des principes de base, quel que soit le nombre d'animaux présents sur les lieux. Ces principes de base comprennent, entre autres, la restriction de l'accès des visiteurs aux locaux, la limitation des contacts avec les oiseaux sauvages, ainsi que le lavage des mains, et la présence de vêtements et de chaussures spécifiques avant et après l'interaction avec les oiseaux afin de limiter le risque d'introduction, de multiplication et de propagation des agents pathogènes. Ces mesures doivent être pratiques, applicables et rentables et font partie intégrante du système de production. Une approche globale de la biosécurité comprend des composantes conceptuelles, structurelles et opérationnelles visant à prévenir la transmission d'agents infectieux à plusieurs échelles : celle de l'oiseau, de la ferme, d'un site, d'une filière, d'une région et d'un pays.

Le deuxième levier d'action consiste en la vaccination contre les agents pathogènes d'intérêt pour la filière ce qui permet, sans forcément limiter la circulation des virus et/ou bactéries, de limiter les signes cliniques. Ainsi, la vaccination ne peut se faire sans la mise en place de mesures de biosécurité en parallèle.

II.1.1 Biosécurité et bioconfinement

Afin de préserver la santé des volailles commerciales, les enjeux majeurs sont les enjeux de biosécurité et de bioconfinement. Le plus souvent, les sélectionneurs et multiplicateurs bénéficient d'environnements et d'une gestion de la biosécurité efficace limitant ainsi la possible introduction de ces agents pathogènes. En revanche, cela n'est pas toujours le cas, à l'étape de la production, où la biosécurité est plus difficile à mettre en place, notamment avec le développement de systèmes « alternatifs » plein air favorisant les contacts directs ou indirects avec avifaune sauvage, faune péri domestique et basses-cours. De plus, la biosécurité ne concerne pas strictement les mesures prises en élevage, mais concerne tous les maillons de la filière de production.

II.1.1.1 Les différents niveaux de biosécurité

- *La biosécurité conceptuelle*

Il s'agit du premier niveau de biosécurité et implique l'emplacement d'un élevage de volailles et ses caractéristiques propres. En effet, l'isolement physique d'un site de production est le moyen le plus efficace de limiter le risque de maladies et devrait être la principale considération de la mise en place d'un nouveau site. Cet isolement physique se fait également vis-à-vis de l'utilisation de véhicules et installations partagées, des visites, des oiseaux de proximité et des voies de transports avoisinantes.

- *La biosécurité structurelle*

Ce deuxième niveau comprend l'aménagement de la ferme, le zonage des différents périmètres, la mise en place de clôtures et la prise en compte des schémas de déplacement des divers véhicules et/ou équipements. Dans l'idéal, la biosécurité doit être prise en compte lors de la conception du site d'élevage.

- *Les procédures de biosécurité*

Le troisième niveau de biosécurité comprend la mise en œuvre et le contrôle des procédures de routine destinées à prévenir l'introduction (biosécurité) et la propagation (bioconfinement) d'une infection sur un site où au sein d'un groupement de producteurs comme l'illustre la Figure 11.

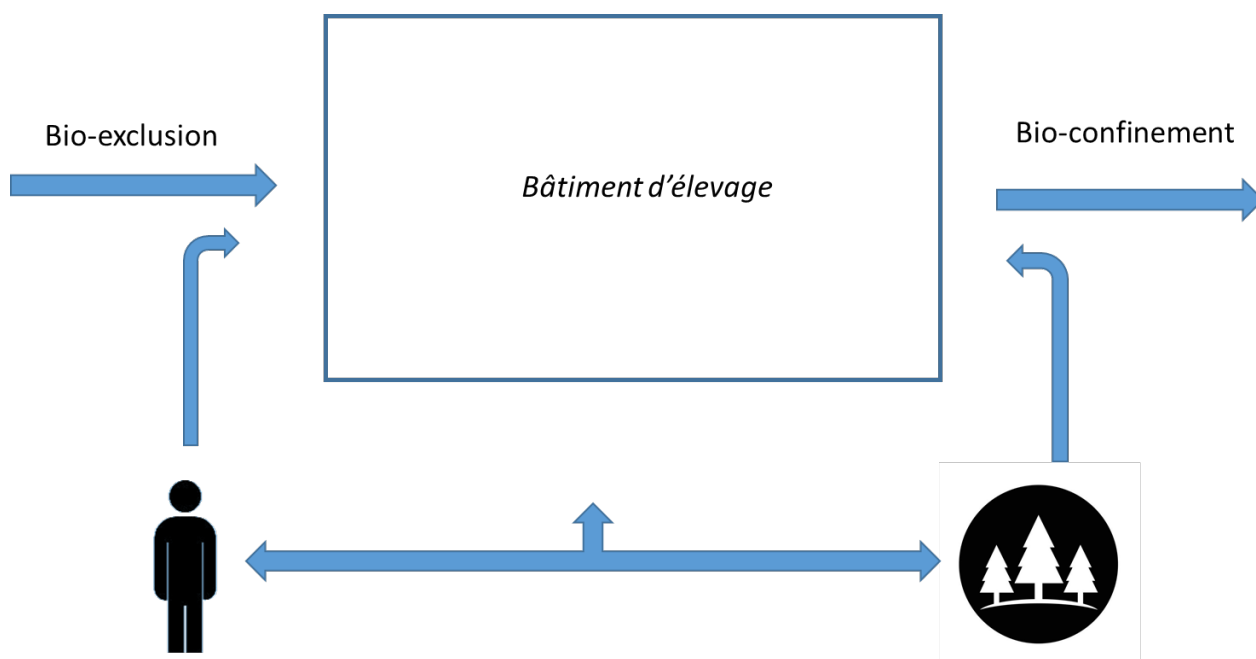


Figure 11 : Les principales notions faisant référence aux mesures de biosécurité à l'échelle de l'élevage

II.1.1.2 La biosécurité en élevage

L'application effective de la biosécurité implique la considération de deux zones de contrôle : la zone de contrôle primaire (couvoir et bâtiment d'élevage) et la zone de contrôle secondaire (le site d'élevage et son environnement incluant les différents flux et accès). Ainsi, la biosécurité en élevage implique un certain nombre de mesures à mettre en place de façon pratique par l'éleveur ayant une activité commerciale au sein de son bâtiment, mais aussi de façon plus globale sur son site de production. Les oiseaux d'un bâtiment forment une unité épidémiologique, car ils partagent le même environnement, des pratiques et une gestion commune leur conférant la même probabilité d'être exposés à un agent pathogène.

Un des principaux leviers d'actions pour limiter les transmissions est le fonctionnement des élevages commerciaux en tout-plein/tout-vide, permettant un nettoyage et une désinfection du bâtiment suivi d'un vide sanitaire avant la mise en place d'un nouveau lot, et est spécifique à la production commerciale. Dans un second temps, les actions pouvant être mises en place ont toutes pour objectif de diminuer la fréquence des contacts à risque pour l'élevage en maîtrisant les flux associés à la zone de contrôle secondaire.

En France, les mesures de biosécurité ont été renforcées suite à la publication de l'arrêté du 8 Février 2016 dans un contexte de circulation du VIA (104). De nombreuses fiches de biosécurité ont été éditées par l'ITAVI afin d'adapter la mise en place de ces mesures dans les différents contextes d'élevages ou d'implication dans la filière : volailles de chair, pondeuses, palmipèdes gras, volailles reproductrices, gibier, transporteurs d'aliments et de volailles, activité de négoce de volailles démarrées (230). En effet, depuis le 1^{er} juillet 2016, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 8 février 2016, chaque détenteur de volailles doit mettre en place un plan de biosécurité pour l'ensemble de son exploitation en réponse à une analyse de risque propre à chaque site tenant compte du contexte sanitaire de leur exploitation et de leur environnement. Le contenu minimum du plan de biosécurité figure en annexe de l'Arrêté du 8 février 2016 et comprend :

- la délimitation des zones d'activité dans l'exploitation ;
- les plans de gestion des flux ;
- l'identification d'une ou plusieurs unités de production, au sein desquelles s'applique le fonctionnement en bande unique (un même âge, une même origine, un même statut sanitaire). Pour certains types de production, l'arrêté prévoit des possibilités d'adaptation à la bande unique.

II.1.1.3 La biosécurité dans les basses-cours

Ces dernières années, un nombre croissant d'études ont publié des résultats d'enquêtes visant à identifier les mesures de biosécurité mises en œuvre par les propriétaires de petits élevages familiaux dans divers pays développés tels que les États-Unis (24,26,126), le Canada (37,231), le Royaume-Uni (8) et la Finlande (125).

Une enquête de biosécurité menée en 2016 en Alberta (États-Unis) auprès de 206 propriétaires a indiqué que 56 % des élevages familiaux étaient en contact avec des visiteurs et que 33 % des propriétaires avaient des contacts fréquents avec d'autres troupeaux de volailles (231). Une enquête menée en 2011 auprès de 18 élevages familiaux dans le Sud-ouest de la Colombie-Britannique a indiqué que 63 % des propriétaires autorisaient les visiteurs à avoir un contact direct avec leurs oiseaux et que 54 % des propriétaires avaient visité un établissement avicole commercial au cours de l'année précédente (37). Une période de quarantaine allant d'une semaine à trois semaines semble assez respectée aux États-Unis (26,27,40).

Les habitudes en matière de lavage des mains varient selon les études. Certaines ont signalé la présence de zones dédiées au lavage des mains dans 35 % des cas (125), tandis que la fréquence du lavage des mains variait de 10 à 75 % dans d'autres enquêtes (128). L'enquête ontarienne a indiqué que seulement 14 % des propriétaires se lavaient les mains avant d'entrer en contact avec le troupeau, mais n'a pas abordé la question du lavage des mains après le contact. En ce qui concerne le port spécifique de chaussures, dans toutes les enquêtes examinées, moins de 40 % des propriétaires d'élevages familiaux déclarent mettre en place cette pratique (24,26,126,231). Plusieurs propriétaires rapportent que ces mesures ne sont pas pratiques (185)

Ainsi, les études réalisées indiquent un grand nombre de contacts directs ou indirects entre petits élevages et propriétaires ainsi qu'une hétérogénéité voire une absence de mise en place de pratiques de biosécurité dans ce secteur.

II.1.2 La vaccination

II.1.2.1 La vaccination obligatoire

En France, les pigeons doivent être vaccinés contre le NDV avec un vaccin détenant une autorisation de mise sur le marché (AMM) spécifique aux pigeons. La vaccination concerne tous les propriétaires amateurs comme professionnels, quel que soit le devenir des oiseaux. De la même façon, toutes les volailles (poules, dinde, canard, oie, faisan, perdrix, cailles, ratites) participant à des concours ou des expositions doivent être vaccinées contre la maladie de Newcastle. L'encart ci-dessous résume les obligations sanitaires à respecter en vue d'une exposition nationale de volailles (232). Dans le cadre d'expositions internationales, les contraintes réglementaires supplémentaires dépendent de la réglementation sanitaire et des exigences du pays d'accueil.

Résumé des contraintes sanitaires pour une exposition nationale* de volailles

Pour les organisateurs de l'exposition :

- Autorisation préfectorale (par délégation DDCSPP) : demande à faire au moins 20 jours avant,
- Contrôle vétérinaire : un vétérinaire (payé par les organisateurs) est chargé de contrôler les animaux et les documents sanitaires,
- Attestation de provenance pour les éleveurs des autres départements : l'organisateur doit contacter les DDCSPP des autres départements en leur fournissant la liste des exposants de ces départements,
- Tenue d'un registre des participants et des cessions (vente) avec identification des animaux et précision des coordonnées postales, voire téléphoniques, des acheteurs.

Pour les exposants :

- Déclaration sur l'honneur de participation (ou de non-participation) à une exposition internationale dans les 30 jours précédents la manifestation.
- En cas de non-participation à une exposition internationale déclaration sur l'honneur de vaccination contre la maladie de Newcastle, avec indication du nom et de la signature d'un témoin, et ordonnance du vétérinaire (attestation d'achat de vaccin)

* Pour une exposition internationale, il y a des contraintes supplémentaires.

II.1.2.2 Les contraintes liées à la vaccination en élevage familial

Aujourd'hui, des élevages commerciaux se sont spécialisés dans la production de poules de race et d'ornement prêtes à pondre pour satisfaire à la demande actuelle. On peut citer l'exemple du groupe Michel qui fonctionne en réseau de petites et moyennes entreprises (PME) indépendantes et privées dans le domaine de la nutrition et de l'élevage de rente. Ce réseau s'est organisé afin de proposer la vente de poules de compagnie vaccinées dans les jardinerie-animaleries (Figure 12). La production à grande échelle en comparaison aux éleveurs amateurs ou traditionnels détenant des cheptels de petite taille leur permet de vacciner leurs volailles de la même façon que dans le compartiment commercial. Il n'en est pas de même pour les basses-cours et poulaillers familiaux qui ne bénéficient ni de conditionnements ni de programmes de vaccination adaptés à leur demande.

	<i>A ma naissance</i>	<i>Pendant ma croissance</i>		<i>A maturité</i>
Maladie de Marek	à ma naissance			
Bronchite Infectieuse	à ma naissance	à 35 jours	à 77 jours	à 105 jours
Coccidiose	à ma naissance			
Maladie de Newcastle	à ma naissance	à 35 jours		à 105 jours
Laryngo Trachéite Infectieuse		à 42 jours		
Encéphalomyélite			à 91 jours	
Maladie des œufs mous				à 105 jours
Variole				à 105 jours
Vermifuge			à 63 jours	à 105 jours
Salmonelle				à 105 jours

Figure 12 : Exemple de protocole de vaccination d'une poule Magalli© vendue dans les jardinerie-animaleries Botanic©

III. Interface élevages commerciaux – élevages familiaux

III.1 Définition de l'interface élevages commerciaux – élevages familiaux

L'interface entre les élevages commerciaux et les élevages non commerciaux (basses-cours familiales et éleveurs de loisir) est définie par l'ensemble des contacts, directs ou indirects, dans l'espace et dans le temps entre les divers acteurs de ces deux secteurs. En effet, les secteurs commerciaux et non commerciaux sont soumis à des flux importants de personnes, des contacts directs ou indirects avec des animaux domestiques ou sauvages ainsi qu'à un ensemble de vecteurs passifs pouvant circuler de l'un à l'autre. De plus, le développement des modèles « alternatifs » de production au sein du secteur commercial augmente le risque d'exposition des volailles d'élevages à de possibles hôtes relais et de maintenance. Toutefois, peu d'études se sont penchées sur les connexions existantes entre élevages commerciaux et élevages non commerciaux ; il a également été souligné la difficulté de généraliser les conclusions compte tenu de la variabilité des contextes (24,41). La considération du risque à l'interface entre élevages commerciaux et élevages non commerciaux peut se faire dans les deux sens avec 1) l'étude du risque représenté par les élevages commerciaux pour les élevages familiaux, et 2) sa réciproque, le risque représenté par les élevages familiaux pour les élevages commerciaux.

Dans les deux cas, la mise en place des mesures de biosécurité consiste à limiter les contacts entre les différents hôtes quand cela est possible ; s'il y a contact, à prendre les mesures permettant de limiter le risque associé à l'interaction avec l'hôte (233,234). Malgré l'importance des mesures de biosécurité et des modalités de contact dans l'efficacité de la transmission des agents infectieux, la littérature ne fournit que peu d'information sur le statut de la biosécurité des élevages de volailles (235,236). Plusieurs études (233,237–244) ont utilisé des analyses multivariées pour classer les exploitations d'élevage en fonction de variables sociales et structurelles, mais rares sont les études ayant classé les différents systèmes de production en fonction de leurs pratiques de biosécurité (35,245–247). Une étude réalisée en France et ciblant un type de production particulier (la production de canards en gavage dans le Sud-Ouest) distingue différents clusters selon les pratiques de biosécurité (248).

Ainsi, ce sont les mesures de biosécurité et les différents mouvements qui caractérisent l'interface entre élevages familiaux et commerciaux. La considération de l'ensemble des élevages (commerciaux comme non commerciaux) dans les analyses de réseaux spatio-temporelles permet d'identifier les enjeux de biosécurité majeurs de cette interface (35).

III.2 Flux identifiés et évaluation du risque

Peu d'études ont considéré la filière avicole commerciale et non commerciale dans son ensemble. Toutefois les interactions entre ces deux secteurs ont été étudiées en Suisse et en Belgique (35,44). Ces études montrent en premier lieu l'importance du nombre d'élevages familiaux à proximité des élevages commerciaux en milieu rural avec 8 à 22 élevages par kilomètre carré dans les zones avicoles les plus denses (35). Les résultats sont identiques en Suisse avec des zones à forte densité avicole de plus de huit élevages par kilomètre carré (44). Cela montre l'importance de la connaissance de l'environnement de proximité.

En Belgique, comme l'indique la Figure 13 ci-dessous, une étude de flux a été réalisée entre les différents secteurs avicoles et indique les différentes interactions ayant été identifiées entre les deux secteurs. En plus des différentes interactions figurant sur le schéma, des mouvements supplémentaires ont été décrits comme les visites de fermes par les vétérinaires, les fournisseurs d'aliment et de litière, les vaccinateurs, les professionnels de la dératisation, les camions enlevant les fumiers, les équipes de nettoyage et désinfection, les camions d'équarrissage, les agences de contrôle et certification, les éventuels réparateurs et conseillers. Cela engendre un nombre important de flux supplémentaires. Les résultats ont également montré l'importance des flux de personnes, matériel et animaux en particulier dans le compartiment commercial et pour les éleveurs amateurs participants à des salons avicoles. Il a été montré qu'en moyenne, dans les élevages familiaux ou commerciaux, il y avait trois personnes sur site par jour (sur un jour ouvré). En ce qui concerne les flux d'animaux à l'échelle familiale, l'achat de volailles (61%) a été plus fréquent que la vente (25%) et l'exposition d'oiseaux dans les expositions (3%); avec un chevauchement spatio-temporel de tous les mouvements de volailles dans les zones à forte densité avicole (44).

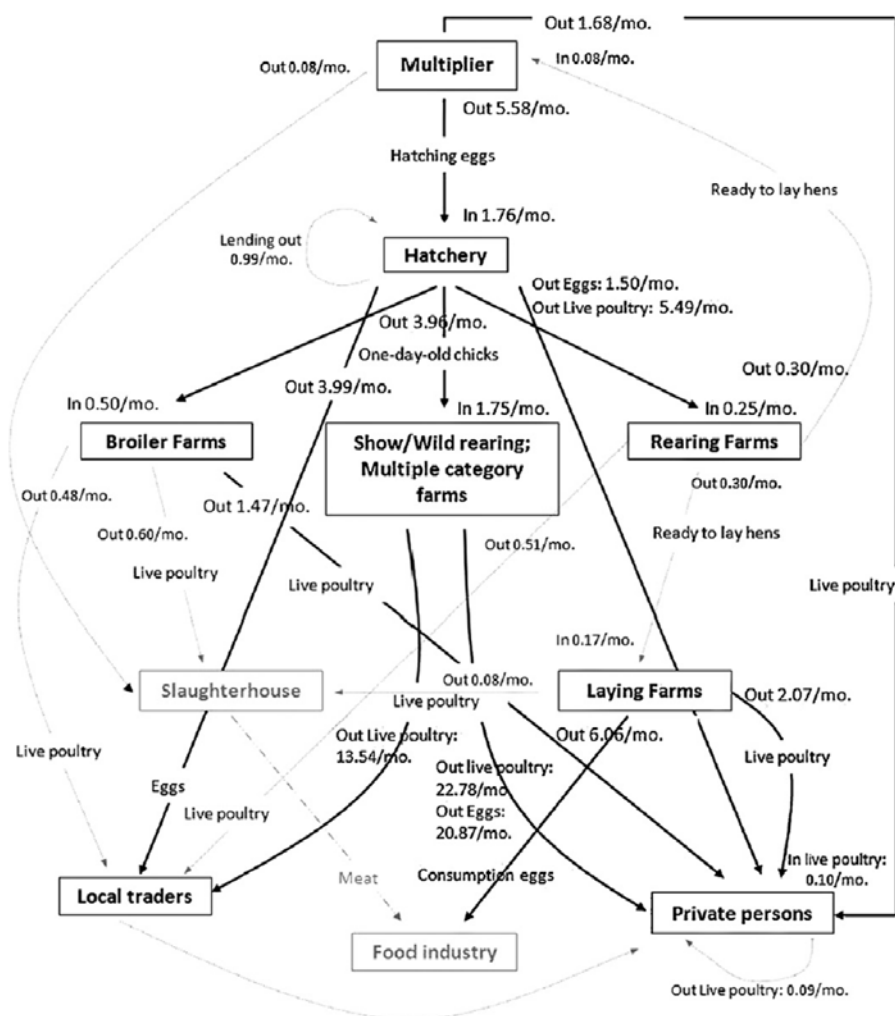


Figure 13 : Structures de contact entre les exploitations avicoles professionnelles et les acteurs de la filière.

Les acteurs sont les couvoirs, les commerçants locaux et les éleveurs de volailles amateurs, découlant du commerce de volailles vivantes ou d'œufs à couver. Pour chaque contact, la direction du mouvement et la fréquence mensuelle moyenne sont indiquées. D'après Steenwinkel et al., enquêtes 2008 en Belgique.

L'intensité des différents contacts entre élevages commerciaux et non-commerciaux a été étudiée en Suisse (44). Les élevages commerciaux et non commerciaux ont montré des connexions directes entre élevages par des mouvements d'oiseaux. La majorité des contacts se fait dans un sens : des élevages commerciaux aux élevages non commerciaux (45%) et rarement dans le sens inverse (1%), correspondant à des ventes de poules prêtes à pondre ou poulets démarrés introduits dans des basses-cours (37,44). Les contacts humains ayant eu lieu du secteur familial au secteur non commercial concernent les éleveurs commerciaux ayant également une basse-cour personnelle. D'autres connexions ont pu être identifiées comme les accès aux mêmes couvoirs, aux mêmes expositions avicoles et aux mêmes points de collecte pour l'équarrissage, comme l'indique le Tableau 10 ci-dessous (44).

Tableau 10 : Prévalence des relations de contact étudiées au sein des élevages avicoles commerciaux et non commerciaux et extrapolation des données à l'ensemble du territoire Suisse (44)

	Commercial	Non-commercial	All	Extrapolation to CH*** poultry sector
Poultry show (visiting only)	n = 518 7%	n = 754 9%	n = 1,272 9%	n = 1,272 8%
Co-working	n = 534 10%	n = 782 1%	n = 1,316 4%	n = 1,316 1%
Dead stock collection points	n = 533 92%	n = 782 63%	n = 1,315 75%	n = 1,315 62%
Company integration	n = 534 73%	n = 783 0.3%	n = 1,317 30%	n = 1,317 3%
Fraction of farms having one or more of above incidents	n = 517 93%	n = 752 67%	n = 1,269 78%	n = 1,269 65%
Distance				
Poultry show (visiting only)	n = 22	n = 51	n = 73	n = 73
km (m* [IQR**])	27 [9-37]	8 [5-27]	12 [6-34]	8 [6-34]
Co-working	n = 44	n = 5	n = 49	n = 49
km (m [IQR])	2 [1-4]	3 [2-3]	2 [1-4]	2 [2-4]

*m = median; **IQR = inter-quartile range; ***CH = Switzerland

Ainsi, l'interface entre élevages familiaux et élevages commerciaux ne se résume pas à la proximité géographique de ces élevages, mais également aux connexions directes et/ou indirectes pouvant exister entre les deux.

OBJECTIFS DE LA THÈSE

Le projet de recherche présenté ici a été établi dans le cadre de la chaire partenariale de biosécurité aviaire créée à l'initiative du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA), au sein de l'Unité Mixte de recherche INRAE-ENVIT IHAP (Interactions hôtes agents pathogènes). La création, en 2017, de la chaire de biosécurité aviaire à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVIT) a fait suite aux épizooties d'IA notamment dues au virus H5N8 HP en France, et majoritairement dans le Sud-Ouest, et ayant conduit à des pertes économiques majeures : un abattage de 2,7 millions de volailles, un coût d'éradication de 40 millions d'euros et un effondrement de la production de foie gras de 30%. La Figure 14 ci-dessous présente les différents axes étudiés dans le cadre de la mise en place de ce partenariat. Ses objectifs sont l'acquisition de connaissances en vue de sa diffusion, l'aide à la décision publique ainsi que l'appui scientifique aux besoins de formation sur les thématiques étudiées. L'axe 3 se divise en deux parties : d'une part l'étude du secteur de l'avifaune sauvage et, d'une autre part, celui des élevages non commerciaux. L'objectif était d'établir le rôle de ces secteurs dans l'épidémiologie des virus IAHP et d'évaluer les risques qu'ils représentent.

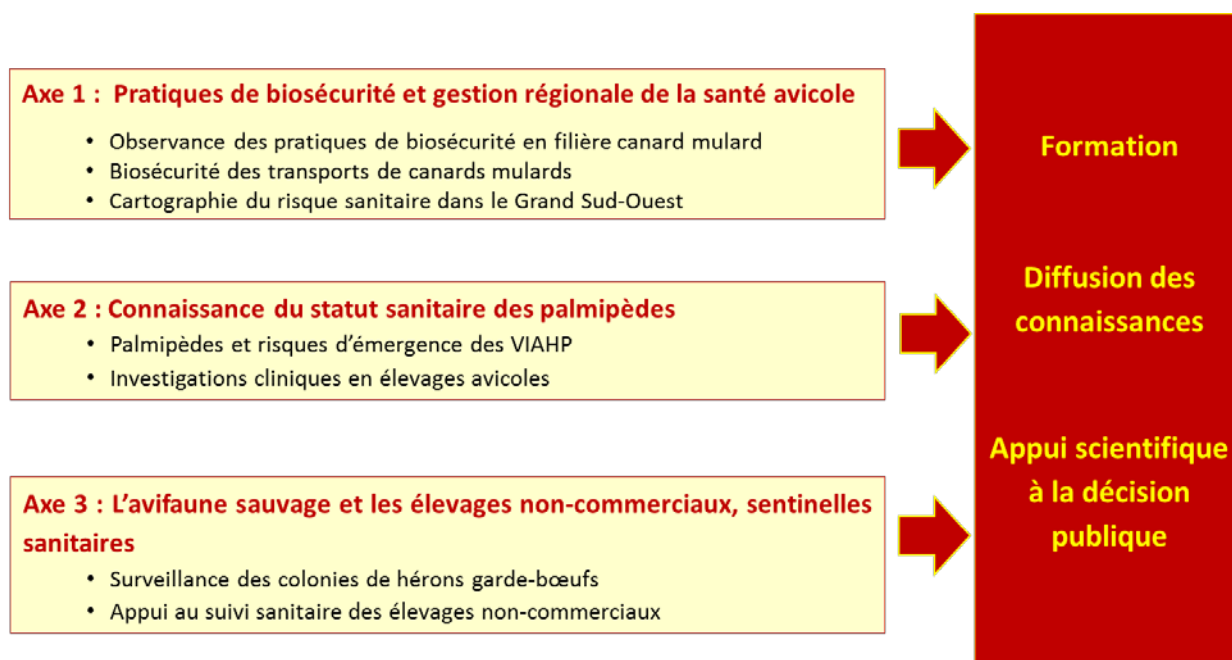


Figure 14 : Présentations des différents axes d'études réalisés dans le cadre de la chaire partenariale de biosécurité aviaire

Un système d'animaux sentinelles est défini comme étant « un dispositif destiné à collecter, systématiquement et régulièrement, des données sur des animaux exposés à des risques environnementaux ; ces données sont ensuite analysées pour identifier les dangers potentiels pour la santé de l'homme et de l'environnement » (selon le National Research Council, 1991)(249). L'avifaune sauvage comme l'avifaune captive domestique sont deux secteurs peu surveillés, bien que possiblement « exposés » aux élevages commerciaux par contact direct ou indirect. C'est dans ce contexte que se pose la question de l'interface

entre les différents secteurs, impliquant l'étude de leur statut sanitaire et de leurs interactions comme l'indique la Figure 15 ci-dessous.

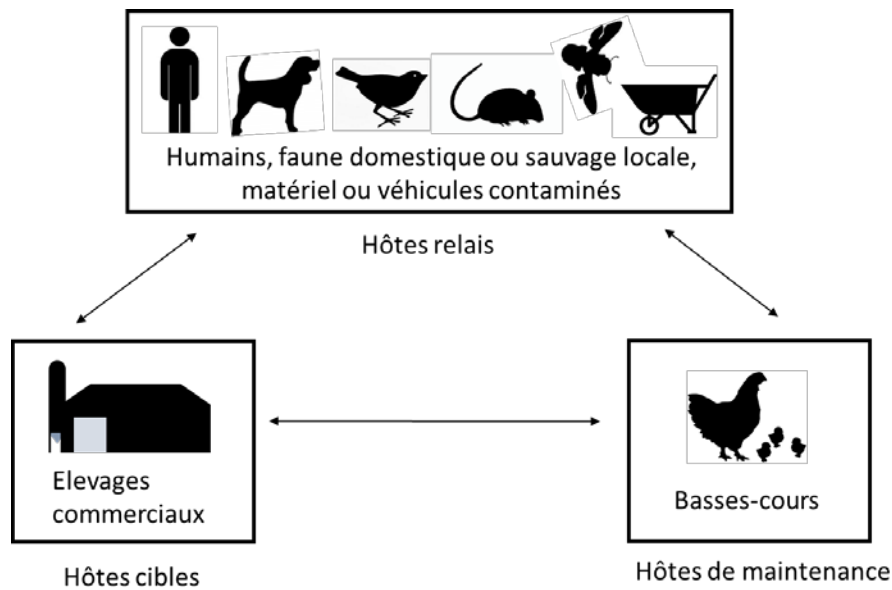


Figure 15 : Représentation schématique de la circulation d'agents pathogènes au sein d'une communauté d'hôtes. Les flèches représentent les flux d'agents pathogènes.

Ces travaux de thèse se concentrent sur l'étude des élevages non commerciaux (ou familiaux) incluant les basses-cours et les éleveurs de loisir ainsi que sur leurs interfaces avec les élevages avicoles commerciaux. La question principale a été de comprendre le rôle de ces élevages familiaux dans l'épidémiologie des agents pathogènes d'intérêt pour la filière avicole française.

Les objectifs de la thèse se déclinent en trois parties : 1) étudier les caractéristiques des basses-cours et leurs connections possibles avec le secteur commercial sur le territoire français, 2) étudier le statut sanitaire des basses-cours et poulaillers familiaux afin d'identifier leur possible rôle d'hôte de maintenance 3) étudier la transmission de marqueurs dans différents contextes : enzootique et épizootique.

1) Afin d'étudier le statut sanitaire des élevages familiaux, il a d'abord été nécessaire de mieux comprendre leurs caractéristiques. Pour cela, une approche « filière » a été considérée afin d'identifier la dynamique entre les différents acteurs ainsi que les différentes populations qui la constituent.

2) Le portage d'agents pathogènes identifiés comme marqueurs a été étudié dans le secteur familial afin d'évaluer leur possible rôle de maintenance. Des agents pathogènes respiratoires ont été choisis comme marqueurs d'infection compte tenu de leur forte prévalence dans le secteur familial et de leurs potentialités de transmission. Certains d'entre eux peuvent être portés de façon chronique et asymptomatique dans les voies respiratoires hautes, facilitant leur transmission soit directement par des aérosols soit de façon indirecte par du matériel contaminé ou autres vecteurs passifs. Ces caractéristiques ont été jugées pertinentes pour

définir ces agents pathogènes respiratoires comme des marqueurs d'infections pour une étude de leur transmission à l'interface élevages avicoles commerciaux-familiaux.

3) Une fois ceux-ci identifiés, la transmission des marqueurs a été évaluée dans un contexte enzootique. Connaissant une grande diversité de productions et de contextes, il a été choisi d'évaluer le risque de transmission d'agents pathogènes d'un compartiment à l'autre dans deux contextes différents pour lesquels les marqueurs identifiés dans la filière familiale ont été comparés au secteur commercial. Les deux contextes ont été :

- i) le suivi de poules commerciales dans des basses-cours d'accueil
- ii) les basses-cours localisées sur le site d'élevages commerciaux

Le rôle des élevages familiaux a également été étudié en contexte épizootique avec le VIA considéré comme marqueur unique lors de l'épisode 2016-2017 de circulation du virus H5N8 HP dans le Sud-Ouest dans le secteur commercial. Ce contexte a permis l'étude du rôle épidémiologique des basses-cours à proximité des foyers (dans un rayon d'un km).

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

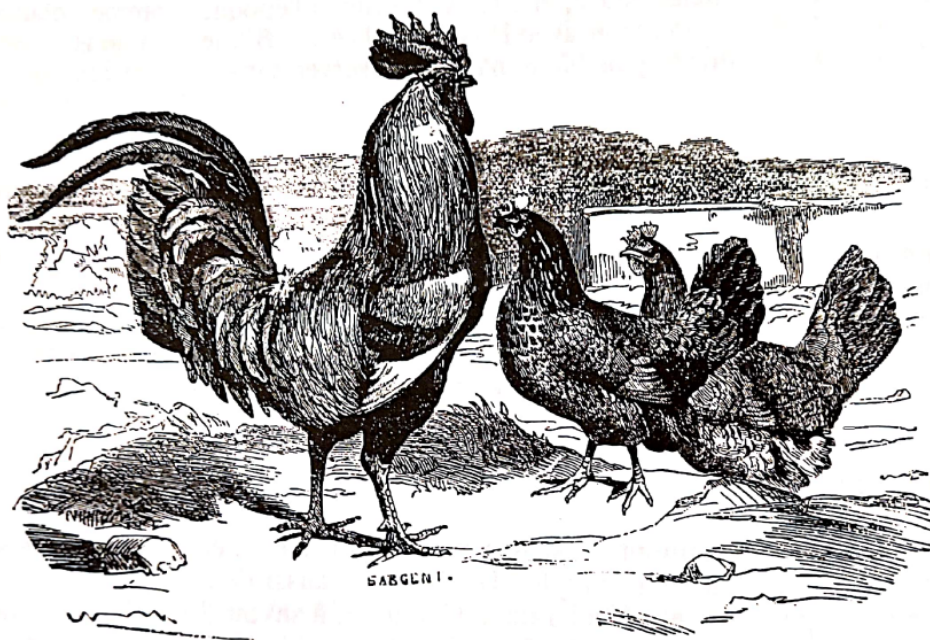


Illustration issue de l'ouvrage Les Oiseaux de basse-cour, 1895 (Rémy SAINT-LOUP)

Partie 1 : Pratiques associées aux poulaillers familiaux

Introduction

La grande diversité des systèmes avicoles français module le risque d'introduction et de propagation des agents pathogènes. Comme le décrit la FAO, la « production traditionnelle » et la « production familiale » sont des secteurs importants de la filière en France. La France abrite à ce jour une grande variété de races de volailles domestiques majoritairement présentes dans le cadre d'une production familiale. La FAO distingue deux sous-secteurs de la production familiale : les basses-cours plutôt identifiées en milieu rural, et les éleveurs amateurs de volailles participant à des foires ou expositions (6). Ces dernières années en France, tout comme dans d'autres pays développés tels que les États-Unis, le Canada, le Royaume-Uni ou la Finlande, les volailles familiales ont vu leur nombre s'accroître chez les particuliers, y compris en milieu urbain (8,40,185,231). En effet, actuellement, la grande majorité de la population vit en zone urbaine et des projets d'alimentation durable se développent afin de promouvoir le bien-être, la santé et l'autonomie des populations urbaines (59).

Les raisons majeures rapportées aujourd'hui aux États-Unis pour expliquer cet engouement pour la mise en place de petits poulaillers familiaux sont triples. Premièrement, il s'agit de la nécessité de produire des produits sains et locaux en respectant le bien-être animal. Ce nouvel objectif naît d'une perte de confiance dans le système de production industrielle qui est allé trop loin dans ces objectifs de productions, et d'une volonté de se réapproprier la production de denrées alimentaires de façon plus autonome afin d'assurer la sécurité alimentaire y compris dans les pays développés. Les deux raisons suivantes sont d'une part le désir d'éduquer les enfants à la thématique de l'alimentation, et d'autre part le fait que les poules peuvent jouer un rôle d'animal de compagnie autant que les chiens et les chats et qu'elles bénéficient d'avantages supplémentaires : elles pondent des œufs et peuvent limiter la quantité de déchets produits par un foyer grâce à leur activité de recyclage de restes de repas. C'est principalement pour ces raisons, qu'au cours de ces dix dernières années, de nombreuses initiatives locales ont fleuri partout en France, dans les jardins privés tout comme dans les espaces publics, souvent encouragés par les autorités locales (109).

Si les motivations pour posséder des volailles sont nombreuses comme le souligne la tendance actuelle, il est difficile d'ignorer le risque que peut représenter leur détention dans la transmission d'agents pathogènes potentiellement zoonotiques ou jugés à risque pour la filière commerciale. L'actualité récente en est l'illustration parfaite. En novembre 2020, les deux premiers foyers d'IAHP de sous-type H5N8 détectés sur le territoire français (en Corse (2B) et dans les Yvelines (78)) l'ont été dans des animaleries ayant une activité commerciale d'animaux vivants pour des particuliers. Les oiseaux contaminés provenaient d'un même élevage fournisseur. Ce constat souligne l'importance de prendre en compte l'ensemble des acteurs de la filière avicole sur le territoire, commerciale comme non-commerciale ainsi que les interactions associées. En

effet, bien que les systèmes de production professionnels intensifs et les petits sites de volailles de loisir possèdent des caractéristiques très différentes, il n'en reste pas moins qu'ils coexistent dans un même environnement et abritent des animaux sensibles aux mêmes agents pathogènes.

La compréhension des modalités potentielles d'introduction par l'avifaune sauvage dans les élevages commerciaux ou familiaux ainsi que les différents moyens de diffusion du VIA via les mouvements d'oiseaux entre fermes, dans les manifestations avicoles, par les mouvements humains ou de matériels est indispensable à la gestion efficace des épizooties et à la mise en place de plans de surveillance adaptés. L'intérêt de la mise en place des mesures de biosécurité auprès des élevages et encadrant les flux de type industriel est bien connu, mais leur considération pour les petits élevages est encore aujourd'hui trop négligée. Ainsi la classification des sites avicoles, basée sur le risque d'introduction et de propagation d'agents infectieux est une étape importante dans le développement de stratégies de surveillance de recommandations sanitaires basées sur le risque pour l'éleveur (35,234).

L'article présenté dans le chapitre 1 a ainsi pour objectif d'étudier la diversité des élevages familiaux français en ciblant les caractéristiques intrinsèques aux élevages, les motifs de détention des propriétaires, l'évaluation de leur connaissance des maladies et de leurs pratiques sanitaires ainsi que les mouvements d'oiseaux et de personnes associés à l'élevage.

Article 1

A diversity of profiles and practices in backyard poultry flocks in France.

Main title: Backyard poultry flocks in France: a diversity of owners and biosecurity practices.

Authors : Marie Souvestre¹, Mattias Delpont¹, Claire Guinat¹, Camille Dumat², Laureen Guichard¹, Lorenzo Manis¹, Hugues Duret¹, Jean-Luc Guérin¹ and Guillaume Le Loc'h^{1*}

Authors affiliation :

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

² Université de Toulouse, ENSAT, Laboratoire d'Ecologie fonctionnelle et environnement, 31326 Castanet-Tolosan, France

*Address for correspondence: Guillaume Le Loc'h, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, INRAE, UMR IHAP, 23, chemin des capelles 31076 Toulouse Cedex 3, France

E-mail: guillaume.leloch@envt.fr

Abstract (<400) (353 mots)

In recent years, the number of backyard poultry flocks has been on the rise in France. Characterizing flocks and understanding owners' motivations and practices is a mandatory step for health risk assessment in order to improve poultry management in the familial sector. A survey of backyard poultry owners was conducted on the national French territory to gather information about owner motivations for owning poultry, flock characteristics, breeding and biosecurity practices. One thousand one hundred and sixty owners completed the survey. Major motivations for owning poultry flocks were egg consumption (93.3%), recycling issues (72.4%) and having pet animals (53.2%). Most owners responded that they had already heard about avian influenza (96.7%) but were less aware about other diseases such as Newcastle Disease (41.6%), salmonellosis (79.1%), or campylobacteriosis (18.6%). Owners had mainly only egg-layers (78.4%) and the median size flock was five egg-layers. Owners were used to giving eggs to their relatives, occasionally or regularly in 86.6% of the cases. Contacts with other family poultry owners were frequent (68.9%) and biosecurity practices were poorly implemented: 50% of owners did not wash their hands systematically after visiting the flock and more than 60% of owners did not wear specific shoes. Five family poultry flock profiles were identified based on their characteristics,

owners' practices and motivation, illustrating that backyard poultry constitutes a heterogeneous group. Profiles were defined as follows: 1) *urban poultry*, 2) *traditional poultry*, 3) *student poultry*, 4) *pet poultry* and 5) *hobby poultry*. *Urban poultry* consisted of recent (< 2 years old) small (< 3 birds) flocks of layers and *traditional poultry* of older medium-flocks belonging to retired and aged people. These two profiles were characterized by limited direct or indirect contacts between flock and owners. *Student poultry* consisted of younger owners (<30 years old) but having flocks for more than 5 years old. *Pet poultry* consisted of recent medium flocks of layers located in rural or urban living-environments. *Hobby poultry* consisted of dedicated owners breeding and selling poultry and participating to exhibitions and poultry shows. *Pet* and *hobby poultry* profiles were characterized by a better knowledge on diseases and biosecurity practices, more bird movements and reported more frequent clinical signs. The observation of different profiles can be useful to provide targeted veterinary and public health education for the prevention of disease transmission in backyard poultry flocks in France.

Key words: backyard flocks, epidemiology, poultry health, biosecurity practices, clustering

Introduction

France is known to have a very diversified poultry production system. As described by the FAO, 'traditional poultry farming' and 'family poultry' (FAO, 2010) are sectors playing an important role within the French poultry production. Indeed, French backyard poultry production maintained through decades biodiversity, genetic resources, quality of the product, and local production thus leading to a great variety of productions and domestic poultry breeds – 320, out of which around 50 are local breeds (FFV, 2020; SCAF, 2020).

In recent years, the number of backyard poultry flocks has been on the rise in France, especially in urban and suburban areas. This increase was also described in the Northern American context. The main identified reasons for this were the need to produce healthy and local product, the desire to educate children about food income and to have pet birds (Bailey and Larson, 2013; Blecha and Leitner, 2014; Mainali and Houston, 2016; Nicholson et al., 2020; Pires et al., 2019; Pollock et al., 2012; Smith et al., 2012). Nowadays in France, the vast majority of the population lives in urban areas and sustainable food

projects are developing in order to promote the well-being and health of the urban population. During the last 10 years in France, non-commercial poultry houses have appeared in private gardens or in public spaces, often encouraged by local authorities, for example in order to reduce municipal waste (Dumat et al., 2018).

Even if the role of backyard poultry in the dynamic of Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) is likely to be moderate in most cases (Souvestre et al., 2019), two outbreaks of HPAI subtype H5N8 were detected in November 2020 in poultry pet shops (in Corsica (2B) and in the Yvelines (78)) (MAA, 2020a, 2020b). Both shops shared the same bird supplier (Amat et al., 2020). This suggests that under certain circumstances, backyard poultry could play a role in the spread of avian influenza viruses (Fiebig et al., 2009; Steenwinkel et al., 2011). Moreover, the lack of experience or knowledge regarding poultry health and breeding practices among owners may be an additional risk of zoonotic diseases, such as salmonellosis and campylobacteriosis (Anderson et al., 2012, 2016; Behraves et al., 2014).

Understanding backyard flocks' characteristics, movement networks and disease management practices is essential to identify potential disease transmission pathways, as well as to guide the development of focused educational programs adapted to different target populations. A survey of backyard poultry owners was carried out on the French national territory to gather information about flock characteristics (e.g. flock size, species, location), management and biosecurity practices (e.g. bird movements, flock health) as well as owners' features (including motivation to own poultry). Clustering analyses explored the diversity of backyard poultry flocks according to these data by identifying different profiles. This study was a first step towards a better understanding of the French backyard flock population.

Material and methods

Study design

A survey was conducted in France among backyard poultry owners. Eligibility requirements for participation were to be at least 16 years old, to live in Metropolitan France, and to keep between 1 and 250 chickens (*Gallus gallus*) at the time of the survey. Convenience sampling was used to recruit

backyard chicken holders from June 2018 to September 2020 through the French territory by the diffusion of an on-line survey. A focus was made on urban and suburban geographical sectors of Toulouse (Haute-Garonne, South-West of France) due to closer collaboration between investigators and actors from the poultry backyard sector such as pet shops and veterinarians in addition to the available on-line survey.

Recruitment of participants

The on-line survey was advertised through different means: (1) posts on social networks through Facebook® backyard poultry groups or dedicated poultry websites, (2) by sending e-mails to all French veterinary students (Toulouse, Lyon, Paris and Nantes National Veterinary Schools), asking them to participate to the survey themselves and to advertise in turn and (3) by providing flyers, posters and printed questionnaires to pet and animal food shops, veterinary practices and poultry exhibitions ((3) exclusively in a 10-kilometers radius from the city center of Toulouse, Haute Garonne, France).

Questionnaire development

The questionnaire was designed to obtain information about backyard poultry flocks. It comprised 30 questions divided into 5 sections: 1) owners' characteristics, demographics, category and knowledge about diseases (n=6), 2) flocks' characteristics (n=4), 3) poultry husbandry and bird movement (n=9), 4) biosecurity practices (n=7) and 5) health of the flocks (n=4). Open and closed questions were used. For some closed questions, respondents could select several answers. When precision was needed, questions incorporated an 'other' option offering to the respondent the opportunity to write an answer. The questionnaire was tested by six owners not included in the analysis, and did not exceed ten minutes. The online questionnaire was created using Sphinx iQ 2 © software and is available at the link <http://bit.ly/poulepec>. The questionnaire is available in English upon request to the corresponding author.

Data analysis

The questionnaire items were coded into 62 variables and were used to perform the statistical analyses. Most of the questions were binary (yes/no) or multiple choices. Some variables (e.g. *self-estimated*

knowledge about *Campylobacter* and *Newcastle* disease) were considered as proxy for estimating technical or public knowledge of owners. The variable *urban* was created according to the mean population density of every respondents' commune (the information was obtained by registering the INSEE code for each flocks (INSEE, 2021). Associations between categorical variables were determined using a non-parametric Fisher test, as variables did not follow a normal distribution. 49 variables were introduced in the MCA after combination of distinct variables into new ones, absence of variability between respondents and/or lack of relevance. Backyard poultry owner profiles were computed, using a multiple correspondence analysis (MCA) followed by a hierarchical cluster analysis (HCA) (Costard S., 2009; Delpont et al., 2018; Martínez-García et al., 2015). The MCA is a method which allows a reduction in the number of variables by creating synthetic variables (also known as dimensions or factors) which maximise the dataset variance in a lower dimensional Euclidian space. The synthetic variables are then used to compute the HCA. For MCA analysis, out of 49 variables, 34 variables were considered as active variables and 14 were considered as supplementary, such as *clinical signs* and *treatments*, for interpretation purposes. The HCA was performed based on the minimum number of the factors of the MCA accounting for 50% of the data variance. The HCA used Ward's method and was consolidated with the K-means method.

The over-representation of variable outcomes in each profile generated by the HCA was assessed with a hypergeometrical test (Husson et al., 2017). P-values indicate the strength of the category related to the profile's population: * when the p-value is < 0.05, ** when the p-value is < 0.01, *** when the p-value is < 0.001 (Table 2.1 to 2.5). All statistical analyses were computed on R 4.0.2 and RStudio software Version 1.3.1093 (R Core Team, 2020; RStudio Team, 2020). The MCA and the HCA analysis and graphical outputs were computed with "*FactoMineR*" (Lê et al., 2008).

Results

Descriptive analysis

Flocks and owners' characteristics

A total of 1258 owners of backyard poultry returned the survey (37 posted paper questionnaires, 23 paper questionnaires retrieved from veterinarians and 1198 online questionnaires). Only fully completed questionnaires were kept for analysis (n=1,160). Respondents were located in 95 French departments, which covers the entire French territory (Figure 1). South-West of France was the most represented with (n = 216/1160, 18.6%) participants in the department of Haute-Garonne (South West, France). Flocks were equally distributed between rural (n = 402/1160, 34.7 %), urban (n = 406/1160, 35.0%) and sub-urban areas (n = 352/1160, 30.3%) (Table 1.1).

The median number of birds per flock was 5 [Q1 = 3, Q3 = 9.5] (Table 1.2). Flock size was higher in rural areas compared to urban ones (p-value<0.001) (Figure 2.A). A majority of flocks kept only chickens (n = 909/1160, 78.4 %) (Figure 2.B). Owners reported having their flocks for less than 5 years in a majority of cases (n = 635/1160, 62.9%) and younger flocks (<2 years old) were more present in urban areas compared to rural ones (p-value<0.001). The most highly represented owners were between 30 and 49 years old (n = 564/1160, 48.6%) and were senior managers from public or private institutions and employees (respectively n = 336/1160, 29.0% and n = 281/1160, 24.2 %) (Table 1.1). The two main motivations for owning poultry birds were local egg consumption and recycling kitchen leftovers, and only 6.3% of owners claimed to have other motivations for owning poultry (Figure 3.A).

Flock husbandry and moving birds

A majority of owners claimed to visit their flock twice a day or more (n = 928/1160, 80.0%) and to clean the coop weekly or monthly (n = 882/1160, 76.0%). The most frequently used sources of alimentation were kitchen leftovers (n = 880/1160, 75.9%) and a complete mix cereals bought from pet shops (n = 547/1160, 47.2%) (Table 1.3). In rural area, owners were more likely to give a homemade mix food (p-value<0.001).

Concerning bird introductions, more than half of the flocks had introduced birds in the last year (n = 729/1160, 62.8%). The frequency of bird introductions was more important in rural areas (p-value<0.001) and in bigger flocks (p-value<0.01). Rural owners were more in contact with other owners (p-value<0.001). The main source of introduction was represented by ready-to-lay hens (n = 744/1160,

64.1%) and came directly from professionals or private breeders. The origin of introduced birds varied depending on the age of the owner. Younger owners (< 30 years old) were more likely to buy birds directly to professionals or private owners whereas elder people bought their birds from live-bird markets or pet shops (p-value<0.01). Age of birds at introduction differed between owners. Introducing chicks and fertile eggs was more frequent in rural areas for hobby breeders while ready-to-lay hens were mainly introduced in urban areas for foodwaste recycling motivation (p-value<0.05). Concerning mortality management, dead birds were either buried in the garden (n = 552/1160, 47.6%), disposed in the municipal waste (n = 239/1160, 20.6%), burned (n=79/1160, 6.8%), given to wild animals (n=76/1160, 6.6%) or brought to the veterinarian (n=67/1160, 5.8%). Some owners did not meet this specific case yet (n=70/1160, 6.0%) and a minority declared eating them before they died (n=14/1160, 1.2%) (Table 1.3).

Public and poultry health

Figure 3.B displays the proportion of flocks having risky biosecurity practices and behaviour, associated with transmission of pathogens. The most common identified practices were to distribute eggs (from time to time or regularly) outside the family unit (n = 1005/1160, 86.7%) and to have regular contacts with other owners (799/1160, 68.9%). A majority of owners did not seem to be aware of the risk represented by wild avifauna (owners having wild bird feeders in the garden as well) and represented 641/1160, 55.3%. (Table 1.4). Compliance with biosecurity measures such as washing hands and wearing specific shoes were irregular. The study showed that 13.5% of owners (n = 157/1160) did wash their eggs after picking or before consumption and were more represented in urban areas compared to others (p-value<0.05).

In the year prior to the survey, 37.5% (n = 435/1160) of flocks showed clinical signs and more than half of their owners had consulted a veterinarian (Table 1.5). Vet consultation frequency significantly increased with the size of the flock. Concerning therapeutics, 48 % of owners declared giving a 'treatment', most of them being pest control, alternative solutions (phytotherapy and homeopathy), deworming, and vitamins (Table 1.5).

Backyard poultry flock profiles

The first two dimensions of the MCA accounted respectively for 8.39 and 5.18% of the total variance, and the first 16 dimensions accounted for 53.48% of the cumulative variance of the dataset. The HCA revealed 5 profiles of poultry owners: *urban poultry*, *traditional poultry*, *student poultry*, *pet poultry* and *hobby poultry* (Figures 4A and 4B). Details of variable distributions within each profile and whether their outcomes were over-represented are presented in Tables 2.1 to 2.5.

Urban poultry: Owners of this profile were mainly represented by medium-age senior managers (Table 2.1). This profile comprised mostly recent flocks (< 2 years old) having less than 3 birds, with no other mixed species or exotic birds (98.7%, $p < 0.001$). Flocks were located in higher proportions in urban and sub-urban areas compared to other clusters (respectively 46.4% $p < 0.001$, 36.7% $p < 0.05$) (Table 2.2). The bird introduction rate was low and consisted mainly in the introduction of ready-to-lay hens (Table 2.3). A washing eggs practice was observed (21.3% $p < 0.001$) but no specific knowledge about poultry diseases was reported (Table 2.1). Observed clinical signs, vet consultations and the use of treatments were underrepresented (Table 2.5). However, owners giving treatments claimed to buy them in pet shops essentially (61.1% $p < 0.001$). Owners putting dead birds into municipal waste were overrepresented (25.4% $p < 0.01$) compared to other profiles (Table 2.4).

Traditional poultry: Backyard flocks were medium-size flocks of [3-10] birds (as for family poultry), had more than 5 years old (73.9% $p < 0.001$) and were mainly in rural areas (45.0% $p < 0.001$). Owners having more than 50 years old were overrepresented, they preferentially gave food leftovers and homemade mix food and they did not have specific knowledge about poultry diseases (Table 2.1). Bird introduction was rare and birds came from pet shops or live-bird markets (Table 2.3). Observed clinical signs, vet consultations and the use of treatments were underrepresented. Owners mainly bought their treatments from chemistry, websites and other such as natural homemade products (54.5% $p < 0.001$) (Table 2.5).

Student poultry: This profile consisted of students having less than 30 years old and giving food leftovers and homemade mix food. Owners had usually a technical and disease knowledge despite poor

biosecurity practices (Table 2.1 and 2.4). Flocks having more than 5 years and presenting spent-laying hens were more represented in this profile. Observed clinical signs, vet consultations and the use of treatments were underrepresented (Table 2.5).

Family poultry: Medium-age and intermediate professions were well represented in this profile. The main motivation for owning poultry was having pets. Owners had a technical and disease background knowledge (Table 2.1). Flocks were of medium size, recent (<2 years old) and presented chickens only (Table 2.2). Concerning biosecurity practices, this profile showed a higher implementation of washing hands and wearing specific shoes. It also presented a higher introduction rate and a closer contact with other flocks and owners (Table 2.4). Most of flocks showed clinical signs in the last year (58.1% $p<0.001$). Owners used all kind of treatments such as antimicrobials, deworming and pest-control treatments, vitamins and alternative treatments coming from veterinarian clinics (Table 2.5). Owners of this profile principally buried carcasses in their garden (54.3% $p<0.01$) (Table 2.4).

Hobby poultry: Those flocks had the highest number of birds (> 10 birds in 85.3% of cases, $p<0.001$). Flocks had more than 5 years old of age (51.5% $p<0.001$), showed mixed species (49.0% $p<0.001$) and were located in rural areas (47.5% $p<0.001$) (Table 2.2). The hobby motivation was the most representative in this profile (54.9% $p<0.001$). Many introductions were observed and introducing chicks or fertile eggs bought from private breeders or owners were overrepresented (Table 2.3). Bird selling and movements were also an important feature. Homemade mix food was preferentially given to flocks (like in traditional and student poultry). Concerning biosecurity practices, like in family poultry, owners showed a higher implementation of those as well as higher poultry owner contacts. For carcasses, owners used different ways of elimination such as burning, leaving carcasses to the vet or other methods. The main described other method was leaving carcasses in a wild environment for necrophage consumption (Table 2.4). Clinical signs were overrepresented in this profile, especially respiratory signs, digestive signs and to a lesser extent locomotor signs (respectively 44.1% ($p<0.001$), 16.2% ($p<0.01$), 8.3% ($p<0.05$)). As in family poultry, all kind of treatments were used and mainly bought from veterinarian clinics (Table 2.5).

Discussion

This study characterized the backyard poultry compartment in rural, suburban and urban areas across the French territory through data collected during a 3-years period (2018-2020). Until now, little information was available in France and none of the existing data aimed to characterize practices, flocks and owners.

Our study showed that a vast majority of flocks had less than 5 years of existence within households and that one third was located in urban or suburban areas. Flocks from urban areas were smaller compared to rural ones. This could be explained by a limited space in high-density populated area (Elkhoraibi et al., 2014). Urbanization of family poultry observed in France has been described in other countries of Europe, as well as in the USA throughout the past decade (Elkhoraibi et al., 2014; Garber et al., 2007; Karabozhilova et al., 2012; Madsen et al., 2013). Main motivations for having birds seemed to change accordingly to this demographic change. In addition to egg consumption, recycling food leftovers, hobby activity and considering birds as pets were additional motivations for owners and were in line with other studies (Elkhoraibi et al., 2014; Garber et al., 2007; Pollock et al., 2012). Moreover, nearly a quarter of owners' main motivation was hobby poultry which included breeding ornamental birds, preserving genetic diversity - pedigree fowl and poultry, poultry shows and exhibitions activities. This motivation was also described in other countries such as the USA (Burns et al., 2013; Elkhoraibi et al., 2014; Garber et al., 2007).

The present study showed a wide heterogeneity of practices and identified five different profiles: *urban*, *student*, *traditional*, *pet* and *hobby poultry*. *Hobby* and *traditional backyard poultry* seemed to correspond to the two categories of the family production defined by the FAO and were mainly represented in rural areas (FAO, 2010). The three other profiles (*urban*, *student* and *pet poultry*) included mainly recent flocks and reflected the international growing interest for having poultry, especially in urban areas (Blecha and Leitner, 2014; Elkhoraibi et al., 2014; Karabozhilova et al., 2012; Nicholson et al., 2020).

Flocks of *traditional* and *pet poultry* were larger than their *urban* counterparts but remained smaller than *hobby* ones. Elkhoraibi et al., showed that chick production were more frequent in large flocks and could be the case for *hobby poultry* described in our study (Elkhoraibi et al., 2014). Thus, it highlights the main observed characteristics of this group: bird selling that is more frequent, better technical/disease knowledge, a higher rate of introduction of chicks and eggs within the flock.

Student and *traditional poultry* could not be differentiated by their management practices but they mainly differed by the age and type of owner (student vs retired). Introduced birds from *traditional* and *students'* flocks were mainly spent laying hens. The localization of the traditional flocks in rural areas close to commercial poultry farms could facilitate the introduction of spent laying hens due to close human links (Steenwinkel et al., 2011).

Pet poultry was a recent profile, located in all types of living environments and was more likely to have an access to veterinary services. These results showed that *pet poultry* owners acquired a significant knowledge on husbandry and diseases, maybe related to the observations of clinical signs in their flocks, leading to personal researches and specific advice from their veterinarian. On the opposite, *urban* owners had less technical and disease knowledge compared to *pet* and *hobby* breeders, probably due to the small flock size and the absence of clinical signs. However, risky practices were identified in *urban* flocks: disposing dead birds in the municipal waste and washing eggs before consumption. Disposing dead animals in household waste is forbidden in France (*Loi n° 96-1139 du 26 décembre 1996 relative à la collecte et à l'élimination des cadavres d'animaux et des déchets d'abattoirs et modifiant le code rural, 1996*) and can lead to epizootic outbreaks and/or human exposure to antimicrobial resistance (Alam et al., 2019; Pollock et al., 2012; Walz et al., 2018). Moreover, washing eggs after picking increases the risk of foodborne outbreaks especially considering *Salmonella* infections (Hutchison et al., 2003). While prevalence levels of *Salmonella* sp. are not known in French backyard poultry flocks, bacteria were isolated in respectively 10 and 12% of backyard flocks in South Australia and Ontario (Brochu et al., 2019; Ferreira et al., 2020; Manning et al., 2015; Zhao et al., 2016). Present observations highlight the

importance of educating poultry owners about the health regulations, zoonotic diseases and preventive measures especially in urban areas (Pollock et al., 2012; Tobin et al., 2015).

Concerning biosecurity practices, their higher implementation in *pet* and *hobby poultry* could be explained by the higher prevalence of observed clinical signs compared to *urban, traditional, and student poultry*. Indeed, one could consider that owners whose flock had no clinical signs did not have any incentive for implementing biosecurity practices and gaining more poultry health knowledge. On another hand, apparent clinical signs in *pet* and *hobby poultry* showed biosecurity practices were not sufficient and could be improved especially by implementing preventive measures surrounding bird movements such as quarantine or rest days in live bird markets (Burns et al., 2011; Fournié et al., 2011).

As examples, the 1999-2000 H7N1 AIV outbreak in Italy (Capua et al., 2003; Terregino et al., 2007), the 2003 H7N7 epidemic in the Netherlands (Bataille et al., 2011) and the 2017 outbreak of HPAI H5N8 (Guinat et al., 2020) in France identified human movement with infected birds as major risk factors in the spread of HPAI. In addition, Burns emphasizes the importance of indirect contacts between backyard-flock owners within the backyard poultry sector especially for *hobby poultry* (Burns et al., 2011). Another important aspect to consider is the connectedness of backyard flocks with commercial poultry flocks thus highlighting the specific need to improve poultry health in both backyard and commercial poultry sectors in order to prevent disease circulation from one to another (Fiebig et al., 2009; Souvestre et al., 2019).

It is difficult to estimate the representativeness of our sample, given that family poultry flocks' demographics has been poorly described in France. With the raise of chicken coops in urban and suburban areas in the past decade, the FAO estimation could be consequently increased (Dumat et al., 2018; FAO, 2010). The cohort covered the whole map of the country thus suggesting the diversity of backyard flocks has been taken into account. However, the department of Haute-Garonne (31) was the most represented, which is explained by a heavier advertisement performed in an urban context and could artifactually increase the *urban poultry* profile. Furthermore, it is likely that this study underrepresents the prevalence of rural flocks from retired owners having a poor access to internet. In

the same way, students' owners were overrepresented due to the diffusion of the questionnaire in French veterinary schools.

Self-estimated questions could introduce a bias between obtained data and reality (Nespeca et al., 1997). Indeed, it could lead to underreported clinical signs in birds in *urban poultry* due to the lack of owners' disease knowledge, or, on the opposite, along with *pet poultry*, a better attention to clinical signs could be due to considering birds as pets in comparison to *traditional poultry*. In addition, biosecurity practices could be overreported in *hobby poultry* and could be explained by the fact that the owners know the right attitude to adopt regarding their flock without actually implementing it.

This study provided for the first time a description of backyard flocks over the French territory and showed a heterogeneity in their profiles, in particular about flocks' characteristics, owners' motivation to own poultry, knowledge and observation of clinical signs. Results can be used to develop targeted prevention strategies for disease transmission among the non-commercial poultry sector. Veterinarians should be informed and prepared for this new emerging pet-poultry medicine and consider in their advice flock management, zoonotic prevention and poultry welfare to be able to meet owners' expectations (e.g. wanting 'Happy, healthy chickens') (Crespo et al., 2010). The presence of chemical residues in eggs after treatments is also an important issue for public health. Indeed, veterinarians have a limited choice of approved and adapted (e.g. small quantities) treatments and might use drugs possibly generating residues in eggs. (Marmulak et al., 2015; Whitehead M. L. and Roberts V., 2014). Social network analysis between the five identified profiles would provide information regarding bird movements and their health status and thus, provide targeted recommendations to "key" actors.

Acknowledgements

The authors wish to thank all the owners having participated in the study and all veterinarians, pet and animal food shops for the diffusion of the survey and their implication in the project.

Formatting of funding sources

This study was performed in the framework of the "*Chair for Avian Biosecurity*", hosted by the National

Veterinary College of Toulouse and supported by the Direction Générale de l'Alimentation, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, France.

Conflicts of interest

Authors do not have conflict of interest about the findings from this study.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

References

- Alam, M.-U., Rahman, M., Abdullah-Al-Masud, Islam, M.A., Asaduzzaman, M., Sarker, S., Rousham, E., Unicomb, L., 2019. Human exposure to antimicrobial resistance from poultry production: Assessing hygiene and waste-disposal practices in Bangladesh. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 222, 1068–1076. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.07.007>
- Amat, J.-P., Cauchard, J., Carles, S., Dupuy, C., Falala, S., Gerbier, G., Henaux, V., Lambert, Y., Lancelot, R., 2020. Suivi IAHP en Europe : Point au 25/11/2020 inclus [WWW Document]. Plateforme ESA. URL <https://www.plateforme-esa.fr/article/suivi-iahp-en-europe-point-au-25-11-2020-inclus> (accessed 12.4.20).
- Anderson, J., Horn, B.J., Gilpin, B.J., 2012. The prevalence and genetic diversity of *Campylobacter* spp. in domestic “backyard” poultry in Canterbury, New Zealand. *Zoonoses Public Health* 59, 52–60. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2011.01418.x>
- Anderson, T.C., Nguyen, T.-A., Adams, J.K., Garrett, N.M., Bopp, C.A., Baker, J.B., McNeil, C., Torres, P., Ettestad, P.J., Erdman, M.M., Brinson, D.L., Gomez, T.M., Barton Behravesh, C., 2016. Multistate outbreak of human *Salmonella* Typhimurium infections linked to live poultry from agricultural feed stores and mail-order hatcheries, United States 2013. *One Health* 2, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2016.08.002>
- Bailey, T., Larson, J., 2013. Backyard Poultry: Implications for Public Health and Safety. Food Policy Research Center, Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy. <https://hdl.handle.net/11299/157625>
- Bataille, A., Meer, F. van der, Stegeman, A., Koch, G., 2011. Evolutionary Analysis of Inter-Farm Transmission Dynamics in a Highly Pathogenic Avian Influenza Epidemic. *PLOS Pathogens* 7, e1002094. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002094>
- Behravesh, C.B., Brinson, D., Hopkins, B.A., Gomez, T.M., 2014. Backyard Poultry Flocks and Salmonellosis: A Recurring, Yet Preventable Public Health Challenge. *Clin Infect Dis* 58, 1432–1438. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu067>
- Blecha, J., Leitner, H., 2014. Reimagining the food system, the economy, and urban life: new urban chicken-keepers in US cities. *Urban Geography* 35, 86–108. <https://doi.org/10.1080/02723638.2013.845999>

- Brochu, N.M., Guerin, M.T., Varga, C., Lillie, B.N., Brash, M.L., Susta, L., 2019. A two-year prospective study of small poultry flocks in Ontario, Canada, part 1: prevalence of viral and bacterial pathogens. *J Vet Diagn Invest* 1040638719843577. <https://doi.org/10.1177/1040638719843577>
- Burns, T., Ribble, C., Mclaws, M., Kelton, D., Stephen, C., 2013. Perspectives of an underrepresented stakeholder group, backyard flock owners, on poultry health and avian influenza control. *Journal of Risk Research* 16. <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.726244>
- Burns, T.E., Kelton, D., Ribble, C., Stephen, C., 2011. Preliminary Investigation of Bird and Human Movements and Disease-Management Practices in Noncommercial Poultry Flocks in Southwestern British Columbia. *Avian Diseases* 55, 350–357. <https://doi.org/10.1637/9646-010411-Reg.1>
- Capua, I., Marangon, S., dalla Pozza, M., Terregino, C., Cattoli, G., 2003. Avian Influenza in Italy 1997–2001. *Avian Diseases* 47, 839–843. <https://doi.org/10.1637/0005-2086-47.s3.839>
- Costard S., P.V., 2009. Multivariate analysis of management and biosecurity practices in smallholder pig farms in Madagascar. *Preventive Veterinary Medicine* 92, 199–209.
- Crespo, R., Faux, C., Dhillon, S.A., Newberry, R.C., Moore, D.A., 2010. Pet Poultry Training for Veterinary Practitioners. *Journal of Veterinary Medical Education* 37, 383–387. <https://doi.org/10.3138/jvme.37.4.383>
- 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>
- Dumat, C., Fournier, A., Souvestre, M., Guerin, J.-L., Dupouy, D., Feidt, C., Mélazzini-Déjean, A., 2018. Les poulaillers familiaux urbains : opportunités et limites de la convergence des usages dans un contexte interdisciplinaire de transition écologique. *VertigoO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.21077>
- Elkhoraibi, C., Blatchford, R.A., Pitesky, M.E., Mench, J.A., 2014. Backyard chickens in the United States: A survey of flock owners. *Poult Sci* 93, 2920–2931. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04154>
- FAO, 2010. Small commercial and family poultry production in France: characteristics, and impact of HPAI regulations by E. Fermet-Quinet and C. Bussière (No. 3), *Smallholder Poultry Production*. Rome.
- Ferreira, V., Cardoso, M.J., Magalhães, R., Maia, R., Neagu, C., Dumitraşcu, L., Nicolau, A.I., Teixeira, P., 2020. Occurrence of *Salmonella* spp. in eggs from backyard chicken flocks in Portugal and Romania - Results of a preliminary study. *Food Control* 113, 107180. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107180>
- FFV, 2020. Fédération Française de la volaille (FFV) [WWW Document]. FFV - Fédération Française de Volailles. URL <http://ffv-volaille.fr/> (accessed 12.4.20).
- Fiebig, L., Smieszek, T., Saurina, J., Hattendorf, J., Zinsstag, J., 2009. Contacts between poultry farms, their spatial dimension and their relevance for avian influenza preparedness. *Geospat Health* 4, 79. <https://doi.org/10.4081/gh.2009.212>
- Fournié, G., Guitian, F.J., Mangtani, P., Ghani, A.C., 2011. Impact of the implementation of rest days in live bird markets on the dynamics of H5N1 highly pathogenic avian influenza. *Journal of The Royal Society Interface* 8, 1079–1089. <https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0510>

- Garber, L., Hill, G., Rodriguez, J., Gregory, G., Voelker, L., 2007. Non-commercial poultry industries: Surveys of backyard and gamefowl breeder flocks in the United States. *Preventive Veterinary Medicine* 80, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.01.012>
- Guinat, C., Comin, A., Kratzer, G., Durand, B., Delesalle, L., Delpont, M., Guérin, J.-L., 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. <https://doi.org/10.1111/tbed.13672>
- Husson, F., Le, S., Pagès, J., 2017. *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R*, second. ed. CRC Press.
- Hutchison, M.L., Gittins, J., Walker, A., Moore, A., Burton, C., Sparks, N., 2003. Washing table eggs: a review of the scientific and engineering issues. *World's Poultry Science Journal* 59, 233–248. <https://doi.org/10.1079/WPS20030015>
- INSEE, 2021. Base du dossier complet | Insee [WWW Document]. URL <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5359146#consulter> (accessed 6.18.21).
- Karabozhilova, I., Wieland, B., Alonso, S., Salonen, L., Häslér, D.B., 2012. Backyard chicken keeping in the Greater London Urban Area: welfare status, biosecurity and disease control issues. *British Poultry Science* 53, 421–430. <https://doi.org/10.1080/00071668.2012.707309>
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25, 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Loi n° 96-1139 du 26 décembre 1996 relative à la collecte et à l'élimination des cadavres d'animaux et des déchets d'abattoirs et modifiant le code rural, 1996. , Code Rural et de la pêche maritime.
- MAA, 2020a. Communiqué de presse - Un foyer d'influenza aviaire hautement pathogène détecté en Haute-Corse. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Paris.
- MAA, 2020b. Communiqué de presse - Influenza aviaire hautement pathogène : un foyer détecté dans les Yvelines. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Paris.
- Madsen, J.M., Zimmermann, N.G., Timmons, J., Tablante, N.L., 2013. Evaluation of Maryland Backyard Flocks and Biosecurity Practices. *Avian Diseases* 57, 233–237. <http://www.jstor.org/stable/23526426>
- Mainali, C., Houston, I., 2016. Small Poultry Flocks in Alberta: Demographics and Practices. *Avian Diseases* 61, 46. <https://doi.org/10.1637/11460-062716-Reg>
- Manning, J., Gole, V., Chousalkar, K., 2015. Screening for Salmonella in backyard chickens. *Preventive Veterinary Medicine* 120, 241–245. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.03.019>
- Marmulak, T., Tell, L.A., Gehring, R., Baynes, R.E., Vickroy, T.W., Riviere, J.E., 2015. Egg residue considerations during the treatment of backyard poultry. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 247, 1388–1395. <https://doi.org/10.2460/javma.247.12.1388>
- Martínez-García, C.G., Ugoretz, S.J., Arriaga-Jordán, C.M., Wattiaux, M.A., 2015. Farm, household, and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders. *Trop Anim Health Prod* 47, 311–316. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0720-4>
- Nespeca, R., Vaillancourt, J.-P., Morrow, W.E.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)

- Nicholson, C.W., Campagnolo, E.R., Boktor, S.W., Butler, C.L., 2020. Zoonotic disease awareness survey of backyard poultry and swine owners in southcentral Pennsylvania. *Zoonoses Public Health*. <https://doi.org/10.1111/zph.12686>
- Pires, A.F.A., Peterson, A., Baron, J.N., Adams, R., Martínez-López, B., Moore, D., 2019. Small-scale and backyard livestock owners needs assessment in the western United States. *PLoS ONE* 14, e0212372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212372>
- Pollock, S.L., Stephen, C., Skuridina, N., Kosatsky, T., 2012. Raising Chickens in City Backyards: The Public Health Role. *J Community Health* 37, 734–742. <https://doi.org/10.1007/s10900-011-9504-1>
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RStudio Team, 2020. RStudio : Integrated Development for R. Studio, PBC, Boston, MA URL.
- SCAF, 2020. SCAF. URL <http://scaf-aviculture.com/?cat=8> (accessed 12.4.20).
- Smith, E.I., Reif, J.S., Hill, A.E., Slota, K.E., Miller, R.S., Bjork, K.E., Pablonia, K.L., 2012. Epidemiologic Characterization of Colorado Backyard Bird Flocks. *Avian Diseases* 56, 263–271. <https://doi.org/10.1637/9865-072811-Reg.1>
- Souvestre, M., Guinat, C., Niqueux, E., Robertet, L., Croville, G., Paul, M., Schmitz, A., Bronner, A., Etteradossi, N., Guérin, J.-L., 2019. Role of Backyard Flocks in Transmission Dynamics of Highly Pathogenic Avian Influenza A(H5N8) Clade 2.3.4.4, France, 2016-2017. *Emerging Infect. Dis.* 25, 551–554. <https://doi.org/10.3201/eid2503.181040>
- 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, 259–70. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.12.004>
- Terregino, C., De Nardi, R., Guberti, V., Scremin, M., Raffini, E., Moreno Martin, A., Cattoli, G., Bonfanti, L., Capua, I., 2007. Active surveillance for avian influenza viruses in wild birds and backyard flocks in Northern Italy during 2004 to 2006. *Avian Pathology* 36, 337–344. <https://doi.org/10.1080/03079450701488345>
- Tobin, M.R., Goldshear, J.L., Price, L.B., Graham, J.P., Leibler, J.H., 2015. A Framework to Reduce Infectious Disease Risk from Urban Poultry in the United States. *Public Health Rep* 130, 380–391.
- Walz, E., Linskens, E., Ueber, J., Culhane, M.R., Halvorson, D., Contadini, F., Cardona, C., 2018. Garbage Management: An Important Risk Factor for HPAI-Virus Infection in Commercial Poultry Flocks. *Front. Vet. Sci.* 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00005>
- Whitehead M. L., Roberts V., 2014. Backyard poultry: legislation, zoonoses and disease prevention. *Journal of Small Animal Practice* 55, 487–496. <https://doi.org/10.1111/jsap.12254>
- Zhao, X., Gao, Y., Ye, C., Yang, L., Wang, T., Chang, W., 2016. Prevalence and Characteristics of Salmonella Isolated from Free-Range Chickens in Shandong Province, China. *Biomed Res Int* 2016, 8183931. <https://doi.org/10.1155/2016/8183931>

1 **Figure captions**

2 **Figure 1:** Backyard flock repartition of the 1160 participants to the survey used for analysis
3 per French INSEE code area. Number of backyard poultry flocks participating in each
4 department are shown using different a colour code.

5 **Figure 2:** Flocks' characteristics: A) Size of the flocks depending on the living-environment of
6 the owner and B) Proportion of other species than chickens and/or layers.

7 **Figure 3:** Owners' motivation (A) and biosecurity practices (B).

8 **Figure 4:** Projection of the 1160 BPF on the three first dimensions by the HCA. A) Profiles are
9 represented on the dimension 1 and 2 axes. B) Profiles are represented on axes of dimension 1
10 and 3.

11 **Tables**

12 **Table 1.1:** Cross-sectional study of 1160 French backyard owners. Frequency of categories
 13 related to owners' characteristics, demographics, socio-economic category and knowledge
 14 about diseases.

Variable and definition	Categories	%
Age of owner at the time of the survey	[16-29] years old	18.6
	[30-49] years old	48.6
	[50-64] years old	26.9
	≥ 65 years old	5.9
Socio-economic category of the owner	Farmers	3.7
	Artisans. Merchants. Entrepreneurs	7.8
	Senior manager in the private or public service. intellectuals and artists	29
	Intermediate professions (technicians. associate professionals)	5.9
	employees	24.2
	workers	3.7
	Old-age pensioners	10.3
	Inactive people	5
	Students	10.3
	Owners' motivation for having poultry	Pet animal
Hobby and local breeds		22.1
For egg quality		93.3
For recycling food waste		72.4
Other motivation		6.89
Self-estimated knowledge on Salmonella spp. as a pathogen	Low	20.9
	High	79.1
Self-estimated knowledge on AIV as a pathogen	Low	96.7
	High	3.3
Self-estimated knowledge on Campylobacter spp. as a pathogen	Low	81.4
	High	18.6
Self-estimated knowledge on NDV as a pathogen	Low	58.4
	High	41.6
Density population according to the BPF localization	Rural	34.7
	Sub-urban	30.3
	Urban	16.7
	Ultra-urban	18.3
Owners giving or selling eggs produced from their flocks	Never	13.4
	Sometimes	54.3
	Regularly	24.4
	Always	7.9
Owner volunteering for further participation to the study	No	43.4
	Yes	56.6

15
 16 **Table 1.2:** Cross-sectional study of 1160 French backyard owners. Frequency of categories
 17 related to flocks' characteristics: size, species and age.

18

Variable and definition	Categories	%
Number of layers or chickens in the BPF	Q1 = 3 Median = 5	Q2=9.5

	≤3	33.7
	>3 and ≤ 10	42.3
	>10	24.0
Age of the coop and first associated poultry (years old)	< 2	28.6
	[2-5]	34.2
	[5-10]	20.5
	[10-30]	11.6
	≥ 30	5
Other bird species	No	78.4
	Yes	21.6
Presence of ducks or geese	No	89
	Yes	11
Presence of other poultry species (turkeys, guinea fowl, quail)	No	94.3
	Yes	5.7
Presence of pigeons	No	95.3
	Yes	4.7
Presence of exotic birds	No	93.2
	Yes	6.8

19
20 **Table 1.3:** Cross-sectional study of 1160 French backyard owners. Frequency of categories
21 related to poultry husbandry and bird movement.

Variable and definition	Categories	%
Visit' frequency of the flock by the owner	< once a day	2.4
	Once a day	17.6
	Twice a day	27.9
	More than twice a day	52.1
	Every day	13.8
Self-declared cleaning frequency of the coop	Weekly or twice a month	46.1
	≥ Once a month	29.9
	≥ Once a year	10.2
Common age of the bird at introduction	Chicks < 3 weeks old	10.9
	Fertile eggs	10.4
	Ready-to-lay layers (18-20 weeks old)	64.1
	Layers > 1 year old (spent laying hens)	14.6
Owner giving regularly food leftovers	Yes	75.9
Regular feeding : cereal mix "home-made"	Yes	38.3
Regular feeding : cereal mix bought from specific shops	Yes	47.2
Regular feeding : pellets bought from specific shops	Yes	23.6
Birds introduced in the last year	No	37.2
	Yes	62.8
Birds sold/given in the last year	No	77.1
	Yes	22.9
Birds moved temporarily from the flock	No	92.3
	Yes	7.7
Introduced birds mainly coming from a professional (direct contact)		30.8
Introduced birds mainly coming from hobby breeders or private individuals (direct contact)		37.5
Introduced birds mainly coming from live bird markets or poultry exhibition		12.8
Introduced birds mainly coming from pet shops		18.9
Owner bird care after mortality	Buried in the garden	47.6

Brought to the veterinarian and left at the office	5.8
Burned	6.8
Other	19.2
Municipal waste	20.6

22
23 **Table 1.4:** Cross-sectional study of 1160 French backyard owners. Frequency of categories
24 related to biosecurity practices and human contacts.

Variable and definition	Categories	%
Wearing specific shoes for flock visit	Never	43.9
	Sometimes	16.2
	Regularly	17.7
	Always	22.2
Washing his hands after visiting the flock	Never	6.1
	Sometimes	18.6
	Regularly	25.3
	Always	50
Washing their eggs	No	86.5
	Yes	13.5
	Before consumption	3.1
	After collecting eggs	10.4
Presence of wildbird feeders close to the chicken coop	No	44.7
	Yes	55.3
Owners having received visits for their flock	No	82.2
	Yes	17.8
Owners having visited other poultry flocks	No	80.3
	Yes	19.7
Owner having a close contact with another poultry owner	Never	31.1
	Sometimes	41.6
	Regularly	20.6
	Always	6.7

25
26 **Table 1.5:** Cross-sectional study of 1160 French backyard owners. Frequency of categories
27 related to health of the flocks: clinical signs, diagnostic and treatments.

Variable and definition	Categories	%
Birds showing clinical signs in the past year	No	62.5
	Yes	37.5
Owner having consulted a veterinarian for poultry in the past year	No	76.2
	Yes	23.8
Owner having considered giving a "treatment" to their birds in the past year	No	52.3
	Yes	47.7
Using all-type treatments (vitamins, antimicrobials, deworming, pestcontrol, alternative treatments)	No	25.9
	Yes	74.1
Using vitamins	No	58.9
	Yes	41.1
Using antimicrobials	No	90.4
	Yes	9.6
Using deworming treatments	No	58.2
	Yes	41.8
Using pest control treatments	No	54
	Yes	46
Using alternative treatments	No	57.9
	Yes	42.1

Observing clinical signs on their flock in the past year	Respiratory signs	16.3
	Digestive signs	10.1
	Nervous signs	1.7
	Locomotor signs	5
	Cutaneous signs	8
	Unknown by the owner	6.4
Most representative origin of treatments	Veterinary office	26.8
	Pet shop	39.2
	Internet	10.2
	Chemistry	7.2
	Other	16.6

28

29 **Table 2.1:** Frequency of “owners’ characteristics” related variables among the 5 profiles identified in the HCA on the 1160 backyard flocks.
 30 Categories (in bold) are the most represented variables within each profile: when the p-value for the hypergeometric test is <0.05 it is labelled *,
 31 when the p-value is <0.01 it is labelled ** and when the p-value is <0.001 it is labelled ***.

Variable	Urban poultry (n=319)			Traditional poultry (n=222)			Student poultry (n=126)			Family poultry (n=289)			Hobby poultry (n=204)			Total (n=1160)		
	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%	
Owner’s age (years)	< 30	22		6.9	8		3.6	125	***	99.2	32		11.1	29		14.2	216	18.6
	[30-50]	219	***	68.7	56		25.2	1		0.8	165	***	57.1	123	***	60.3	564	48.6
	> 50	78		24.5	158	***	71.2	0		0.0	92		31.8	52		25.5	380	32.8
Owner’s socio-economic category	Farmer, artisan, merchant, entrepreneurs	29		9.1	48	*	21.6	3		2.4	29		10.0	25		12.3	134	11.6
	Senior manager in private or public services	154	***	48.3	42		18.9	7		5.6	82	*	28.4	51		25.0	336	29.0
	Intermediate professions, employees or workers	108		33.9	51		23.0	6		4.8	142	***	49.1	86	**	42.2	393	33.9
	Old-age pensioners or inactive people	28		8.8	80	***	36.0	0		0.0	36		12.5	33		16.2	177	15.3
	Students	0		0.0	1		0.5	110	***	87.3	0		0.0	9		4.4	120	10.3
Personal motivation for having poultry	Not for pet	180	***	56.4	153	***	68.9	62		49.2	63		21.8	85		41.7	543	46.8
	For having pets	139		43.6	69		31.1	64		50.8	226	***	78.2	119		58.3	617	53.2
	Not for hobby	289	***	90.6	200	*	90.1	100		79.4	223		77.2	92		45.1	904	77.9
	For hobby and breeds	30		9.4	22		9.9	26		20.6	66		22.8	112	***	54.9	256	22.1
	Not for egg consumption	14		4.4	5		2.3	6		4.8	27	***	9.3	26	***	12.7	78	6.7
	For egg consumption	305	*	95.6	217	**	97.7	120	**	95.2	262		90.7	178		87.3	1082	93.3
	Not for recycling waste food	54		16.9	44		19.8	20		15.9	117	***	40.5	85	**	41.7	320	27.6
	For recycling waste food	265	***	83.1	178	*	80.2	106	**	84.1	172		59.5	119		58.3	840	72.4
Knowledge about poultry diseases	No knowledge about NDV	287	***	90.0	186	***	83.8	57		45.2	101		34.9	47		23.0	678	58.4
	Knowledge about NDV	32		10.0	36		16.2	69	**	54.8	188	***	65.1	157	***	77.0	482	41.6
	No knowledge about Campylo spp.	300	***	94.0	198	***	89.2	76		60.3	216		74.7	154		75.5	944	81.4
	Knowledge about Campylo spp.	19		6.0	24		10.8	50	***	39.7	73	***	25.3	50	*	24.5	216	18.6

	No knowledge about Salmonella spp.	112	***	35.1	48		21.6	19		15.1	47		16.3	17		8.3	243	20.9
	Knowledge about Salmonella spp.	207		64.9	174		78.4	107	***	84.9	242	***	83.7	187	***	91.7	917	79.1
Egg production and use	Never giving or selling eggs	70		21.9	24		10.8	27	**	21.4	24		8.3	10		4.9	402	34.7
	Sometimes giving or selling eggs	197	***	61.8	114		51.4	68		54.0	172		59.5	79		38.7	352	30.3
	Usually giving or selling eggs	52		16.3	84	*	37.8	31		24.6	93	*	32.2	115	***	56.4	406	35.0
	Not washing eggs	251		78.7	193		86.9	110		87.3	260	***	90.0	189	*	92.6	155	13.4
	Washing eggs	68	***	21.3	29		13.1	16		12.7	29		10.0	15		7.4	630	54.3
	Owner motivation for further study	<i>Not volunteering</i>	120		37.6	139	***	62.6	85	***	67.5	92		31.8	67		32.8	375
	<i>Volunteering</i>	199	*	62.4	83		37.4	41		32.5	197	***	68.2	137	***	67.2	1003	86.5

32

33 **Table 2.2:** Frequency of “backyard flocks’ characteristics” related variables among the 5 profiles identified in the HCA on the 1160 backyard
34 flocks. Categories (in bold) are the most represented variables within each profile: when the p-value for the hypergeometric test is <0.05 it is
35 labelled *, when the p-value is <0.01 it is labelled ** and when the p-value is <0.001 it is labelled ***.

Variable		Urban poultry (n=319)			Traditional poultry (n=222)			Student poultry (n=126)			Family poultry (n=289)			Hobby poultry (n=204)			Total (n=1160)	
		n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%
Number of birds per flocks	≤ 3	229	***	71.8	46		20.7	54		42.9	58		20.1	4		2.0	391	33.7
	[3-10]	88		27.6	127	***	57.2	50		39.7	200	***	69.2	26		12.7	491	42.3
	≥ 10	2		0.6	49		22.1	22		17.5	31		10.7	174	***	85.3	278	24.0
Age of the flock (years)	≤ 2	168	***	52.7	13		5.9	37		29.4	93	***	32.2	21		10.3	332	28.6
	[2-5]	117		36.7	45		20.3	28		22.2	129		44.6	78		38.2	397	34.2
	≥ 5	34		10.7	164	***	73.9	61	***	48.4	67		23.2	105	***	51.5	431	37.2
Having exotic birds	No	317	***	99.4	208		93.7	119		94.4	267		92.4	170		83.3	1081	93.2
	Yes	2		0.6	14		6.3	7		5.6	22		7.6	34	***	16.7	79	6.8
Having ducks, geese or other poultry birds	No	315	***	98.7	187		84.2	112		88.9	275	***	95.2	104		51.0	993	85.6
	Yes	4		1.3	35	*	15.8	14		11.1	14		4.8	100	***	49.0	167	14.4
	Rural	54		16.9	100	**	45.0	44		34.9	107		37.0	97	***	47.5	391	33.7

Location of the flock according to population density	Sub-urban	117	*	36.7	57		25.7	31		24.6	82		28.4	65		31.9	491	42.3
	Urban	148	***	46.4	65		29.3	51		40.5	100		34.6	42		20.6	278	24.0

36

37 **Table 2.3:** Frequency of “poultry husbandry and bird movement” related variables among the 5 profiles identified in the HCA on the 1160

38 backyard flocks. Categories (in bold) are the most represented variables within each profile: when the p-value for the hypergeometric test is

39 <0.05 it is labelled *, when the p-value is <0.01 it is labelled ** and when the p-value is <0.001 it is labelled ***.

Variable		Urban poultry (n=319)			Traditional poultry (n=222)			Student poultry (n=126)			Family poultry (n=289)			Hobby poultry (n=204)			Total (n=1160)	
		n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%
Bird introduction in the last year	No	190	***	59.6	99	**	44.6	43		34.1	64		22.1	35		17.2	431	37.2
	Yes	129		40.4	123		55.4	83		65.9	225	***	77.9	169	***	82.8	729	62.8
Age of the bird at introduction	Chicks or fertile eggs	20		6.3	42		18.9	25		19.8	26		9.0	134	***	65.7	247	21.3
	Ready-to-lay hens	268	***	84.0	137		61.7	72		57.1	205	*	70.9	62		30.4	744	64.1
	Spent laying hens	31		9.7	43	*	19.4	29	*	23.0	58		20.1	8		3.9	169	14.6
Owner selling birds from his coop	No	300	***	94.0	190	***	85.6	110		87.3	253	***	87.5	41		20.1	894	77.1
	Yes	19		6.0	32		14.4	16		12.7	36		12.5	163	***	79.9	266	22.9
Bird go-and-return in the flock	No	301		94.4	216	***	97.3	118		93.7	281	***	97.2	155		76.0	1071	92.3
	Yes	18		5.6	6		2.7	8		6.3	8		2.8	49	***	24.0	89	7.7
Origin of the bird introduced in the flock	From a professional	111		34.8	72		32.4	50		39.7	96	*	33.2	28		13.7	357	30.8
	Private breeder or owner	59		18.5	65		29.3	52		41.3	122		42.2	137	***	67.2	435	37.5
	Live-bird markets, pet shops, poultry exhibitions	149	***	46.7	85	*	38.3	24		19.0	71		24.6	39		19.1	368	31.7
Homemade mix food	Yes	52		16.3	143	***	64.4	64	**	50.8	67		23.2	118	***	57.8	444	38.3
	No	267	***	83.7	79		35.6	62		49.2	222	***	76.8	86		42.2	716	61.7

Ready-to-eat food bought from a pet shop	No	49		15.4	136	***	61.3	57	**	45.2	49		17.0	88	**	43.1	379	32.7
	Yes	270	***	84.6	86		38.7	69		54.8	240	***	83.0	116		56.9	781	67.3
Giving food leftovers	No	61		19.1	36		16.2	23		18.3	80	***	27.7	80	**	39.2	280	24.1
	Yes	258	*	80.9	186	**	83.8	103	*	81.7	209		72.3	124		60.8	880	75.9

40

41 **Table 2.4:** Frequency of “biosecurity practices” related variables among the 5 profiles identified in the HCA on the 1160 backyard flocks.

42 Categories (in bold) are the most represented variables within each profile: when the p-value for the hypergeometric test is <0.05 it is labelled *,

43 when the p-value is <0.01 it is labelled ** and when the p-value is <0.001 it is labelled ***.

Variable		Urban poultry (n=319)			Traditional poultry (n=222)			Student poultry (n=126)			Family poultry (n=289)			Hobby poultry (n=204)			Total (n=1160)	
		n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%
Having wild bird feeders close to the coop	No	163	**	51.1	104		46.8	72	**	57.1	79		27.3	101		49.5	519	44.7
	Yes	156		48.9	118		53.2	54		42.9	210	***	72.7	103		50.5	641	55.3
Wearing specific shoes for the coop	No	215	**	67.4	142		64.0	87	*	69.0	154		53.3	99		48.5	697	60.1
	Yes	104		32.6	80		36.0	39		31.0	135	**	46.7	105	**	51.5	463	39.9
Washing hands frequency	Unregular	156		48.9	146	**	65.8	90	***	71.4	110		38.1	78		38.2	580	50.0
	Always	163		51.1	76		34.2	36		28.6	179	**	61.9	126	***	61.8	580	50.0
Flock receiving a visit or owner visiting another flock	No	235		73.7	185	***	83.3	85		67.5	210		72.7	113		55.4	828	71.4
	Yes	84		26.3	37		16.7	41		32.5	79	*	27.3	91	***	44.6	332	28.6
Owner having a regular contact with another owner	No	129	***	40.4	77		34.7	35		27.8	93		32.2	27		13.2	361	31.1
	Yes	190		59.6	145		65.3	91		72.2	196		67.8	177	***	86.8	799	68.9
Owner's behavior when bird mortality	Buried in the garden	123		38.6	127	*	57.2	53		42.1	157	***	54.3	92		45.1	552	47.6
	To the vet. burned. other	115		36.1	60		27.0	46		36.5	72		24.9	76	**	37.3	369	31.8
	As municipal waste	81	*	25.4	35		15.8	27		21.4	60		20.8	36		17.6	239	20.6

44

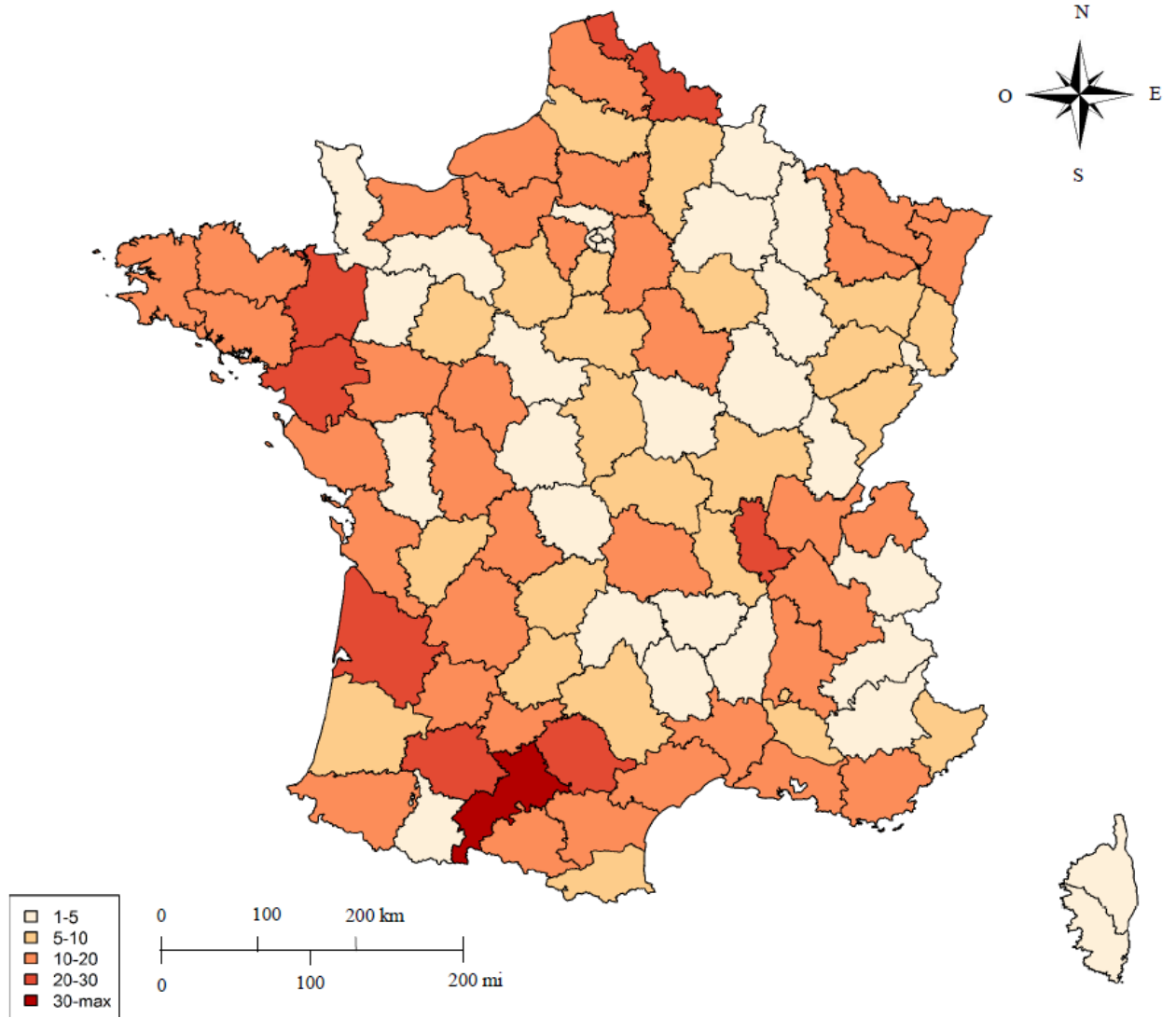
45 **Table 2.5:** Frequency of “poultry health: clinical signs, diagnostic and treatments” related variables among the 5 profiles identified in the HCA
 46 on the 1160 backyard flocks. Categories (in bold) are the most represented variables within each profile: when the p-value for the hypergeometric
 47 test is <0.05 it is labelled *, when the p-value is <0.01 it is labelled ** and when the p-value is <0.001 it is labelled ***.

Variable	Urban poultry (n=319)			Traditional poultry (n=222)			Student poultry (n=126)			Family poultry (n=289)			Hobby poultry (n=204)			Total (n=1160)		
	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%	
Birds showing clinical signs in the last year and precision	No	242	***	75,9	190	***	85,6	85		67,5	121		41,9	87		42,6	725	62.5
	Yes	77		24,1	32		14,4	41		32,5	168	***	58,1	117	***	57,4	435	37.5
	<i>No respiratory</i>	303	***	95,0	218	***	98,2	115	*	91,3	221		76,5	114		55,9	971	83.7
	<i>Respiratory signs</i>	16		5,0	4		1,8	11		8,7	68	**	23,5	90	***	44,1	189	16.3
	<i>No digestive</i>	301	**	94,4	216	***	97,3	116		92,1	239		82,7	171		83,8	1043	89.9
	<i>Digestive signs</i>	18		5,6	6		2,7	10		7,9	50	***	17,3	33	**	16,2	117	10.1
	<i>No locomotor signs</i>	316	***	99,1	216		97,3	115		91,3	268	*	92,7	187		91,7	1102	95.0
	<i>Locomotor signs</i>	3		0,9	6		2,7	11		8,7	21		7,3	17	*	8,3	58	5.0
	<i>Cutaneous signs</i>	27		8,5	6		2,7	8		6,3	37	***	12,8	15		7,4	93	8.0
	<i>No unknown signs</i>	301		94,4	210		94,6	118		93,7	258		89,3	199	**	97,5	1086	93.6
<i>Unknown signs</i>	18		5,6	12		5,4	8		6,3	31	**	10,7	5		2,5	74	6.4	
Having had a vet consult in the last year	No	293	***	91,8	218	***	98,2	110	**	87,3	152		52,6	111		54,4	884	76.2
Yes	26		8,2	4		1,8	16		12,7	137	***	47,4	93	***	45,6	276	23.8	
Considered as treated by the owner in the last year	No	222	***	69,6	170	***	76,6	90		71,4	73		25,3	52		25,5	607	52.3
Yes	97		30,4	52		23,4	36		28,6	216	***	74,7	152	***	74,5	553	47.7	
Having received a treatment in the last year (and treatment precision)	No	116	***	36,4	103	***	46,4	59	***	46,8	16		5,5	7		3,4	301	25.9
Yes	203		63,6	119		53,6	67		53,2	273	***	94,5	197	***	96,6	859	74.1	
<i>No vitamin</i>	238	***	74,6	174	***	78,4	91	**	72,2	112		38,8	68		33,3	683	58.9	
<i>Vitamin_yes</i>	81		25,4	48		21,6	35		27,8	177	***	61,2	136	***	66,7	477	41.1	
<i>No antimicrobials</i>	315	***	98,7	221	***	99,5	123	**	97,6	242		83,7	148		72,5	1049	90.4	

	<i>Antimicrobials_yes</i>	4		1,3	1		0,5	3		2,4	47	***	16,3	56	***	27,5	111	9.6
	<i>No deworming</i>	252	***	79,0	176	***	79,3	100	***	79,4	95		32,9	52		25,5	675	58.2
	<i>Deworming yes</i>	67		21,0	46		20,7	26		20,6	194	***	67,1	152	***	74,5	485	41.8
	<i>No pestcontrol</i>	201	***	63,0	162	***	73,0	99	***	78,6	100		34,6	64		31,4	626	54.0
	<i>Pestcontrol_yes</i>	118		37,0	60		27,0	27		21,4	189	***	65,4	140	***	68,6	534	46.0
	<i>No alternative</i>	221	***	69,3	165	***	74,3	93	**	73,8	132		45,7	61		29,9	672	57.9
	<i>Alternative yes</i>	98		30,7	57		25,7	33		26,2	157	***	54,3	143	***	70,1	488	42.1
Origin of treatment	Veterinarian clinic	29		9,1	28		12,6	39		31,0	122	***	42,2	93	***	45,6	311	26.8
	Pet shops	195	***	61,1	73		32,9	43		34,1	104		36,0	40		19,6	455	39.2
	Internet, chemistry, other	95		29,8	121	***	54,5	44		34,9	63		21,8	71		34,8	394	34.0

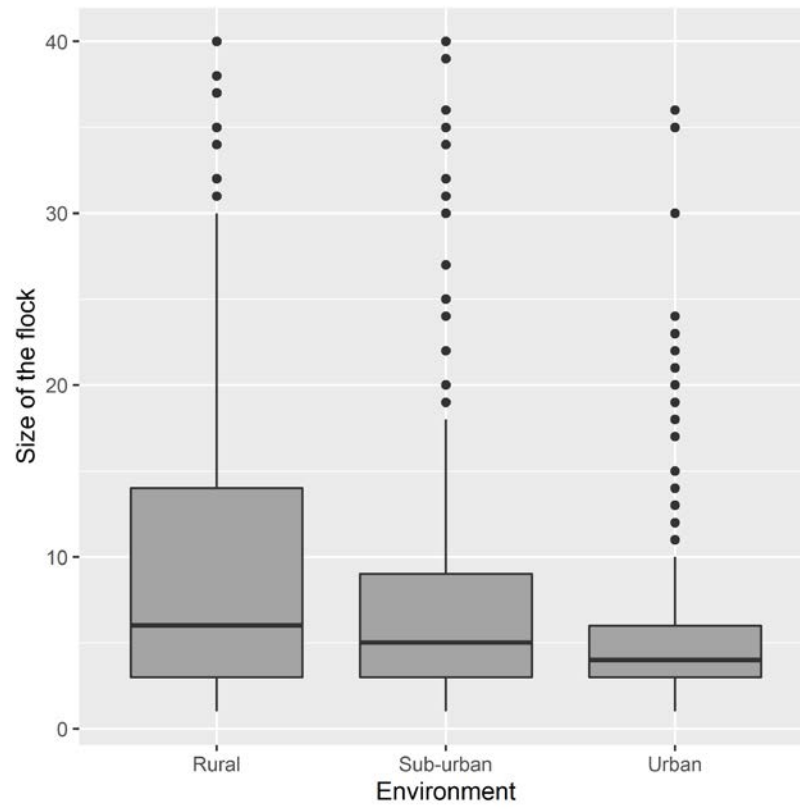
48

49 **Figures**
50
51 **Figure 1**
52

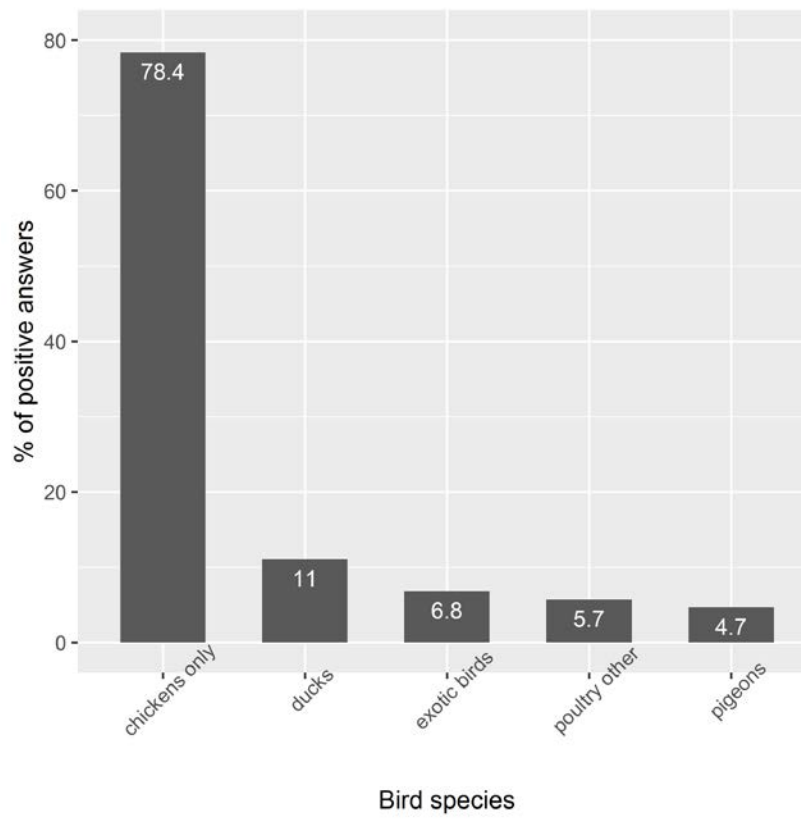


53
54

55 **Figure 2 A)**

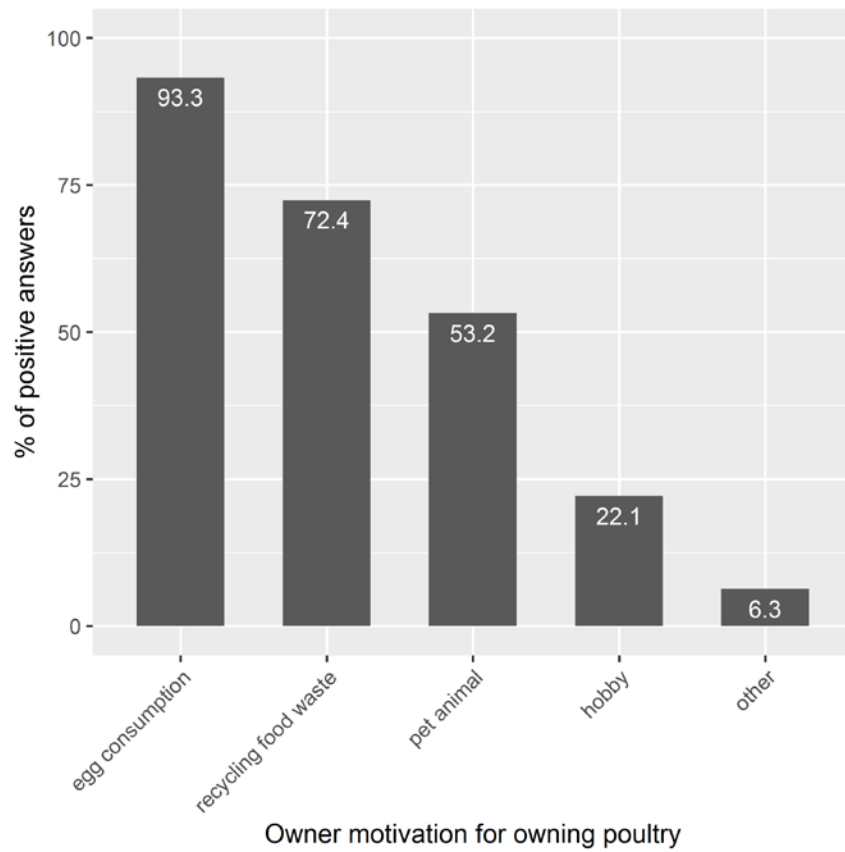


56 **Figure 2 B)**
57

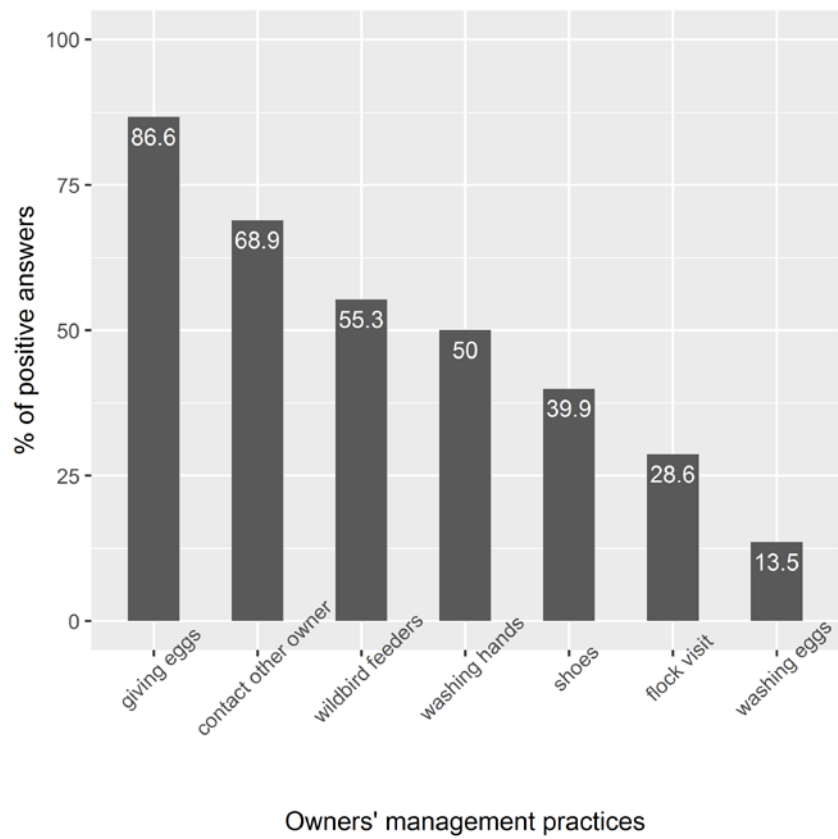


58
59

60 **Figure 3 A)**

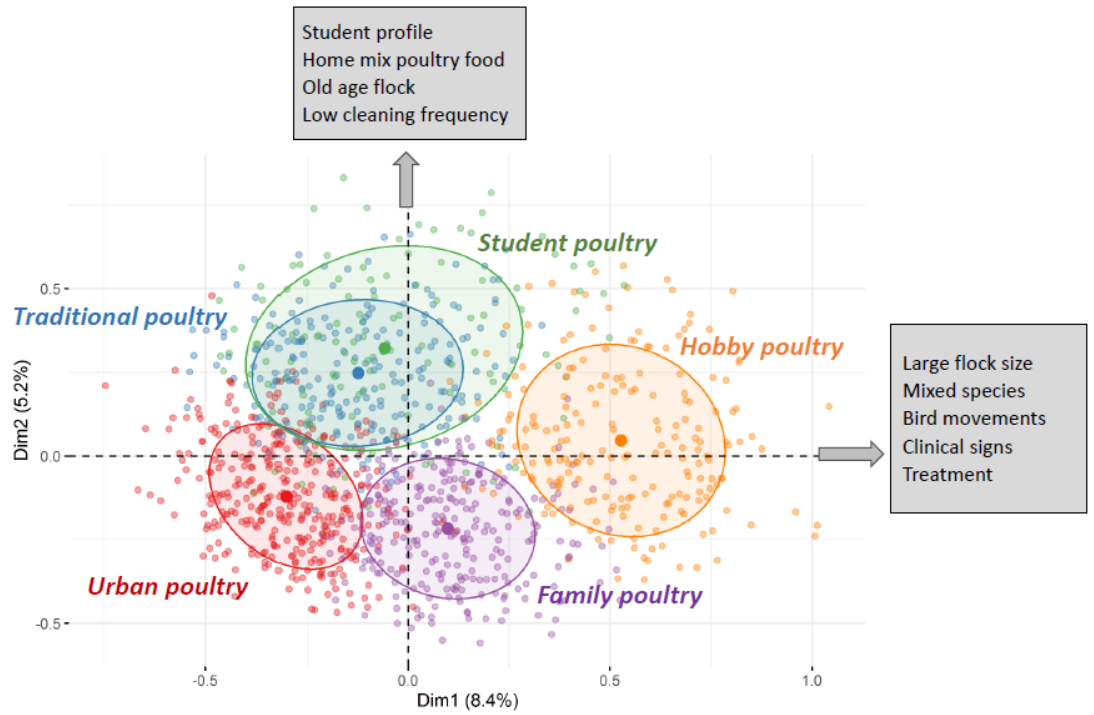


61 **Figure 3 B)**
62

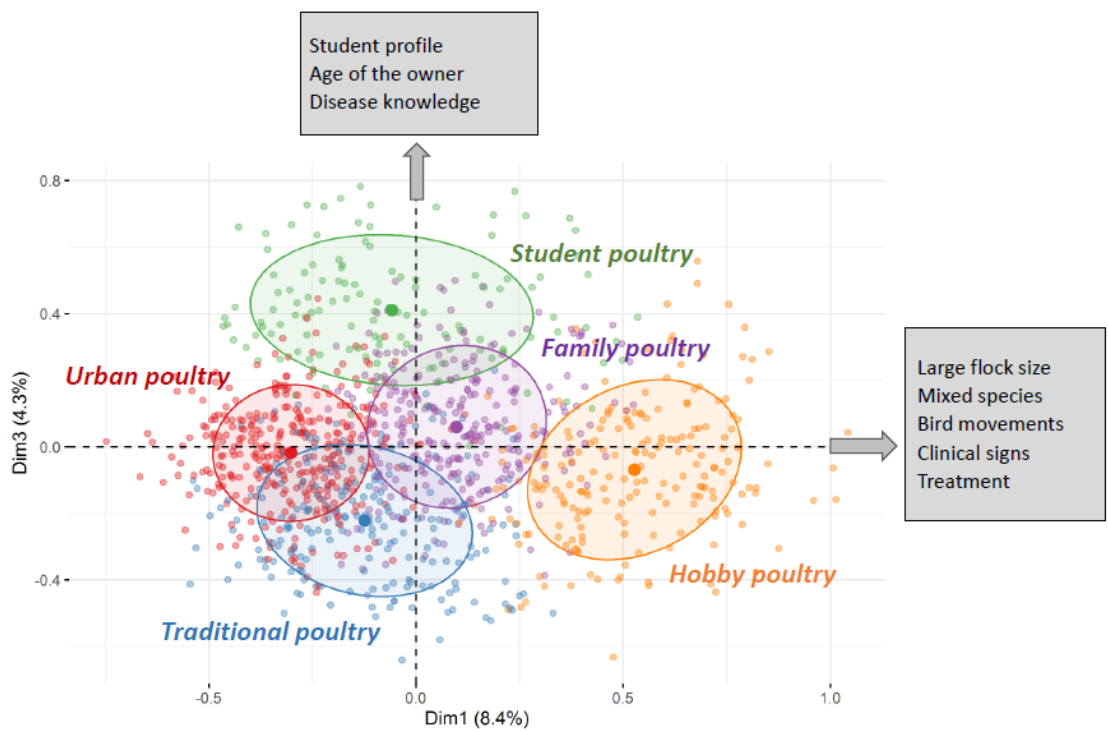


63
64
65

66 **Figure 4 A)**



67
68 **Figure 4 B)**



70 **Discussion**

71 La mise en place d'une enquête nationale diffusée entre 2018 et 2020 sur la base du volontariat a permis
72 le recueil de 1146 réponses. Les supports de diffusion principaux sont présentés en Annexe 3 et Annexe
73 4. Cette enquête participative a révélé des informations récentes sur les élevages de volailles sur l'ensemble
74 du territoire français, dans les zones rurales, périurbaines et urbaines. Le questionnaire est présenté en
75 Annexe 5.

76 Les principales motivations des propriétaires pour avoir des oiseaux étaient la consommation d'œufs
77 (93,3 %), le recyclage des restes de nourriture (72,4 %) et le fait d'avoir des animaux de compagnie (53,2
78 %), ce qui est conforme à d'autres études (7,8). Cependant, près d'un quart des propriétaires étaient
79 principalement motivés par la volaille de loisir, l'élevage pour la conservation génétique, les expositions et
80 les salons de volailles ce qui représente une proportion importante à la différence des États-Unis (7). Cela
81 peut s'expliquer par le fait, qu'en France, l'élevage de sélection et de compétition a une réelle importance
82 sociale, environnementale et économique (6,29,46). Les propriétaires appartiennent à des associations
83 locales ou nationales (environ 200 en France) qui protègent et promeuvent une génétique traditionnelle
84 locale spécifique dans tout le pays et ont des connexions au niveau international. Les résultats ont
85 différencié cinq groupes de populations présentant des typologies et caractéristiques différentes : les
86 poulaillers urbains, les basses-cours « traditionnelles », les poulaillers d'étudiants, les poulaillers « des
87 familles » détenus principalement pour la compagnie et les éleveurs amateurs ou de loisir.

88 En excluant le sous-secteur des éleveurs de loisirs, les résultats ont montré un développement récent
89 des poulaillers privés, plutôt de petit (< 3 poules) ou moyen effectif (3-10 poules) en comparaison avec les
90 résultats indiqués en 2010 qui ne considéraient qu'un sous-secteur très similaire au sous-secteur de la basse-
91 cour « traditionnelle » identifié dans cette étude (6). Cette tendance est identique aux États-Unis où la
92 plupart des propriétaires possèdent des animaux de basses-cours depuis moins de cinq ans (7,40). Les
93 poulaillers les plus récents ont été observés surtout en milieu urbain et présentaient des petits effectifs
94 comme le confirment d'autres études (8,24,36).

95 Il a été observé que les propriétaires des poulaillers récents en milieu urbain disposaient de très peu de
96 connaissances et/ou d'expérience en matière de santé et de bien-être des volailles, pouvant ainsi augmenter
97 le risque de transmission d'agents zoonotiques, cela ayant déjà été décrit (250). De plus, l'augmentation de
98 la densité des troupeaux au sein d'une population humaine à forte densité peut elle-même accroître le risque
99 de transmission d'agents pathogènes entre les populations d'oiseaux et de l'oiseau à l'homme. Il semble
100 donc indispensable, au-delà de la surveillance sanitaire stricte, de mettre en place des programmes
101 d'éducation pouvant jouer un rôle clef dans l'amélioration de la santé des oiseaux de basse-cour et la
102 prévention des risques sanitaires.

103 La présence de signes cliniques dans les élevages familiaux de compagnie et les élevages de loisir
104 suggèrent la présence d'agents pathogènes pouvant être présents de manière chronique dans ces sous-
105 secteurs. À l'inverse, les poulaillers urbains, basses-cours traditionnelles et poulaillers d'étudiants montrent
106 peu de signes cliniques. Les signes cliniques dans deux groupes peuvent être en partie expliqués par une
107 plus grande taille des effectifs et de plus nombreux contacts directs ou indirects avec d'autres élevages
108 (37,185).

109 Les mesures de biosécurité, d'après les propriétaires, sont rarement mises en place dans les différents
110 secteurs hormis dans les élevages de loisir où les propriétaires indiquent se laver les mains
111 systématiquement et porter des chaussures spécifiques. Pourtant ce secteur connaît des signes cliniques
112 importants pouvant laisser penser que les mesures mises en place sont inefficaces. Deux hypothèses
113 pourraient justifier l'inefficacité de ces mesures : 1) les éleveurs disent mettre en place ces mesures, mais
114 l'observance n'est pas strictement respectée ; 2) ces mesures ne sont pas suffisantes pour ce sous-secteur
115 et un intérêt tout particulier doit être apporté à la gestion des flux d'animaux directs (introductions, ventes
116 sur les marchés et récupération des animaux ensuite, quarantaine non réalisée ou non suffisante).

117 Par ailleurs, il a été observé qu'en l'absence de signes cliniques (poulaillers urbains, basses-cours
118 traditionnelles, poulaillers d'étudiants) peu de propriétaires consultaient des vétérinaires pour des conseils
119 ou des traitements éventuels (vitamines, vermifuges, antiparasitaires), car s'approvisionnant
120 majoritairement en animalerie, pharmacie ou par Internet. À l'inverse, en présence de signes cliniques, les
121 propriétaires déclaraient s'approvisionner le plus souvent en cabinet vétérinaire.

122 L'échantillon d'un nombre conséquent de participants répartis de façon homogène sur le territoire
123 français peut être considéré comme représentatif de l'ensemble des basses-cours françaises. Toutefois, il
124 reste difficile d'estimer la population d'élevages familiaux en France. Steenwinkel et al., dans leur étude,
125 indiquent une moyenne de 9,2 de poulaillers pour 100 habitations. Si l'on considère qu'il y existe 29,2
126 millions de ménages français, on peut estimer un total de 2,628 millions d'élevages familiaux en France.
127 En Belgique, la proportion représentée par les éleveurs de loisir est de 4% des élevages familiaux totaux.
128 Si l'on considère qu'il en est de même en France, on peut estimer le nombre d'élevages avicoles de loisirs
129 à 105 120 (35).

130 Sur la base des résultats obtenus, il reste difficile de quantifier le nombre d'élevages de chaque catégorie
131 et d'estimer les proportions représentées par chacune d'entre-elles. De plus, il est possible que la
132 participation volontaire ait introduit un biais d'échantillonnage. En effet, les personnes plus confiantes en
133 leurs méthodes, plus extraverties ou pensant « travailler mieux » pourraient avoir participé en plus grand
134 nombre. Cela a été le cas au Royaume-Uni lors d'une enquête participative (8). Aussi, il est intéressant de
135 noter que la majorité des réponses a été obtenue par la diffusion du questionnaire en ligne par les réseaux

136 sociaux et la diffusion entre participants. Ce moyen de diffusion peut introduire un biais « numérique » qui
137 sous-estimerait la part des personnes âgées ou retraitées n'ayant pas accès à du matériel informatique ou à
138 une connexion Internet, mais semble augmenter la taille de l'échantillon de façon conséquente. En
139 revanche, il a été montré que l'utilisation des réseaux numériques est le moyen de communication le plus
140 prisé par une grande majorité des propriétaires. C'est donc par ces outils que la diffusion de la connaissance
141 devrait être privilégiée, que ce soit par les vétérinaires, les services de l'état, où les sociétés de service (7).

142 Ces résultats peuvent permettre d'orienter l'élaboration de programmes éducatifs ciblés, adaptés aux
143 différentes populations. Une continuité dans l'échantillonnage permettra d'avoir des données actualisées,
144 récentes et donc représentatives des dernières tendances démographiques. Pour ce faire, la constitution
145 d'une base de données à grande échelle est nécessaire et implique l'établissement rapide d'un lien de
146 confiance entre propriétaires et gouvernement. Il a été rapporté que le manque de confiance des
147 propriétaires de basse-cour pour les autorités était une des causes principales du faible taux de déclaration
148 (185). En France, une dichotomie doit être considérée en fonction du milieu urbain ou rural. En effet, en
149 milieu rural, c'est la peur des abattages massifs qui conduit à la sous-déclaration des élevages familiaux ; en
150 milieu urbain, c'est l'ignorance de la loi qui prévaut (commentaire personnel DDCSPP Gers, 2017).

151 Cette première partie a donc permis de définir les caractéristiques épidémiologiques et démographiques
152 du secteur avicole non commercial afin de proposer des facteurs de modulation du risque de transmission
153 d'agents pathogènes par ce dernier. La partie suivante s'intéresse spécifiquement au portage d'agents
154 pathogènes de plusieurs échantillons d'élevages familiaux dans des contextes différents.

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164 **Partie 2 : Pathobiome des élevages avicoles familiaux**

165 Jusqu'à présent, les VIAHP ont été les cibles principales de la réglementation appliquée aux élevages
166 familiaux en France. Suite à la circulation spectaculaire du virus H5N8 en 2017 (et désormais en 2020-
167 2021) impliquant des conséquences économiques et sociales majeures, un intérêt particulier a été porté aux
168 basses-cours afin de mieux comprendre leur rôle dans les épizooties. D'autres agents pathogènes
169 réglementés tels que le NDV ou Chl.p ou respiratoires tels que le ILTV, MG, MS, AvP et ORT qui peuvent
170 entraîner de graves pertes de production pour l'industrie avicole, sont pour l'instant non surveillés dans le
171 secteur non commercial. Seules quelques enquêtes sur ces agents pathogènes ont été menées auprès
172 d'élevages familiaux dans quelques pays européens (45,135,139). Au Canada et aux États-Unis, des études
173 sérologiques ont permis d'estimer les niveaux de prévalence et de considérer les élevages familiaux comme
174 de potentiels réservoirs d'agents pathogènes d'importance économique pour l'industrie avicole
175 (90,126,147,251).

176 Cette partie de l'étude a pour objectif d'estimer la prévalence d'agents pathogènes respiratoires dans le
177 secteur des élevages familiaux français. La sélection des agents pathogènes s'est faite d'après les apports de
178 la littérature sur le sujet, du danger qu'ils représentent pour les élevages commerciaux et de leur capacité à
179 être détectés¹¹. Dans les chapitres 1 et 2, les outils de diagnostic moléculaire (PCR) ont été utilisés pour
180 leur détection. Les couples d'amorces utilisés sont présentés en Annexe 6. Le chapitre 3, quant à lui,
181 rapporte les apports et les enjeux liés à l'isolement bactérien et concerne notamment deux agents
182 bactériens : AvP et MG. Ainsi, la partie 2 se présente sous la forme de deux articles en cours de soumission
183 ainsi qu'un chapitre concernant l'étude bactériologique de la flore respiratoire commensale d'un échantillon
184 de basses-cours.

185 Plus précisément, le chapitre 1 concerne l'étude de co-infections respiratoires sur un échantillon d'une
186 centaine de basses-cours sur le territoire national, permettant aussi d'obtenir un niveau de prévalence
187 moyen des différents agents ciblés dans le secteur familial. De plus, une étude des associations entre
188 présence de certains agents pathogènes et caractéristiques des basses-cours a été réalisée afin d'identifier
189 les populations les plus à risque d'être porteur de ces agents infectieux.

190 Le chapitre 2, quant à lui, cible une pratique particulière et les risques qui lui sont associés : l'adoption
191 de poules de réforme. Bien connue dans les basses-cours traditionnelles à proximité des élevages
192 commerciaux, cette pratique est aujourd'hui en forte émergence dans d'autres secteurs familiaux
193 (poulaillers d'étudiants et poulaillers familiaux de compagnie). En effet, si les détenteurs de basses-cours

¹¹ 14 agents pathogènes respiratoires ont été recherchés : AvP, IBV, *E.coli*, ILTV, MG, MS, ORT, Ba, IA, aMPV, NDV, PM, Ra et *Chlamydia psittaci*. La puce à ADN Biomark© (Fluidigm©) a été utilisée pour le dépistage (113)

194 traditionnelles justifient cette pratique par sa praticité en raison de la proximité des élevages commerciaux
195 et de son faible investissement ; les nouveaux propriétaires des basses-cours y rajoutent la dimension
196 éthique d'offrir « une seconde vie » à la poule pondeuse (59). Pour se faire, un suivi de poules indemnes
197 des agents pathogènes ciblés et issues d'un élevage commercial de poules pondeuses a été effectué après
198 leur introduction dans des basses-cours. L'objectif a été d'étudier l'évolution de leur statut sanitaire et de
199 mieux appréhender le rôle de réservoir des basses-cours.

200

201 **CHAPITRE I : Prévalence d'agents pathogènes respiratoires et co-infections dans**
202 **les poulaillers familiaux**

203 **Introduction**

204 En France, les élevages familiaux sont devenus très populaires au cours des dernières années, y compris
205 dans les villes et les banlieues. Bien que leur état sanitaire soit encore mal connu, le rôle des petits élevages
206 dans l'amplification et la transmission d'agents pathogènes respiratoires aux élevages commerciaux est
207 suggéré. Afin d'estimer ce possible rôle de réservoir des basses-cours, cet article étudie un ensemble de 97
208 basses-cours présentes dans le Gers (n=64) à proximité d'élevages commerciaux ou plus largement
209 réparties sur l'ensemble du territoire national (n=33). Les basses-cours participantes ont été sélectionnées
210 dans deux contextes différents. Le premier échantillonnage a fait suite à l'épizootie du virus IAHP H5N8
211 de 2017 dans le Gers et concerne des basses-cours à proximité (rayon 1km) d'élevages commerciaux ayant
212 été identifiés comme foyers. Le deuxième échantillonnage a été réalisé sur la base du volontariat par le biais
213 du réseau étudiant de l'école vétérinaire de Toulouse, permettant d'obtenir un échantillon étendu sur le
214 territoire national et localisé en zone de moindre densité avicole.

215 Outre l'étude du simple portage des agents pathogènes, la compréhension des pratiques d'élevage et des
216 pratiques sanitaires au sein du secteur familial est cruciale pour comprendre leur rôle dans la propagation
217 des agents pathogènes de façon générale et plus spécifiquement vers les troupeaux de volailles
218 commerciales. L'objectif de l'article présenté ci-dessous a été d'étudier les niveaux de prévalence d'agents
219 pathogènes respiratoires pertinents dans les élevages familiaux en association avec leur mode d'élevage et
220 les pratiques sanitaires mises en place par les propriétaires.

221 **Article 2**

222 **Prevalence of respiratory pathogens and biosecurity practices in backyard poultry flocks,**
223 **France.**

224 **Title:** Prevalence of respiratory pathogens and biosecurity practices in backyard poultry flocks,
225 France.

226

227 **Authors :** Marie Souvestre¹, Luc Robertet¹, Hugues Duret¹, Guillaume Croville¹, Claire Guinat¹,
228 Timothée Vergne¹, Mattias Delpont¹, Jean-Luc Guérin¹ and Guillaume Le Loc'h^{1*}

229 **Authors affiliation :**

230 ¹ Université de Toulouse, ENVT, INRAE, Chaire de Biosécurité Aviaire, 31076 Toulouse, France

231

232 *Address for correspondence: Guillaume Le Loc'h, École Nationale Vétérinaire de Toulouse,
233 INRAE, UMR IHAP, 23, chemin des capelles 31076 Toulouse Cedex 3, France

234 E-mail: guillaume.leloch@envt.fr

235

236 **Abstract (294 words <300)**

237 In France, backyard poultry flocks (BPF) have become more popular in recent decades, especially in
238 cities and suburbs. While their sanitary status is still poorly known, the role of BPF in amplification
239 and transmission of respiratory pathogens to commercial farms is suspected. The aim of this study was
240 to investigate the prevalence of respiratory pathogens in French BPF, in relationship with their profiles
241 of husbandry and sanitary practices. We ran a survey of breeding practice in 97 clinically healthy
242 backyard flocks, which were PCR screened for a panel of 14 pathogens. BPF were found positive for,
243 *Avibacterium paragallinarum* [AvP] (81%), *Ornithobacterium rhinotracheale* [ORT] (75%),
244 *Mycoplasma synoviae* [MS] (62%), *Escherichia coli* [E.Coli] (36%), *Infectious Laryngotracheitis*
245 *Virus* [ILTV] (30%), *Mycoplasma gallisepticum* [MG] (19%), *Avian Influenza Virus* [AIV] (4%),
246 *Pasteurella multocida* [PM] (3%), *Riemerella anatipestifer* [RA] (4%), *Chlamydia psittaci* [Chl.p]
247 (3%) and *Infectious bronchitis virus* [IBV] (1%). Patterns of practices and flock characteristics were

248 analysed with multiple correspondence analysis and hierarchical cluster analysis. A first cluster
249 gathered BPF located in high commercial poultry activity and low population density areas. Those BPF
250 showed also a strong human link with commercial poultry farms, were made of large, old, mixed-
251 species flocks and were more likely to be positive for AvP, MG, MS and ORT than other clusters. The
252 second cluster had only layers, some biosecurity practices and frequent introduced birds. The third
253 cluster grouped BPF from high human population density and low poultry farm activity areas, were
254 characterized by small flock size and a close monitoring by veterinarians; respiratory pathogens were
255 under-represented. The multivariate analysis emphasized the importance in considering respiratory
256 coinfections in addition to practices. Results emphasize the need to adapt biosecurity measures to BPF
257 localization, context and specific needs.

258 **Key words:** backyard poultry flocks, biosecurity, management practices, respiratory pathogens,
259 epidemiology, poultry health.

260 **Introduction**

261 In France, backyard and family poultry production has been historically present in rural areas, and
262 owners of backyard poultry flock (BPF) have often been involved in a professional farming activity.
263 In the last decades, BPF have experienced a remarkable development in urban and suburban areas,
264 leading to an increase of the number of flocks, as well as evolutions in their features, changes in human-
265 animal interactions and increased poultry diversity. This trend has created new public health concerns
266 regarding disease transmission to owners or eggs consumers, and poultry management in urban
267 environments. In 2010 in France, the FAO considered that BPF were present in 1-10 percent of
268 households, representing 1 million owners and as high as 20 million poultry (FAO, 2010). Until now,
269 highly pathogenic avian influenza virus (AIV) has been the main issue for BPF consideration and
270 regulation in France. While, the dramatic circulation of H5N8 AIV in 2017 and 2021 leading to the
271 preventive culling of around 8 million birds in the South-West of France raised the question of the
272 potential role of BPF in disease spread in the commercial sector (Souvestre et al., 2019). Regulated

273 pathogens such as Newcastle Disease Virus (NDV) or *Chlamydia psittaci* (Chl.p) or other respiratory
274 pathogens such as the Infectious Laryngotracheitis Virus (ILTIV), *Mycoplasma gallisepticum* (MG),
275 *Mycoplasma synoviae* (MS), *Avibacterium paragallinarum* (AvP) and *Ornithobacterium*
276 *rhinotracheale* (ORT) can cause serious production losses for poultry industry and have been poorly
277 monitored in BPF. Only a few investigations on these pathogens have been conducted in Europe in
278 small-scale chicken flocks (Haesendonck et al., 2014; Schelling, Thur, Griot, & Audige, 1999;
279 Wunderwald & Hoop, 2002). In Canada and the USA, serological studies estimated prevalence levels
280 and considered BPF as possible reservoirs of pathogens of economic importance for the poultry
281 industry (Brochu et al., 2019; Donahue et al., 2011; Madsen, Zimmermann, Timmons, & Tablante,
282 2013b; Morishita, 1996). Moreover, studying BPF husbandry and sanitary practices is crucial to
283 understand their role in the spread of diseases to commercial poultry flocks (Bavinck et al., 2009;
284 Burns, Kelton, Ribble, & Stephen, 2011; Derksen, Lampron, Hauck, Pitesky, & Gallardo, 2018;
285 Donahue et al., 2011; Garber, Hill, Rodriguez, Gregory, & Voelker, 2007; McBride et al., 1991; G.
286 Smith & Dunipace, 2011; Van et al., 2020). Until now, the few studies available showed a limited role
287 of backyard flocks in the dynamics of HPAIV outbreaks (Bavinck et al., 2009; G. Smith & Dunipace,
288 2011; Souvestre et al., 2019).

289 The aims of this study were to estimate the prevalence of the main respiratory pathogens in BPF and
290 to evaluate their association with management and sanitary practices. Addressing these questions is
291 important to define disease control strategies in BPF, including diagnostics, vaccination and
292 implementation of biosecurity measures, in order to limit circulation of pathogens, within BPF and to
293 commercial poultry.

294 **Material and methods**

295 *Sample collection*

296 Two cohorts of BPF were selected for the study. Since information about BPF in France is scarce,
297 cohort 1 was based on an already existing BPF population: samples were collected in 64 backyard

298 flocks within a 1-km range from outbreaks in commercial farms, just after a HPAI epidemic in the Gers
299 Department, in order to understand their potential role in the virus circulation (Souvestre et al., 2019).
300 This first batch (cohort 1) of 480 samples was collected from 991 chickens showing no clinical signs.
301 A second cohort (cohort 2) of 33 flocks was recruited among families of veterinary students of
302 Toulouse. Geographical repartition of BPF is shown on Figure 1.

303 ***Backyard flock sampling***

304 For each flock, a maximum of 5 chickens were collected. Dry swabs collected from the oro-pharynx
305 were stored at +4°C after sampling for transport back to Veterinary School of Toulouse. After
306 reception, swabs were agitated overnight in 400µL phosphate-buffered saline (PBS) solution at 0.1 M,
307 pH 7.4 (PBS), centrifuged and pooled by five (30 µL each) before being stored at -80°C for further
308 processing. If a flock had less than 5 samples, pools were completed with PBS to reach 150 µL.

309 ***Screening of pathogens***

310 Swabs were tested by (RT-)qPCR for 5 viruses: Avian influenza A (M gene, AIV subtypes H5, H6,
311 H7, H9 (HA genes), Newcastle disease virus (NDV), Infectious bronchitis virus (IBV), Infectious
312 Laryngotracheitis virus (ILT), Avian metapneumovirus (aMPV) and 9 bacterias: AvP, MS, MG,
313 *Escherichia coli* (*E.coli*), ORT, Chl.p, *Pasteurella multocida* (PM), *Bordetella avium* (BA) and
314 *Riemerella anatipestifer* (RA) (Croville et al., 2018). Oro-pharyngeal swabs were purified for DNA
315 and RNA material using the Nucleospin RNA virus kit (Macherey-Nagel, Düren, Germany) following
316 the manufacturer's instruction and were eluted in 50µL RNase-free water before storage at -80°C. The
317 commercial microfluidic-based PCR device Biomark © 96.96 Dynamic Arrays, the IFC Controller HX
318 and the BioMark Real-Time PCR System developed by the Fluidigm company (San Francisco, CA,
319 USA) were used for the uniplex real-time multiple pathogen PCR. cDNA synthetis and PCR were
320 performed as previously done (Croville et al., 2018). Additional qPCR was performed for MG (*mgc2*
321 gene) and MS (*vlhA* gene) in order to confirm 16S rRNA gene results (Moretti, Boucher, & Bragg,
322 2013; Wetzel, Lefevre, & Raviv, 2010). The amplification curves and melting peaks were analyzed

323 with Fluidigm's BioMark Melting-curve Analysis® software (version 4.5.2). For *E. coli*, samples were
324 considered positive if at least one of the 4 specific *E. coli* gene: *gadA*, *chuA*, *yjaA*, *TspE4C2* was
325 positive as described previously.(Croville et al., 2018).

326 *Survey*

327 A survey of 28 closed questions was conducted at the time of sampling. Owners were asked about
328 poultry health and nutrition, biosecurity practices and flock management. Table appendix 1 describes
329 definition and coding of all studied variables.

330 *Statistical analysis*

331 *Pathogen prevalence*

332 Pathogen prevalence was calculated using EpiTools© software. Sensitivity and specificity of the test
333 were considered as 99% and taken into account for the confidence interval calculation (Brown, Cai, &
334 DasGupta, 2001; Reiczigel, Földi, & Ózsvári, 2010). A confidence level of 95% was chosen for
335 prevalence estimation (Rogan & Gladen, 1978).

336 *Cluster analysis*

337 For the survey analysis, a multiple correspondence analysis (MCA) was performed and followed by a
338 hierarchical cluster analysis (HCA) in order to look for different groups of owners presenting similar
339 practices, flock characteristics and background, as previously described (Delpont et al., 2018). The 4
340 first dimensions were included in the analysis based on their inertia values indicating the relative
341 contribution of each dimension. They totally account for 44.1 per cent of the variations. The first two
342 dimensions were plotted on Figure Appendix 1 to illustrate the associations among the variables. For
343 HCA analysis, all variables corresponding to pathogens were considered as supplementary variables
344 and were not considered for the construction of dimensions. The optimal number of clusters was chosen
345 using dendrograms.

346 *Multivariate analysis*

347 In addition, associations between practices, flocks background and characteristics were tested with
348 prevalence levels for AvP, ORT, MG/MS, ILTV and E.Coli using bivariate inferential statistics (Chi-
349 squared or Fisher's Exact). Univariate analysis results are shown in Table appendix 2. All variables
350 were coded into a binary outcome (Presence of pathogen = 1, absence = 0). A prevalence ratio was
351 calculated in order to measure the strength of the association. A p-value < 0.25 was chosen for the
352 inclusion threshold for variables into multivariate analysis and a general linear model (GLM) was
353 performed. After a final stepwise backward elimination, the regression model was selected and
354 variables with p-value <0.05 were considered statistically significant for association with the outcome
355 variable. Data were analyzed using R version 4.0.0 (R Development Core Team, 2017). Package
356 FactoMineR (Lê, Josse, & Husson, 2008) and VGAM were used respectively for cluster analysis and
357 for multivariate analysis (Yee, 2010).

358 **Results**

359 *Pathogens detection and co-infections profiling*

360 Backyard flocks tested PCR positive for AvP (81%), ORT (75%), MS (64%), E.Coli (36%), ILTV
361 (30%), MG (19%), IAA (4%), Ra (4%), PM (3%) and Chl.p (3%), respectively. 86.5% of backyard
362 flocks were positive for 2 or more pathogens and 47,5% were positive for 4 or more pathogens. Co-
363 infections mostly involved AvP, MS and ORT (Table 5). All samples tested negative for the other
364 targeted pathogens (H5, H6, H7, and H9 AIV; ND; aMPV and Ba). The PCR data are displayed in
365 Table 1.

366 *General characteristics of backyard flocks*

367 BPF sized from 2 to 60 birds, with a mean of 14 and a median of 11 chickens and/or ducks. A minority
368 of flocks had mixed species (20%). BPF had usually uncovered delimited free-range area, but a
369 covered feeding and drinking area. 20% of owners had a close link with commercial poultry farming
370 by helping them on a casual basis or by being in regular contact, personally or through a family
371 member. Around half of the flocks were located in low-density population - high CPF density areas,

372 corresponding to a rural area. Owners declared being close (< 1km) to another BPF in 81% of cases
373 and close to a CPF in 75% of cases. Many owners introduced birds in their flocks during the last year
374 (66%) with a majority directly coming from commercial or private breeders. The data are detailed in
375 Table 2.

376 *Clustering of BPF based on characteristics, management and background*

377 The MCA followed by the HCA led to the identification of 3 clusters of BPF based on their
378 characteristics, background and management practices. Table 2 presents the results for the three
379 identified clusters (Figure 2).

380 In cluster 1 (n=43), BPF were relatively small compared to other clusters (81% (35/43) < 11) and more
381 than ¼ of flocks were recently settled flocks (<2 years old). They were mainly located in urban areas
382 (65% (28/43)) and were therefore considered as *urban flocks*. Around 44% (19/43) of owners declared
383 having referred to a veterinarian during the year preceding the survey. Owners had no commercial
384 poultry activity (0% (0/43)) and very few had mixed species within the flocks (5% (2/43)).

385 In cluster 2 (n=26), owners were mainly from cohort 1 (92% (24/26)), located in rural areas and claimed
386 to respect some biosecurity measures (92% (24/26)). Flocks were comprised of chickens only. Bird
387 introduction over the past year was common (96% (25/26)) and birds were more frequently coming
388 from markets or pet shops compared to other clusters (35% (9/26) as opposed to 12% (5/43) in cluster
389 1 and 7% (2/28) in cluster 3. Flocks from cluster 2 were considered as *rural flocks*.

390 In cluster 3 (n=28), BPF were characterized by their large size (93% (26/28)), the presence of mixed
391 species (64% (18/28)) and their close relation with the commercial sector (29% (8/28)). They were
392 considered as *commercial connected flocks*. These flocks have been existing for many years. More than
393 half of the owners declared having had a chicken-coop with birds for more than 30 years. BPF from
394 cohort 1 were strongly represented in this cluster (89% (25/28)).

395

396 *Pathogens associations and coinfections in BPF*

397 Multivariate analysis showed significant interactions between *Mycoplasma* sp. (MG/MS) and AvP,
398 ORT and ILTV but did not show any characteristics or practices that could be considered as risk factors
399 regarding any pathogen prevalence (Table 3). Considering practices, the only protective factor
400 regarding AvP was shown to be the consultation of a veterinarian (OR=0.12 [0.03-0.41]) (Table 3).
401 Considering pathogens, BPF were at a higher risk of being positive for MG and/or MS when positive
402 for AvP (OR=5.30, 95% CI [1.64-19.06]) and reciprocally (OR=5.27, 95% CI [1.59-19.39]). The same
403 results were observed for *Mycoplasma* \leftrightarrow ORT (\rightarrow OR=5.49, 95% CI [2.09-15.30], \leftarrow OR=5.25,
404 95% CI [1.81-16.40]) and *Mycoplasma* \leftrightarrow ILTV (\rightarrow OR=3.16, 95% CI [1.14-10.29], \leftarrow OR=4.28,
405 95% CI [1.31-17.41]). No significant associations were observed between other pathogens. In addition,
406 the cluster analysis showed that flocks being positive for AvP and/or MS or having respiratory co-
407 infections were over-represented in commercial connected flocks, contrasting with small, recent and
408 urban flocks (Table 4). Data showed that major coinfections were multibacterial associations such as
409 AvP-E.coli-ORT-MS and AvP-ORT-MS (Table Appendix 3).

410 **Discussion**

411 The present study is the first report on prevalence levels of respiratory pathogens and on practices and
412 management in French family BPF. PCR results showed relatively high prevalence levels for AvP
413 (81%), ORT (75%), MS (64%), E.coli (36%), ILTV (30%) and MG (19%) despite no clinical signs.
414 Some serological analyses already suggested that backyard poultry flocks were commonly infected by
415 respiratory pathogens such as NDV, IBV, ILTV, MG, MS, ORT and aMPV but few molecular
416 detection studies were performed (Table Appendix 2). In our study, AvP prevalence was higher than
417 in other studies (30% in California and 62% in Vietnam) and could be explained by asymptomatic
418 chronic infections in old-aged flocks (Van et al., 2020). In addition, molecular detection of NDV, IBV,
419 AIV and aMPV was scarce. However, these results cannot exclude previous viral circulations and high
420 seroprevalence levels as shown by other studies (Table Appendix 2).

421 Results showed a wide diversity of practices and individual flocks were divided into three clusters
422 resulting in different farm risk-groups for pathogens maintenance and spread into the commercial
423 sector. *Rural backyard flocks* and *commercial connected flocks* were both located in rural areas (Figure
424 2). The absence of biocontainment, the free-range management, the close proximity with local avifauna
425 and the owner himself were described as major risk factors regarding pathogen transmission
426 (Nishiguchi et al., 2007; Pohjola et al., 2017a). In addition, pathogens were more prevalent in *rural*
427 and *highly connected BPF* in comparison to *urban flocks*. Indeed, *commercial connected BPF* showed
428 a significant higher positivity for AvP, MG/MS and ORT. Increasing high prevalence levels for *rural*
429 *flocks* and *commercial connected flocks* specified the role of reservoir to BPF with possible intermittent
430 shedding and chronic infections in apparently healthy birds in those two groups (Blackall & Soriano-
431 Vargas, 2019; Gharaibeh & Hailat, 2011; F. T. W. Jordan, 1966; Kirkpatrick, Mahmoudian, Colson,
432 Devlin, & Noormohammadi, 2006; Kleven, King, & Anderson, 1972; Swayne, 2020).

433 The distinction between *rural flocks* and *commercial connected flocks*, was having no-mixed species,
434 no connexion with commercial farm through the farmer or relatives and a better implementation of
435 biosecurity measures. In *rural flocks*, half of the owners having a relation with CPF were helping them
436 occasionally such as with chick placing or chicken catching before culling. Although *rural flocks*
437 showed a high introduction rate, the risk level regarding pathogen transmission for *rural flocks* would
438 mainly depend on the context. In a context of close proximity to commercial farms with high bird
439 density, spillover of infectious agents from local wild bird or closely related farms could facilitate
440 pathogen introduction into BPF. (Brochu et al., 2019; Madsen, Zimmermann, Timmons, & Tablante,
441 2013c; Vandekerchove, Herdt, Laevens, & Pasmans, 2004). In this case, the farmer or relatives, as well
442 as local avifauna, could be considered as bridge hosts for punctual pathogens introduction from CPF
443 to BPF during epizootics (F. T. Jordan, 1972; Kleven, 1998; Nakamura, 1994).

444 *Commercial connected flocks* had mixed species, large flock sizes, and long-time existing flocks with
445 the absence of following. Those practices were shown to be favourable to pathogens persistence and

446 their close connection to CPF could lead to their transmission (Ali, Rahman, & Sultana, 2015; Clothier,
447 Torain, & Reinl, 2019; Conan, Goutard, Sorn, & Vong, 2012; Derksen, Lampron, Hauck, Pitesky, &
448 Gallardo, 2018; Henning et al., 2009; Pauly et al., 2019; Swayne, 2020; Tablante et al., 1999; Van et
449 al., 2020). They could perfectly play the role of reservoir according to the Haydon definition (Haydon,
450 2002). Thus, *rural flocks* were considered as a medium-risk group with a specific concern for
451 *commercial connected flocks* representing a higher risk.

452 Concerning *urban flocks*, low prevalence levels could be explained by the fact they were recent (< 2
453 years-old existence), composed mainly of chickens and located in a low poultry density area with no
454 connection with CPF. In this group, identified risk factors for pathogen transmission were low
455 considering movements and poultry sites' densities. Some significant associations between age of the
456 flock and probability of AvP detection were shown in literature (Clothier et al., 2019; Van et al., 2020)
457 and could explain the lower prevalence in younger urban flocks (65% in urban flocks and 93-96% in
458 rural and commercial connected flocks). Most owners had gone to a veterinarian for their chickens in
459 the year prior to sampling. Consulting a veterinarian, variable identified as a protective factor regarding
460 AvP prevalence levels, could be a consequence of the current societal change encouraging the evolution
461 of layers as pet birds in a growing urban context. It showed a better individual healthcare (Elkhourabi,
462 Blatchford, Pitesky, & Mench, 2014; Garber, Hill, Rodriguez, Gregory, & Voelker, 2007;
463 Karabozhilova, Wieland, Alonso, Salonen, & Häsler, 2012; E. I. Smith et al., 2012; Yendell, Rubinoff,
464 Lauer, Bender, & Scheftel, 2012). Still, we observed that regular vet care did not result in better
465 biosecurity practices. To avoid pathogen introduction and ensure animal health, owners should
466 consider applying measures such as a quarantine for introduced birds, washing hand or wearing specific
467 clothes and/or shoes when visiting the coop, especially if related to other flocks. Somehow, the absence
468 of potential bridge hosts between CPF and *urban flocks* could made us consider this population as a
469 maintenance host showing lower risk for CPF contamination. They would even be dead-end host in the
470 case of adopting birds from CPF (Caron, Cappelle, Cumming, Garine-Wichatitsky, & Gaidet, 2015).

471 In the commercial sector, literature showed molecular prevalence were higher for NDV, IBV, IBV and
472 AIV concomitantly and lower for MG and MS compared to the backyard sector (Michiels et al., 2016;
473 Roussan, Haddad, & Khawaldeh, 2008) thus evoking the hypothesis of a relative tightness between the
474 2 compartments. Most prevalent pathogens identified in BPF were not commonly found enzootically
475 in the commercial industry and could thus be considered as an inherent feature of the backyard poultry
476 sector (De Boeck, 2015). However, pathogens such as non-persistent respiratory viruses that are wild
477 or vaccine strains of IBDV, NDV, and IBV commonly found in the commercial sector could circulate
478 into related BPF. Literature showed that chickens located near commercial poultry facilities were more
479 likely to have antibodies against ND, MG, AIV (Derksen et al., 2018; Souvestre et al., 2019). Viruses
480 circulation could induce respiratory chronic bacterial secondary (co-)infections in BPF such as AvP,
481 ORT, MS and the possible excretion of the latent ILTV (Derksen et al., 2018; Jones, 2010; Kleven et
482 al., 1972; Roussan et al., 2008).

483 Study flocks were considered as ‘not vaccinated’ since no information pertaining to vaccination was
484 available and considering that vaccination is rarely performed in backyard. Moreover, even in case of
485 past vaccinations, the “old” age of study birds in backyard flocks limits the risk of finding persistent
486 vaccine strains in the respiratory tract.

487 Considering multiple pathogens infection is important in the understanding of the maintenance of
488 pathogens within BPF, especially regarding *commercial connected BPF*. Positive interactions were
489 shown between MG/MS and AvP, ORT and ILTV thus underlining existing results (Blakey, Stoute,
490 Crossley, & Mete, 2019; Kleven, 1998; Mohamed, Moorhead, & Bohl, 1969; Zorman-Rojs, Zdovc,
491 Bencina, & Mrzel, 2000). Coinfection was frequent and mainly due to AvP, ORT, MS and E.coli.
492 When considering 2 pathogens only, coinfection was mainly due to AvP – ORT. Examples of
493 coinfection were studied in the commercial sector such as the association of *E.coli*, ORT, MG, AvP
494 and AIV showing additive and synergistic effect (Chu et al., 2017; Kishida, Sakoda, Eto, Sunaga, &
495 Kida, 2004; Pan et al., 2012; Sid, Hartmann, Petersen, Ryll, & Rautenschlein, 2016). Coinfection was

496 shown to increase pathogen persistence and shedding extension of other pathogens thus reinforcing the
497 potential role of maintenance host population (Sid, Benachour, & Rautenschlein, 2015; Sid et al.,
498 2016). Moreover, coinfections in BPF could easy AIV infection which could be a risk for related
499 commercial flocks (Kishida et al., 2004; Pan et al., 2012). In that way, *commercial connected BPF*
500 represent a particular risk for maintaining and transmitting pathogens to associated CPF.

501 Obtained data emphasize the need to consider respiratory pathogens and management practices in their
502 entirety. More specifically, the study highlights the importance of adapting biosecurity measures to
503 different clusters to ensure a better global and local health management of BPF as well as CPF. Going
504 deeper in molecular analysis at the BPF/CPF interface would allow strain differentiation and provide
505 more information concerning the pathway of contamination. From a public health perspective, zoonotic
506 and foodborne pathogens such as *Campylobacter* and *Salmonella* would be important to consider in
507 further studies.

508 **Acknowledgements**

509 This study was performed in the framework of the “*Chair for Avian Biosecurity*”, hosted by the
510 National Veterinary College of Toulouse and funded by the Direction Générale de l’Alimentation,
511 Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation, France. The authors wish to thank all the owners
512 having participated in the study and all the veterinarian students, especially Ezhvin Bellec, Vincent
513 Blondel, Bastien Pradel, Salomé Bruyant, for their implication in the project.

514 **Conflicts of interest**

515 Authors do not have conflict of interest about the findings from this study.

516 **Data Availability Statement**

517 The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon
518 reasonable request.

519

520 **References**

- 521 Ali, Md. Z., Rahman, Md. M., & Sultana, S. (2015). Seroprevalence of Mycoplasma gallisepticum
522 antibody by ELISA and serum plate agglutination test of laying chicken. *Veterinary World*, 8(1),
523 9-14. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.9-14>
- 524 Batista, I. A., Hoepers, P. G., Silva, M. F. B., Nunes, P. L. F., Diniz, D. C. A., Freitas, A. G., ...
525 Fonseca, B. B. (2020). Circulation of Major Respiratory Pathogens in Backyard Poultry and
526 their Association with Clinical Disease and Biosecurity. *Brazilian Journal of Poultry Science*,
527 22(1). <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1225>
- 528 Bavinck, V., Bouma, A., van Boven, M., Bos, M. E. H., Stassen, E., & Stegeman, J. A. (2009). The
529 role of backyard poultry flocks in the epidemic of highly pathogenic avian influenza virus
530 (H7N7) in the Netherlands in 2003. *Preventive Veterinary Medicine*, 88(4), 247 - 254.
531 <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2008.10.007>
- 532 Blackall, P. J., & Soriano-Vargas, E. (2019). Infectious Coryza and Related Bacterial Infections. In
533 *Diseases of Poultry* (p. 890 - 906). John Wiley & Sons, Ltd.
534 <https://doi.org/10.1002/9781119371199.ch20>
- 535 Blakey, J., Stoute, S., Crossley, B., & Mete, A. (2019). Retrospective analysis of infectious
536 laryngotracheitis in backyard chicken flocks in California, 2007-2017, and determination of
537 strain origin by partial ICP4 sequencing. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc.*,
538 31(3), 350-358. <https://doi.org/10.1177/1040638719843574>
- 540 Brochu, N. M., Guerin, M. T., Varga, C., Lillie, B. N., Brash, M. L., & Susta, L. (2019). A two-year
541 prospective study of small poultry flocks in Ontario, Canada, part 1 : Prevalence of viral and
542 bacterial pathogens. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 1040638719843577.
543 <https://doi.org/10.1177/1040638719843577>
- 544 Brown, L. D., Cai, T. T., & DasGupta, A. (2001). Interval Estimation for a Binomial Proportion.
545 *Statistical Science*, 16(2), 101-117.
- 546 Caron, A., Cappelle, J., Cumming, G. S., Garine-Wichatitsky, M. de, & Gaidet, N. (2015). Bridge
547 hosts, a missing link for disease ecology in multi-host systems. *Veterinary Research*, 46(1).
548 <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0217-9>
- 549 Chu, J., Zhang, Q., Zuo, Z., El-Ashram, S., Guo, Y., Zhao, P., ... Khan, A. (2017). Co-infection of
550 Chlamydia psittaci with H9N2, ORT and Aspergillus fumigatus contributes to severe pneumonia
551 and high mortality in SPF chickens. *Scientific Reports*, 7(1), 13997.
552 <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14519-1>
- 553 Clothier, K. A., Torain, A., & Reinl, S. (2019). Surveillance for Avibacterium paragallinarum in
554 autopsy cases of birds from small chicken flocks using a real-time PCR assay. *Journal of*

- 555 *Veterinary Diagnostic Investigation*, 31(3), 364 - 367.
556 <https://doi.org/10.1177/1040638719844297>
- 557 Conan, A., Goutard, F. L., Sorn, S., & Vong, S. (2012). Biosecurity measures for backyard poultry in
558 developing countries : A systematic review. *BMC Veterinary Research*, 8, 240.
559 <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-240>
- 560 Crespo, R., & Senties-Cue, G. (2015). Postmortem Survey of Disease Conditions in Backyard Poultry.
561 *Journal of Exotic Pet Medicine*, 24(2), 156- 163. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2015.04.003>
- 562 Croville, G., Foret, C., Heuillard, P., Senet, A., Delpont, M., Mouahid, M., ... Guerin, J.-L. (2018).
563 Disclosing respiratory co-infections : A broad-range panel assay for avian respiratory pathogens
564 on a nanofluidic PCR platform. *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A.*, 47(3), 253- 260.
565 <https://doi.org/10.1080/03079457.2018.1430891>
- 566 De Boeck, C. (2015). Longitudinal monitoring for respiratory pathogens in broiler chickens reveals co-
567 infection of *Chlamydia psittaci* and *Ornithobacterium rhinotracheale*. *Journal of Medical*
568 *Microbiology*, 64(5), 565-574.
- 569 Delpont, M., Blondel, V., Robertet, L., Duret, H., Guerin, J.-L., Vaillancourt, J.-P., & Paul, M. C.
570 (2018). Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France. *Preventive Veterinary*
571 *Medicine*, 158, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.07.012>
- 572 Derksen, T., Lampron, R., Hauck, R., Pitesky, M., & Gallardo, R. A. (2018). Biosecurity Assessment
573 and Seroprevalence of Respiratory Diseases in Backyard Poultry Flocks Located Close to and
574 Far from Commercial Premises. *Avian Diseases*, 62(1), 1- 5. [https://doi.org/10.1637/11672-](https://doi.org/10.1637/11672-050917-Reg.1)
575 [050917-Reg.1](https://doi.org/10.1637/11672-050917-Reg.1)
- 576 Donahue, J. G., Coleman, L. A., Bender, J., Kempf, D., Vandermause, M. F., McGraw, P. J., ...
577 Belongia, E. A. (2011). Prospective Study of Avian Influenza Infection in Backyard Poultry
578 Flocks and Flock Handlers in Wisconsin. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 11(9), 1293-
579 1297. <https://doi.org/10.1089/vbz.2010.0260>
- 580 Dunowska Magda. (2013). A survey of avian paramyxovirus type 1 infections among backyard poultry
581 in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*, 61(6), 316-322.
- 582 Elkhoraibi, C., Blatchford, R. A., Pitesky, M. E., & Mench, J. A. (2014). Backyard chickens in the
583 United States : A survey of flock owners. *Poultry Science*, 93(11), 2920 - 2931.
584 <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04154>
- 585 FAO. (2010). *Small commercial and family poultry production in France : Characteristics, and impact*
586 *of HPAI regulations by E. Fermet-Quinet and C. Bussière* (N° 3; p. 42). Rome.
- 587 Felice, V., Lupini, C., Mescolini, G., Silveira, F., Guerrini, A., Catelli, E., & Di Francesco, A. (2020).
588 Molecular detection and characterization of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma*

- 589 synoviae strains in backyard poultry in Italy. *Poultry Science*, 99(2), 719 - 724.
590 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.020>
- 591 Garber, L., Hill, G., Rodriguez, J., Gregory, G., & Voelker, L. (2007). Non-commercial poultry
592 industries : Surveys of backyard and gamefowl breeder flocks in the United States. *Preventive*
593 *Veterinary Medicine*, 80(2-3), 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.01.012>
- 594 Gharaibeh, S., & Hailat, A. (2011). Mycoplasma gallisepticum experimental infection and tissue
595 distribution in chickens, sparrows and pigeons. *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A*, 40(4),
596 349-354. <https://doi.org/10.1080/03079457.2011.582480>
- 597 Haesendonck, R., Verlinden, M., Devos, G., Michiels, T., Butaye, P., Haesebrouck, F., ... Martel, A.
598 (2014). High seroprevalence of respiratory pathogens in hobby poultry. *Avian Diseases*, 58(4),
599 623-627. <https://doi.org/10.1637/10870-052314-ResNote.1>
- 600 Haydon, D. T. (2002). Identifying Reservoirs of Infection : A Conceptual and Practical Challenge.
601 *Emerging Infectious Diseases*, 8(12), 1468-1473. <https://doi.org/10.3201/eid0812.010317>
- 602 Henning, K. A., Henning, J., Morton, J., Long, N. T., Ha, N. T., & Meers, J. (2009). Farm- and flock-
603 level risk factors associated with Highly Pathogenic Avian Influenza outbreaks on small holder
604 duck and chicken farms in the Mekong Delta of Viet Nam. *Preventive Veterinary Medicine*,
605 91(2), 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.05.027>
- 606 Hernandez-Divers, S. M., Villegas, P., Prieto, F., Unda, J. C., Stedman, N., Ritchie, B., ... Hernandez-
607 Divers, S. J. (2006). A Survey of Selected Avian Pathogens of Backyard Poultry in Northwestern
608 Ecuador. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 20(3), 147-158. [https://doi.org/10.1647/2005-](https://doi.org/10.1647/2005-015R.1)
609 015R.1
- 610 Jones, R. C. (2010). Viral respiratory diseases (ILT, aMPV infections, IB) : Are they ever under
611 control? *British Poultry Science*, 51(1), 1-11.
- 612 Jordan, F. T. (1972). The epidemiology of disease of multiple aetiology : The avian respiratory disease
613 complex. *Veterinary Record*, 90(20), 556-562. <https://doi.org/10.1136/vr.90.20.556>
- 614 Jordan, F. T. W. (1966). A Review of the Literature on Infectious Laryngotracheitis (ILT). *Avian*
615 *Diseases*, 10(1), 1-26.
- 616 Karabozhilova, I., Wieland, B., Alonso, S., Salonen, L., & Hässler, D. B. (2012). Backyard chicken
617 keeping in the Greater London Urban Area : Welfare status, biosecurity and disease control
618 issues. *British Poultry Science*, 53(4), 421-430. <https://doi.org/10.1080/00071668.2012.707309>
- 619 Kirkpatrick, N. C., Mahmoudian, A., Colson, C. A., Devlin, J. M., & Noormohammadi, A. H. (2006).
620 Relationship between mortality, clinical signs and tracheal pathology in infectious
621 laryngotracheitis. *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A*, 35(6), 449 - 453.
622 <https://doi.org/10.1080/03079450601028803>

- 623 Kishida, N., Sakoda, Y., Eto, M., Sunaga, Y., & Kida, H. (2004). Co-infection of *Staphylococcus*
624 *aureus* or *Haemophilus paragallinarum* exacerbates H9N2 influenza A virus infection in
625 chickens. *Archives of Virology*, *149*(11), 2095-2104. [https://doi.org/10.1007/s00705-004-0372-](https://doi.org/10.1007/s00705-004-0372-1)
626 1
- 627 Kleven, S. H. (1998). Mycoplasmas in the etiology of multifactorial respiratory disease. *Poultry*
628 *Science*, *77*(8), 1146-1149.
- 629 Kleven, S. H., King, D. D., & Anderson, D. P. (1972). Airsacculitis in broilers from *Mycoplasma*
630 *synoviae* : Effect on air-sac lesions of vaccinating with infectious bronchitis and Newcastle
631 virus. *Avian Diseases*, *16*(4), 915-924.
- 632 Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis. *Journal*
633 *of Statistical Software*, *25*(1), 1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- 634 Madsen, J. M., Zimmermann, N. G., Timmons, J., & Tablante, N. L. (2013a). Avian Influenza
635 Seroprevalence and Biosecurity Risk Factors in Maryland Backyard Poultry : A Cross-Sectional
636 Study. *PLoS ONE*, *8*(2), e56851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056851>
- 637 Madsen, J. M., Zimmermann, N. G., Timmons, J., & Tablante, N. L. (2013b). Evaluation of Maryland
638 Backyard Flocks and Biosecurity Practices. *Avian Diseases*, *57*(2), 233-237.
- 639 Madsen, J. M., Zimmermann, N. G., Timmons, J., & Tablante, N. L. (2013c). Prevalence and
640 Differentiation of Diseases in Maryland Backyard Flocks. *Avian Diseases*, *57*(3), 587-594.
641 <https://doi.org/10.1637/10423-101612-Reg.1>
- 642 McBride, M. D., Hird, D. W., Carpenter, T. E., Snipes, K. P., Danaye-Elmi, C., & Utterback, W. W.
643 (1991). Health Survey of Backyard Poultry and Other Avian Species Located within One Mile
644 of Commercial California Meat-Turkey Flocks. *Avian Diseases*, *35*(2), 403 - 407.
645 <https://doi.org/10.2307/1591198>
- 646 Mete, A., Giannitti, F., Barr, B., Woods, L., & Anderson, M. (2013). Causes of Mortality in Backyard
647 Chickens in Northern California : 2007–2011. *Avian Diseases*, *57*(2), 311 - 315.
648 <https://doi.org/10.1637/10382-092312-Case.1>
- 649 Michiels, T., Welby, S., Vanrobaeys, M., Quinet, C., Rouffaer, L., Lens, L., ... Butaye, P. (2016).
650 Prevalence of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* in commercial poultry,
651 racing pigeons and wild birds in Belgium. *Avian Pathology*, *45*(2), 244 - 252.
652 <https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1145354>
- 653 Mohamed, Y. S., Moorhead, P. D., & Bohl, E. H. (1969). Preliminary Observations on Possible
654 Synergism between Infectious Laryngotracheitis Virus and *Hemophilus gallinarum*. *Avian*
655 *Diseases*, *13*(1), 158-162. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/1588424>

- 656 Moretti, S. A., Boucher, C. E., & Bragg, R. R. (2013). Molecular characterisation of *Mycoplasma*
657 *gallisepticum* genotypes from chickens in Zimbabwe and South Africa. *South African Journal*
658 *of Science*, 109(11/12), 4-4. <https://doi.org/10.1590/sajs.2013/20130117>
- 659 Morishita, T. Y. (1996). Common Infectious Diseases in Backyard Chickens and Turkeys (from a
660 Private Practice Perspective). *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 10(1), 2-11.
- 661 Nakamura, K. (1994). Effect of mixed live vaccine (newcastle disease and infectious bronchitis) and
662 *Mycoplasma gallisepticum* on the chicken respiratory tract and on *Escherichia coli* infection.
663 *Journal of Comparative Pathology*, 111(1), 33 - 42. [https://doi.org/10.1016/S0021-](https://doi.org/10.1016/S0021-9975(05)80109-4)
664 [9975\(05\)80109-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9975(05)80109-4)
- 665 Nishiguchi, A., Kobayashi, S., Yamamoto, T., Ouchi, Y., Sugizaki, T., & Tsutsui, T. (2007). Risk
666 Factors for the Introduction of Avian Influenza Virus into Commercial Layer Chicken Farms
667 During the Outbreaks Caused by a Low-Pathogenic H5N2 Virus in Japan in 2005. *Zoonoses and*
668 *Public Health*, 54(9-10), 337-343. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2007.01074.x>
- 669 Pan, Q., Liu, A., Zhang, F., Ling, Y., Ou, C., Hou, N., & He, C. (2012). Co-infection of broilers with
670 *Ornithobacterium rhinotracheale* and H9N2 avian influenza virus. *BMC Veterinary Research*, 8.
671 <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-104>
- 672 Pauly, M., Snoeck, C. J., Phoutana, V., Keosengthong, A., Sausy, A., Khenkha, L., ... Muller, C. P.
673 (2019). Cross-species transmission of poultry pathogens in backyard farms : Ducks as carriers
674 of chicken viruses. *Avian Pathology*. (world). Consulté à l'adresse
675 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03079457.2019.1628919>
- 676 Pohjola, L., Tammiranta, N., Ek-Kommonen, C., Soveri, T., Hänninen, M. L., Fredriksson Ahomaa,
677 M., & Huovilainen, A. (2017a). A survey for selected avian viral pathogens in backyard chicken
678 farms in Finland. *Avian Pathology*, 46(2), 166 - 172.
679 <https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1232804>
- 680 Pohjola, L., Tammiranta, N., Ek-Kommonen, C., Soveri, T., Hänninen, M. L., Fredriksson Ahomaa,
681 M., & Huovilainen, A. (2017b). A survey for selected avian viral pathogens in backyard chicken
682 farms in Finland. *Avian Pathology*, 46(2), 166 - 172.
683 <https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1232804>
- 684 R Development Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna,
685 Austria: R Foundation for Statistical Computing. Consulté à l'adresse <http://www.R-project.org>
- 686 Reiczigel, J., Földi, J., & Ózsvári, L. (2010). Exact confidence limits for prevalence of a disease with
687 an imperfect diagnostic test. *Epidemiology and Infection*, 138(11), 1674 - 1678.
688 <https://doi.org/10.1017/S0950268810000385>

- 689 Rogan, W. J., & Gladen, B. (1978). Estimating prevalence from the results of a screening test.
690 *American Journal of Epidemiology*, 107(1), 71 - 76.
691 <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112510>
- 692 Roussan, D. A., Haddad, R., & Khawaldeh, G. (2008). Molecular survey of avian respiratory pathogens
693 in commercial broiler chicken flocks with respiratory diseases in Jordan. *Poultry Science*, 87(3),
694 444-448. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00415>
- 695 Schelling, E., Thur, B., Griot, C., & Audige, L. (1999). Epidemiological study of Newcastle disease in
696 backyard poultry and wild bird populations in Switzerland. *Avian Pathology*, 28(3), 263-272.
697 <https://doi.org/10.1080/03079459994759>
- 698 Sid, H., Benachour, K., & Rautenschlein, S. (2015). Co-infection with Multiple Respiratory Pathogens
699 Contributes to Increased Mortality Rates in Algerian Poultry Flocks. *Avian Diseases*, 59(3), 440
700 -446. <https://doi.org/10.1637/11063-031615-Case.1>
- 701 Sid, H., Hartmann, S., Petersen, H., Ryll, M., & Rautenschlein, S. (2016). *Mycoplasma gallisepticum*
702 modifies the pathogenesis of influenza A virus in the avian tracheal epithelium. *International*
703 *Journal of Medical Microbiology*, 306(3), 174-186. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2016.04.001>
- 704 Smith, E. I., Reif, J. S., Hill, A. E., Slota, K. E., Miller, R. S., Bjork, K. E., & Pabilonia, K. L. (2012).
705 Epidemiologic Characterization of Colorado Backyard Bird Flocks. *Avian Diseases*, 56(2), 263
706 -271. <https://doi.org/10.1637/9865-072811-Reg.1>
- 707 Smith, G., & Dunipace, S. (2011). How backyard poultry flocks influence the effort required to curtail
708 avian influenza epidemics in commercial poultry flocks. *Epidemics*, 3(2), 71 - 75.
709 <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2011.01.003>
- 710 Souvestre, M., Guinat, C., Niqueux, E., Robertet, L., Croville, G., Paul, M., ... Guérin, J.-L. (2019).
711 Role of Backyard Flocks in Transmission Dynamics of Highly Pathogenic Avian Influenza
712 A(H5N8) Clade 2.3.4.4, France, 2016-2017. *Emerging Infectious Diseases*, 25(3), 551-554.
713 <https://doi.org/10.3201/eid2503.181040>
- 714 Swayne, D. E. (2020). Multicausal Respiratory Diseases. In *Diseases of Poultry* (14^e éd., p. 1479).
715 Wiley Blackwell.
- 716 Tablante, N. L., Brunet, P. Y., Odor, E. M., Salem, M., Harter-Dennis, J. M., & Hueston, W. D. (1999).
717 Risk Factors Associated with Early Respiratory Disease Complex in Broiler Chickens. *Avian*
718 *Diseases*, 43(3), 424. <https://doi.org/10.2307/1592639>
- 719 Terregino, C., De Nardi, R., Guberti, V., Scremin, M., Raffini, E., Moreno Martin, A., ... Capua, I.
720 (2007). Active surveillance for avian influenza viruses in wild birds and backyard flocks in
721 Northern Italy during 2004 to 2006. *Avian Pathology*, 36(4), 337 - 344.
722 <https://doi.org/10.1080/03079450701488345>

- 723 Van, N. T. B., Yen, N. T. P., Nhung, N. T., Cuong, N. V., Kiet, B. T., Hoang, N. V., ... Carrique-Mas,
724 J. (2020). Characterization of viral, bacterial, and parasitic causes of disease in small-scale
725 chicken flocks in the Mekong Delta of Vietnam. *Poultry Science*, 99(2), 783 - 790.
726 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.033>
- 727 Vandekerchove, D., Herdt, P. D., Laevens, H., & Pasmans, F. (2004). Risk factors associated with
728 colibacillosis outbreaks in caged layer flocks. *Avian Pathology*, 33(3), 337 - 342.
729 <https://doi.org/10.1080/0307945042000220679>
- 730 Wetzel, A. N., Lefevre, K. M., & Raviv, Z. (2010). Revised *Mycoplasma synoviae* v1hA PCRs. *Avian*
731 *Diseases*, 54(4), 1292-1297. <https://doi.org/10.1637/9349-033010-ResNote.1>
- 732 Wunderwald, C., & Hoop, R. K. (2002). Serological monitoring of 40 Swiss fancy breed poultry flocks.
733 *Avian Pathology*, 31(2), 157-162. <https://doi.org/10.1080/03079450120118649>
- 734 Yee, T. (2010). The VGAM Package for Categorical Data Analysis. Consulté 15 septembre 2020, à
735 l'adresse [ResearchGate](https://www.researchgate.net/publication/46515756_The_VGAM_Package_for_Categorical_Data_Analysis) website:
736 [https://www.researchgate.net/publication/46515756_The_VGAM_Package_for_Categorical_D](https://www.researchgate.net/publication/46515756_The_VGAM_Package_for_Categorical_Data_Analysis)
737 [ata_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/46515756_The_VGAM_Package_for_Categorical_Data_Analysis)
- 738 Yendell, S. J., Rubinoff, I., Lauer, D. C., Bender, J. B., & Scheftel, J. M. (2012). Antibody Prevalence
739 of Low-Pathogenicity Avian Influenza and Evaluation of Management Practices in Minnesota
740 Backyard Poultry Flocks: Antibody Prevalence of Low-Pathogenicity Avian Influenza.
741 *Zoonoses and Public Health*, 59(2), 139 - 143. [https://doi.org/10.1111/j.1863-](https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2011.01427.x)
742 [2378.2011.01427.x](https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2011.01427.x)
- 743 Zheng, T., Adlam, B., Rawdon, T., Stanislawek, W., Cork, S., Hope, V., ... Huang, Q. (2010). A cross-
744 sectional survey of influenza A infection, and management practices in small rural backyard
745 poultry flocks in two regions of New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*, 58(2), 74-80.
746 <https://doi.org/10.1080/00480169.2010.65086>
- 747 Zorman-Rojs, O., Zdovc, I., Bencina, D., & Mrzel, I. (2000). Infection of turkeys with
748 *Ornithobacterium rhinotracheale* and *Mycoplasma synoviae*. *Avian Diseases*, 44(4), 1017-1022.
- 749
750

751 **Tables**752 **Table 1:** Prevalence of studied pathogens in 97 backyard poultry flocks.

Respiratory pathogen	Prevalence % [95% CI]	Mean Ct value [95% CI]
AvP	81.4 [72.6-87.9]	20.3 [19.6-20.9]
IBV	1.0 [0.2-5.6]	20.0 [single value]
E.coli	36.1 [27.2-46.0]	22.2 [21.1-23.4]
ILTV	29.9 [21.7-39.6]	20.0 [19.0-21.1]
MG	18.6 [12.1-27.4]	20.3 [19.2-21.4]
MS	63.9 [54.0-73.8]	20.2 [19.5-21.0]
ORT	75.3 [65.8-82.8]	20.7 [20.1-21.2]
Ba	0.0 [0.0-3.8]	--
IAA	4.1 [1.6-10.1]	23.2 [22.5-23.8]
Iah5	0.0 [0.0-3.8]	--
Iah6	0.0 [0.0-3.8]	--
Iah7	0.0 [0.0-3.8]	--
Iah9	0.0 [0.0-3.8]	--
aMPV	0.0 [0.0-3.8]	--
NDV	0.0 [0.0-3.8]	--
PM	3.1 [1.1-8.7]	21.7 [17.4-26.1]
Ra	4.1 [1.6-10.1]	22.5 [16.3-28.7]
<i>Chlamydia psittaci</i>	3.1 [1.1-8.7]	23.9 [22.8-25.1]

753

754 **Table 2.** Description of the three clusters of backyard flocks and associated variables revealed by

755 HCA (Hierarchical cluster analysis).

Variable	Cluster 1 (n=43)			Cluster 2 (n=26)			Cluster 3 (n=28)			Total (n=97)	
Description of backyard flocks											
	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%
Delimited free-range area	35	-	81	25	*	96	18	*	64	78	80
Covered free-range area	10	-	23	0	**	0	9	-	32	19	20
Covered alimentation	23	-	58	14	-	54	14	-	50	53	55
Flock size > 11	8	****	19	11	-	42	26	****	93	45	46
Mixed species	2	***	5	0	***	0	18	****	64	20	21
Age > 2 years old	31	**	72	22	-	85	28	**	100	81	84
Owners' characteristics and practices											
Hunter	8	-	19	10	-	39	7	-	25	25	26
Veterinarian consultation	19	****	44	1	**	4	3	-	11	23	24
Biosecurity	19	***	44	24	***	92	18	-	64	61	63
Changing practices	6	***	14	12	-	46	14	*	50	32	33
Commercial activity	0	***	0	5	-	19	8	**	29	13	13
Helping farmer	1	-	2	5	**	19	0	-	0	6	6
Introduction	24	-	56	25	****	96	15	-	54	64	66
Origin (live markets or shops)	5	-	12	9	**	35	2	-	7	16	17
Backyard flocks' environment											
BF proximity	41	**	95	14	****	54	24	-	86	79	81
CPF proximity	27	*	63	24	*	92	22	-	79	73	75
High population density	28	****	65	5	*	19	6	*	21	39	40
Low CPF density	32	****	74	6	**	23	10	-	36	48	50
Cohort 2	35	****	81	2	***	8	3	**	11	33	34

756 * CPF = Commercial poultry flock, BF = backyard poultry flock

757 **Table 3.** Categorical variables examined for association with AvP, ILT, mycoplasma, ORT and E.coli
758 positive flocks and associations results. Variables retained in the final model are in bold, Odd-ratios
759 (OR) and associated confidence intervals [95%CI] resulting from the model are presented in the third
760 column. Associated p-values are expressed by the following symbols: *** (p<0.001), ** (p<0.01), *
761 (p<0.05).

Pathogen	Outcome variables	OR [95%CI]
AvP	cohort	
	Duck	NS
	CPF_proximity	
	Veterinarian**	0.12 [0.03-0.41]
	Age	
	Introduction	
	nbgallus	
	Population_density	
	CPF_density	
	mycoplasma**	5.27 [1.59-19.39]
ORT		
ILT	Commercial_activity	
	mycoplasma*	3.16 [1.14-10.29]
mycoplasma	cohort	
	Veterinarian	
	Origin	
	nbgallus	
	Flock_size	
	Population_density	
	CPF_density	
	AvP**	5.30 [1.64-19.06]
	ILT*	4.28 [1.31-17.41]
	ORT**	5.25 [1.81-16.40]
ORT	BF_proximity	
	AvP	
	mycoplasma***	5.49 [2.09-15.30]
	CPF_density	
E.coli	nbgallus	
	Helping_farmer	NS

762 **Table 4.** Prevalence levels of respiratory pathogens for the three clusters of BPF revealed by HCA
763 (Hierarchical cluster analysis).

Variable	Cluster 1 (n=43)			Cluster 2 (n=26)			Cluster 3 (n=28)			Total (n=97)	
	n	p	%	n	p	%	n	p	%	n	%
Mycoplasma (MG/MS)	22	*	51	18	-	69	25	*	89	65	67
ILTV	15	-	35	7	-	27	7	-	25	29	30
AvP	28	***	65	25	-	96	26	***	93	79	81
E.coli	16	-	17	11	-	42	8	-	29	35	36
ORT	19	*	44	26	-	100	28	-	100	73	75
Respiratory coinfection*	21	*	49	18	-	69	22	*	79	61	63

764 *≥ 3 pathogens among AvP, ORT, MS, MG, ILT, E.coli

765

766 **Technical Appendix**767 **Table appendix 1:** Variables description and coding for univariate and multivariate analysis

768 according to the questionnaire.

769

Variable	Description	Proposed categories in the survey	Bimodal variable
Flock characteristics			
Delimitated free-range area	Delimitated free-range area	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Covered free-range area	Covered free-range area	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Covered alimentation	Covered alimentation area	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Flock size	Total number of layers, chickens, ducks and goose	Qualitative variable	< median (n=11)= 0 > median (n=11) = 1
Mixed species	Presence of duck and/or goose mixed with chickens	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Age	Chicken coop's age	< 2 years old [2-5]years [5-10]years [10-30]years >30 years	< 2 years old = 0 > 2 years old = 1
Owner's practices			
Hunter	Owner claiming hunting activities	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Veterinarian	Consulting a veterinarian for a chicken or the flock during the last year	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Biosecurity	Using specific shoes and washing hands before and after visiting the flock	Never/Sometimes (0) /Often/Always (1) The two variables were coded and summed	No= 0 Yes = 1
Changing practices	Applying at least one recommended biosecurity practice during the influenza epidemics according to regulation	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Commercial activity	Owner or assimilated (family member) working for the commercial poultry industry	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Helping farmer	Private owners helping commercial poultry farmers when needed	Never/Sometimes (0) /Often/Always (1)	No= 0 Yes = 1
Introduction	Introducing birds during the last year	Yes/No	No= 0 Yes = 1
Origin	Origin of birds introduced in the flock	- Directly from a professional - Directly from a hobbyist or private breeder - From live markets or pet shops	Directly from professional or private breeder = 0 From live markets or pet shops = 1
Geographic characteristics			
BF proximity	Backyard flock proximity according to the owner (estimated <1km)	Yes/No	No= 0 Yes = 1
CPF proximity	Commercial poultry farm proximity	Yes/No	No= 0

	according to the owner (estimated <1km)		Yes = 1
Population density	Density of population (/ha) for the geographic department	Calculated	< mean density = 1 > mean density = 0
CPF density	Density of commercial poultry farms (/ha) for the geographic department	Calculated	< mean density = 0 > mean density = 1
Sample	Cohort type	- Cohort 1 - Cohort 2	Cohort 2 = 0 Cohort 1 = 1

770

771 **Table appendix 2.** Seroprevalence and pathogen detection in BPF published in literature

Area	Analysis	Submission number	Scale	Pathogen prevalence (%) of flock or bird											Reference	
				AI	ND	IBV	ILTV	MG	MS	aMPV	AvP	E.Coli	ORT	PM		Chl.p
Ontario	PCR	134	Bird	0	-	39	15	23	36	-	-	-	-	-	-	(Brochu et al., 2019)
Finland	Serology /PCR	51	Flock	5.4	0	47/10*	12	-	-	-	-	-	-	-	-	(Pohjola et al., 2017b)
California, USA	Serology /PCR	41	Flock	12/0	77.5	75	46.3	70.7	75.6	-	-	-	97.5	-	-	(Derksen et al., 2018)
Flanders	Serology	460	Bird	-	-	75.6	30	36.7	76.3	63.5	-	-	95.4	-	-	(Haesendonck et al., 2014)
South Western Ecuador	Serology	10	Flock	-	97	85	-	73	68	-	-	-	-	-	-	(Hernandez-Divers et al., 2006)
Maryland, USA	Serology /PCR	39	Flock	23.1/0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(Madsen, Zimmermann, Timmons, & Tablante, 2013a)
Maryland, USA	Serology /PCR	39	Flock	-	23/0	-	77/26	13/3	-	-	-	-	-	-	-	(Madsen et al., 2013c)
Switzerland	Serology	28-40	Flock	37.5	17.6	92.5	64.3	82.5	-	-	-	-	-	-	-	(Wunderwald & Hoop, 2002)
California USA	PCR	292	Bird	-	-	-	-	-	-	-	29.5	-	-	-	-	(Clothier et al., 2019)
Mekong Delta, Vietnam	Serology /PCR	61	Flock	4.9	65.3/0	64/21.3	-	37.3/26.2	-	-	-/62.3	14.8	32/13.1	2.7/0	-	(Van et al., 2020)
California USA	Serology	30	Flock	0	30	47	-	38	63	-	-	-	-	-	-	(McBride et al., 1991)
New-Zealand	Serology /PCR	309	Bird	3.6/0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(Zheng et al., 2010)
Minnesota, USA	Serology	150	Flock	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(Yendell et al., 2012)
New-Zealand	Serology /PCR	19	Flock	-	95/0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(Dunowska Magda, 2013)
Switzerland	Serology	169	Flock	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(Schelling et al., 1999)
Italy	PCR	11	Flock	-	-	-	-	27.3	27.3	-	-	-	-	-	-	(Felice et al., 2020)
Italy	PCR	164	Flock	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(Terregino et al., 2007)
California,USA	Investigation	1225	Clinical cases	-	-	0.8	1	3.6	-	-	-	14	-	1.3	-	(Crespo & Senties-Cue, 2015)
California,USA	Investigation	1112	Clinical cases	-	-	-	-	5	-	-	-	9	-	1	-	(Mete, Giannitti, Barr, Woods, & Anderson, 2013)
Brazil	Serology	19	Flock	-	-	87.5	-	84.21	100	89.5	-	-	-	-	-	(Batista et al., 2020)

773 **Table appendix 3.** Number and percentage of flocks positive for specific respiratory coinfections.

Pathogen(s)	Number (percentage) of positive flocks
AvP-E.coli-ORT-MS	12(12.7%)
AvP-ORT-MS	12(12.7%)
AvP-ORT	9(9.3%)
AvP-ILT-ORT-MS	8(8.3%)
AvP-MG-ORT-MS	8(8.3%)
AvP	5(5.2%)
AvP-ORT-MS-E.coli-ILT	4(4.1%)
AvP-ORT-MS-MG-ILT	4(4.1%)
AvP-ORT-MS-E.coli-MG	4(4.1%)
ORT	3(3.1%)
MS-ORT	2(2.1%)
AvP-E.coli	2(2.1%)
ORT-E.coli	2(2.1%)
AvP-MS	2(2.1%)
AvP-ORT-E.coli	2(2.1%)
AvP-ORT-MS	2(2.1%)
AvP-ILT-MG-MS-ORT-E.coli	1(1%)
AvP-ILT-MG-MS	1(1%)
AvP-E.coli-ILT-MS	1(1%)
AvP-ILT-MG-ORT	1(1%)
ORT-E.coli-MS-ILT	1(1%)
AvP-E.coli-ORT-ILT	1(1%)
E.coli-ORT-MS	1(1%)
AvP-MG-ORT	1(1%)
AvP-MG-MS	1(1%)
AvP-ILT-MS	1(1%)
AvP-ILT-ORT	1(1%)
MG-ILT-ORT	1(1%)
E.coli-ILT	1(1%)
MS-ILT	1(1%)
AvP-ILT	1(1%)
E.coli	1(1%)
ILT	1(1%)

774

775

776 **Figures' title and legend**

777 **Figure 1:** Geographical repartition of sampled backyard flocks in France

778 **Figure 2.** Projection of backyard flocks and clusters on two dimensions. Main cluster characteristics
779 are shown on the graph.

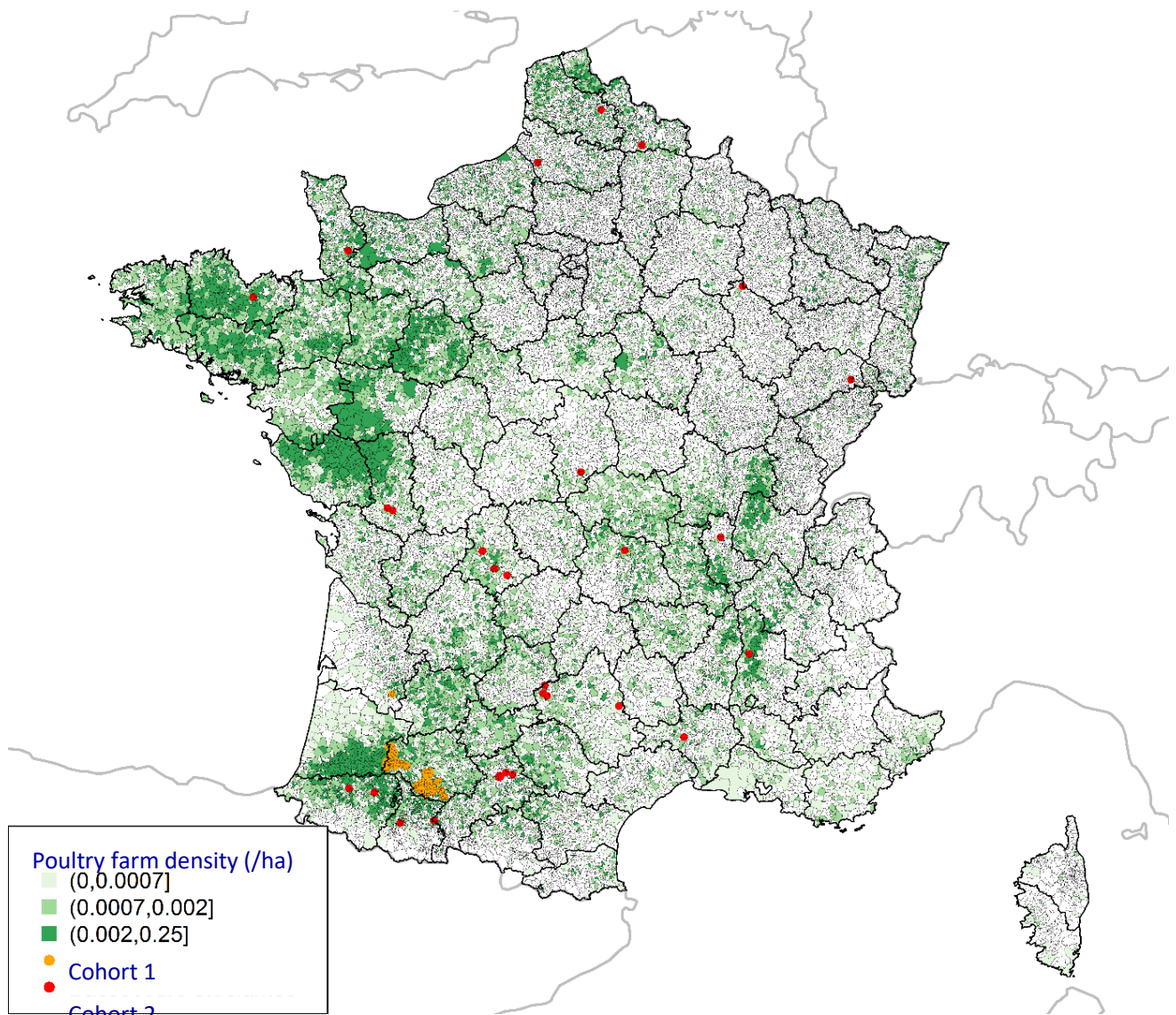
780 **Figure appendix 1:** Multiple correspondence analysis (MCA) plot for dimension 1 (Dim 1) and
781 dimension 2 (Dim 2) and variables contribution to their construction.

782 (*Dimension 1 is mainly defined by commercial activity=1, flock size=1, age=0, mixed species=1, changing practices=0,*
783 *veterinarian=1. Dimension 2 is mainly defined by helping farmer=1, duck=1, delimited_area=0, veterinarian=1,*
784 *biosecurity=0, introduction=0, hunter=1*). Explanatory variables are identified in red and optional variables in blue.

785

786 **Figures**

787 **Figure 1**

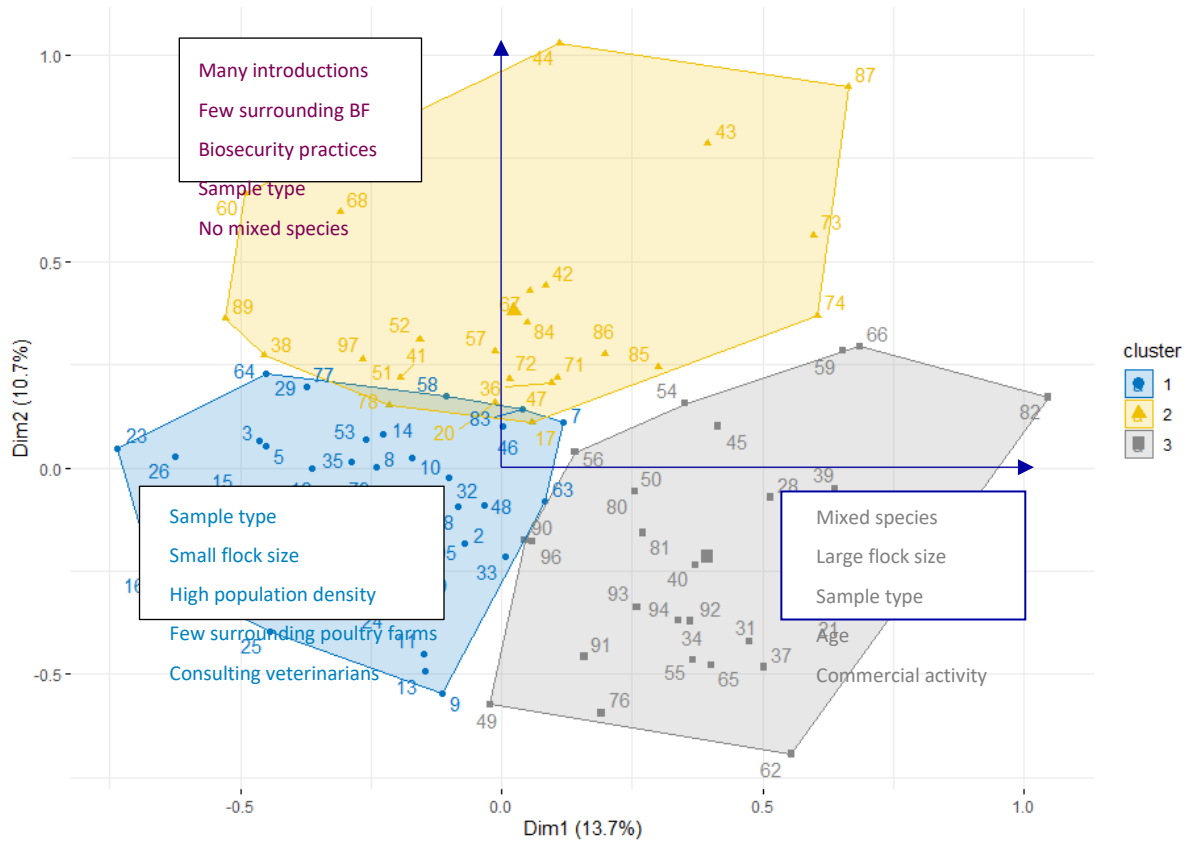


788

789

790

791 **Figure 2**
 792
 793

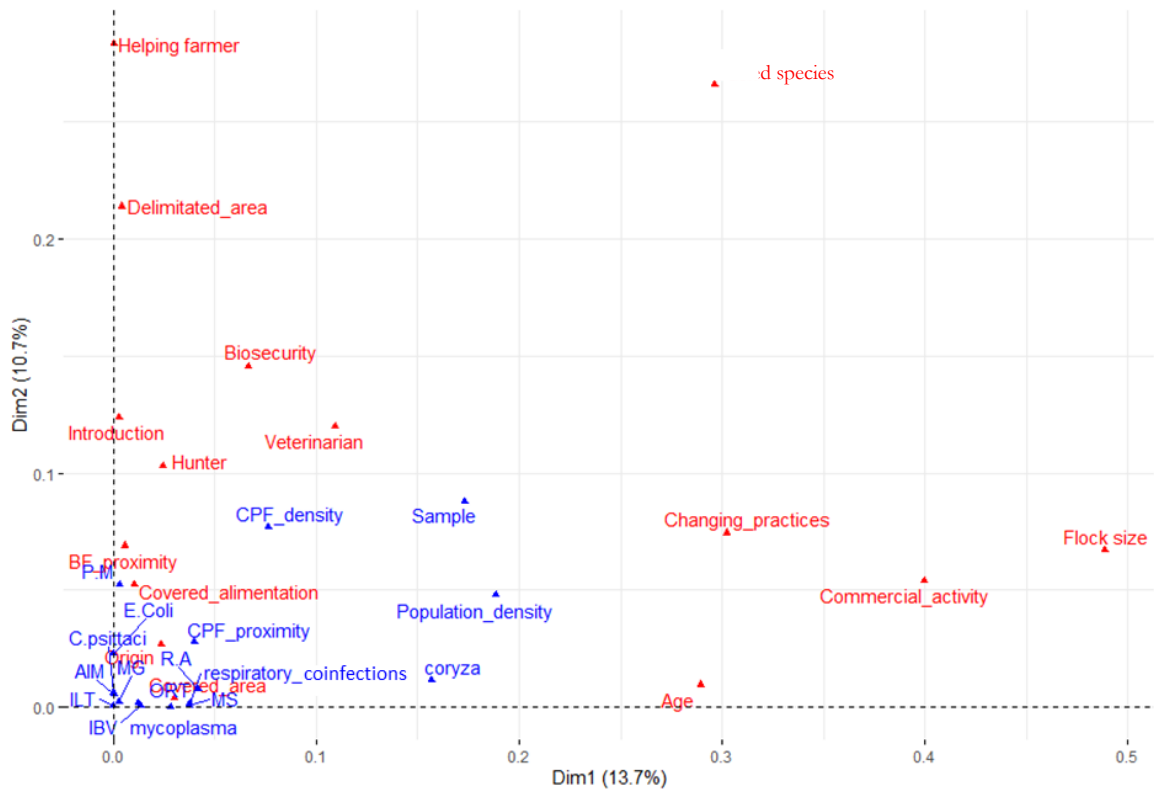


794

795 **Technical Appendix**

796 **Figure Appendix 1**

797



798

799

800 Discussion

801 Trois constats majeurs ont été obtenus sur la base de ces résultats. Tout d'abord, la présente étude est
802 la première à faire état des niveaux de prévalence d'agents pathogènes respiratoires dans la filière avicole
803 non commerciale française. Les résultats PCR ont montré des niveaux de prévalence très élevés pour AvP
804 (81%), ORT (75%) et MS (64%) ; relativement élevés pour *E.coli* (36%), ILTV (30%) et MG (19%) malgré
805 la quasi-absence de signes cliniques observés. Les autres agents recherchés par PCR n'ont pas été identifiés
806 dans l'échantillon étudié. Aussi, l'analyse des correspondances multiples (MCA) ainsi que le regroupement
807 hiérarchique (HCA) basé sur l'analyse des caractéristiques des élevages ont permis d'identifier trois
808 typologies différentes.

809 Dans la littérature, certaines analyses sérologiques suggéraient déjà des infections courantes par NDV,
810 IBV, ILTV, MG, MS et ORT dans le secteur familial (27,41,45,130,132,135,136,139), mais peu d'études de
811 détections moléculaires d'un large panel d'agents infectieux respiratoires ont été réalisées à ce jour, hormis
812 chez la dinde et dans quelques études de co-infections respiratoires chez le poulet de chair
813 (113,138,217,252–254). AvP fait peu partie des agents pathogènes recherchés, pourtant c'est celui dont la
814 prévalence est la plus élevée dans les basses-cours françaises. En effet, celle-ci était bien plus élevée que
815 dans les basses-cours californiennes et vietnamiennes (respectivement 29.5% et 62%) (131,138). Malgré les
816 niveaux de séroprévalence élevés décrits pour certains virus (NDV, IBV, VIA et aMPV), leur détection
817 moléculaire a été rare dans le contexte de l'étude et sur des animaux asymptomatiques (9,132,138). Une
818 approche sérologique permettrait de confirmer le statut sanitaire observé.

819 Des différences de prévalence pour les agents pathogènes respiratoires ont été observées entre le groupe
820 1 représenté majoritairement par des poulaillers de petits effectifs localisés en zone à faible densité avicole
821 et ne présentant pas de connexion à la filière avicole commerciale (« poulaillers urbains ») et les groupes 2
822 et 3 correspondant respectivement aux élevages familiaux, éleveurs de loisir et basses-cours traditionnelles.
823 En effet, les groupes 2 et 3 sont constitués de basses-cours et d'élevages à effectifs variables ou grands et
824 présentent une connexion géographique et/ou fonctionnelle avec les élevages avicoles commerciaux. Leur
825 localisation dans des zones à forte densité avicole et/ou leurs contacts directs ou indirects avec des élevages
826 commerciaux pourraient expliquer une augmentation de la prévalence des agents pathogènes respiratoires
827 en comparaison au groupe 1. De la même façon, mais pour des agents pathogènes différents, Derksen et
828 al., dans son étude montrent une prévalence supérieure pour NDV et MG dans les basses-cours à proximité
829 des élevages commerciaux (distance inférieure à quatre miles) en comparaison aux basses-cours plus
830 éloignées (132). Ces trois groupes identifiés viennent appuyer les résultats de l'article précédent (Partie 1)
831 qui identifiaient cinq groupes. Dans ce contexte, le groupe 1 regroupe ici les poulaillers urbains et ceux
832 d'étudiants et le groupe 3 regroupe les élevages familiaux et de loisir.

833 L'identification de populations d'élevages familiaux distinctes associées à des prévalences différentes
834 permettra d'adapter les stratégies de lutte contre les maladies, notamment en termes de besoins
835 diagnostiques, de vaccination et de mise en œuvre de mesures de biosécurité. Cela pourra se distinguer en
836 fonction de certains paramètres tels que : leur localisation (faible ou forte densité avicole), leur connexion
837 fonctionnelle aux élevages commerciaux, leur effectif, leur ancienneté et leur finalité. Néanmoins, on peut
838 se demander si les niveaux de prévalence relativement élevés observés dans cette étude suffisent pour
839 affirmer l'existence de transmissions effectives de ces agents aux élevages commerciaux ou à d'autres
840 élevages familiaux, par contact direct ou indirect. En effet, certains agents pathogènes peuvent être des
841 agents chroniques de syndrome respiratoire (AvP, ORT, MS, *E.Coli*, ILTV, MG) et leur détection n'est pas
842 toujours synonyme d'excrétion et donc de transmission. L'article présenté dans le chapitre suivant consiste
843 en une étude cinétique et mesure la potentialité de transmission de ces agents pathogènes lors de
844 l'introduction de poules naïves dans des élevages familiaux.

845

846 **CHAPITRE II : Étude de la contamination de poules naïves introduites dans des**
847 **poulaillers familiaux par des agents pathogènes respiratoires.**

848 **Introduction**

849 Dans les pays industrialisés, les principales raisons justifiant la détention d'élevages familiaux sont la
850 volonté d'une autonomie alimentaire, la sensibilisation des enfants du foyer à la réduction des déchets
851 organiques ainsi qu'à la relation à l'animal (185,255). En ville et en milieu périurbain, la population est de
852 plus en plus sensible au bien-être animal et il émerge une pratique qui se démocratise de plus en plus :
853 l'adoption (ou le sauvetage) des poules pondeuses provenant d'exploitations commerciales après leur
854 premier cycle de ponte et avant abattage. En effet, dans le secteur commercial, les poules pondeuses sont
855 élevées jusqu'à environ 70 semaines d'âge puis sont abattues, car les cycles de pontes suivants sont moins
856 productifs et la production ne devient alors plus viable économiquement, dans le système actuel.

857 Les flux de personnes et d'animaux participent à la transmission d'agents pathogènes. L'introduction
858 d'oiseaux au statut inconnu dans un élevage familial peut constituer un risque important d'introduction
859 d'agents infectieux. De la même manière, l'introduction d'animaux naïfs à certains agents pathogènes dans
860 un élevage où ils sont présents peut conduire à la contamination des animaux introduits et à l'apparition
861 de signes cliniques voire de mortalité (256).

862 L'objectif de l'article présenté ci-dessous a été d'évaluer le risque d'infection de poules de réforme
863 provenant d'un élevage naïf par différents agents pathogènes respiratoires (AvP, MS, ORT, MG, IBV),
864 après introduction dans des élevages familiaux. L'étude cinétique, étude du statut sanitaire avant
865 introduction (T0) et 6 mois après introduction (T6), a permis de mettre en évidence les niveaux de
866 contamination de ces poules naïves considérées comme « sentinelles ».

867 **Article 3**

868 **Adopting laying hens in backyard flocks: a survey of respiratory pathogens.**

869

870 **Title: Adopting laying hens in backyard flocks: a survey of respiratory pathogens.**

871 **Running title:** Adopting laying hens in backyard flocks: a survey.

872 **Authors :** Marie Souvestre¹, Luc Robertet¹, Lorenzo Manis¹, Marie-Claude Hygonenq¹, Pauline
873 Belloir², Claire Guinat¹, Christine Citti¹, Xavier Nouvel¹, Jean-Luc Guérin¹and Guillaume Le Loc'h¹

874 **Authors affiliation :**

875 ¹ Université de Toulouse, ENVT, INRAE, Chaire de Biosécurité Aviaire, 31076 Toulouse, France

876 ²Ecole d'Ingénieurs de Purpan 75, voie du Toec – BP 57611 31076 Toulouse

877 **Abstract**

878 One common practice of backyard poultry flocks (BPF) is to adopt laying hens from close commercial
879 premises. Layers from a pathogen-negative commercial farm were monitored after being introduced
880 into 28 existing BPF. Flocks' characteristics and pathogens prevalence were assessed using molecular
881 biology techniques for DNA detection at the time of introduction in BPF and six months later.
882 *Avibacterium paragallinarum* (AvP), *Mycoplasma synoviae* (MS), *Mycoplasma gallisepticum* (MG),
883 *Ornithobacterium Rhinotracheale* (ORT), *Escherichia coli* (E.coli), *Infectious bronchitis virus* (IBV),
884 *Infectious Laryngotracheitis virus* (ILTV), *Chlamydia* spp. (Chl.spp), *Chlamydia gallinacea* (Chl.g),
885 *Chlamydia psitacci* (Chl.p), *Avian metapneumovirus* (aMPV) and *Pasteurella Multocida* (PM) analysis
886 were performed. Commercial layers became respectively positive for AvP (32%), MS (39%), MG
887 (11%), ORT (21%) after their introduction in BPF. All layers were negative for Chl.spp, Chl.g, aMPV
888 and PM after six months. Median flock size was of 7 hens and 25% of BPF were flocks having less
889 than 2-year's old birds. The study showed specific agricultural practices in (sub)-urban areas as well
890 as diseases 'transmission from BPF to introduced free-pathogen layers.

891 **Key words:** Backyard poultry flock, health management, biosecurity practices, public health.

892

893 **Introduction**

894 The sector of non-commercial poultry flocks defined as backyard flocks in rural areas is an important
895 historical sector in France, keeping a “traditional” production with a great variety of domestic poultry
896 breeds. Despite those facts, very few data is available for this sector in France. One FAO report from
897 2010, showed backyard flocks always existed and were estimated to 1-10 percent of households, 1
898 million owners and as high as 40 million poultry (Eric Fermet-Quinet et Christine Bussière 2010). In
899 France, the backyard flocks industry is well known for its diversity and suppliers are numerous: hobby
900 breeders, live bird markets, pet shops, and professionals. In rural areas, having backyard flocks always
901 existed and close relation exists with commercial farms (Fiebig et al. 2009; Steenwinkel et al. 2011).
902 Since a few decades, many studies have shown an increase of non-commercial poultry flocks in
903 different countries such as USA and UK, especially in urban areas, thus showing new socio-ecological
904 trends and the will to build a more local and sustainable agriculture (Beam et al. 2013; Blecha et Leitner
905 2014; Karabozhilova et al. 2012). Worldwide, major motivations for owning layers and chickens are
906 mainly for providing their own food, for educating children about agriculture and for emotional reasons
907 (Anon 2009; Bailey et Larson 2013; Burns et al. 2013). People are getting more and more sensitive to
908 animal welfare in (sub)-urbans backgrounds and are choosing to adopt/rescue layers from commercial
909 farms before culling instead of buying them in pet-shops or on live bird markets. Although generally
910 not well known, health flock management is an important issue to consider to own animals (Correia-
911 Gomes et Sparks 2020; Madsen et al. 2013a). The recent urban trend of considering laying hens as pets
912 more than farm food-producing animals with frequent human-poultry interactions is source of
913 ambiguity for the owner regarding disease management (Blatchford 2018; Elkhoraibi et al. 2014;
914 McDonagh et al. 2019).

915 Indeed, having backyard poultry, even at small scale, can be a potential risk of foodborne, zoonotic
916 disease and antimicrobial resistant bacterial transmission from bird-to-bird and bird-to-human (Agunos
917 et al. 2016; Nhung, Chansiripornchai, et Carrique-Mas 2017). Several practices were shown to be at

918 risk regarding disease transmission such as bird introduction (Burns et al. 2011). Some other studies
919 considered backyard poultry flocks as pathogens reservoir for viral and bacterial diseases such as
920 colibacillosis, Avian influenza, Newcastle disease, Marek's disease and other respiratory pathogens
921 considered as commercial poultry health issues (Brochu et al. 2019; Haesendonck et al. 2014;
922 Hernandez-Divers et al. 2006; Madsen et al. 2013b; Pohjola et al. 2015, 2017). The current study
923 focused on the adoption of spent laying hens in backyard flocks, which is an increasing practice in sub-
924 urban areas. Flocks' characteristics and owners' practices were evaluated. The aim of the study was to
925 assess the risk of infection of free-pathogen birds considered as 'sentinels' after their introduction in
926 backyard flocks. Respiratory pathogens were monitored since they are one of the main causes of death
927 in backyard flocks (Smith et al. 2012).

928 **Material and methods**

929 *Sampling and participation*

930 Some commercial laying farms are getting more and more implicated in promoting animal welfare and
931 offer selling their layers to private flock owners at the end of their production cycle. A free-range layer
932 poultry unit belonging to the farm of the Engineering School of Purpan (Ecole d'Ingénieurs de
933 PURPAN, Toulouse, Haute-Garonne, France) having this habit was monitored at the end of one
934 production cycle. The 6000 - poultry unit belonged to a mixed crop/livestock farm spread on 218 ha of
935 land having also dairy cows. The farm was located in Seysses, in a sub-urban area (358 hab/km²) at 20
936 km of the city of Toulouse (Haute-Garonne department, South-West France). Selling layers to private
937 owners was a service offered by the farm since 3 years and mainly developed for economic reasons.
938 The farmer reported that this practice was an interesting alternative to culling and represented a
939 significant additional income compared to traditional transport to slaughter houses and processing
940 where layers are less valued. At the time of the study, the studied farm sold around one third of its
941 layers (around 2000 birds) to private owners before culling. For that, the commercial farm published
942 selling information on the internet. Interested owners came on the farm to buy hens during opening

943 hours: from 9 AM to 12 AM. Layers were distributed twice a week during 3 weeks.

944 In order to monitor the sanitary status of adopted layers, a first sample (T0) was performed on layers
945 prior to their adoption in October 2018 and a second sample was performed 6 months later (T6) within
946 host backyard flocks. At T0, 70 owners were asked for volunteering by our research team. Among
947 them, 14 refused participating and 56 accepted to participate and answered further questions such as
948 giving their identity, contact, the size of their actual flock and the number of adopted layers (Appendix
949 1). In total, the 56 willing participants recovered 601 layers for their personal backyard flock. For each
950 owner, adopted layers were identified individually up to 10 birds. At T0, 232 layers were identified
951 when leaving the farm. At T6, in March 2019, each of the 56 volunteers were phone-called in order to
952 plan a visit and sample adopted birds. Finally, 28 owners among 56 answered positively for an on-site
953 visit and accepted a sampling of the previously identified birds. At the time of visits, 147 individual
954 oro-pharyngeal swabs were collected. In addition, a survey of 31 questions was conducted in-person
955 by trained study team members at the time of sampling (T6) (Appendix 5). The sampled BPF were
956 located quite close to the commercial farm showing a local practice. BPF's locations are shown on
957 Figure 1.

958 ***DNA isolation and quantitative PCR***

959 E-swabs© (Copan Diagnostics, Murrieta, CA, USA) were collected by sampling oro-pharynx and
960 pooling of 30µL of liquid from five swabs was performed for each flock. One pool per flock was
961 analyzed and was used to determine the sanitary status of introduced layers. RNA and DNA were
962 extracted from each pool using the Nucleospin RNA virus kit (Macherey-Nagel, Düren, Germany)
963 following the manufacturer's instruction and were eluted in 50µL RNase-free water before storage at
964 -80°C. The commercial microfluidic-based PCR device, Biomark © 48.48 Dynamic Array developed
965 by the Fluidigm company (San Francisco, CA, USA) was used in order to screen 48 samples with 24
966 pathogen-specific PCR primers in duplicates (Appendix 2). Synthetis of cDNA was performed as
967 previously described by Croville et al. Additional primers described in previous studies were added to

968 the original respiratory panel (Croville et al. 2018). Those additional primers were validated by an *in*
969 *silico* analysis by BLASTN (Altschul et al. 1990) to check their specificity. They were then validated
970 by simplex real-time quantitative PCR with 480 Sybr I Master (Roche, Bâle, Suisse) in Lightcycler
971 480 (Roche, Basel, Switzerland). Primers validation, standard plasmid preparation and the use of the
972 Biomark platform were performed as previously described (Croville et al. 2018). Analysis was
973 performed for 23 targets corresponding to the 16 following pathogens : *Influenza A virus* (IAA), *Avian*
974 *metapneumovirus* A & B (aMPV), *Avian orthoavulavirus 1* (Newcastle Disease Virus (NDV)), IBV,
975 ILTV, *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* (MG & MS), *Bordetella avium* (Ba),
976 ORT, *Pasteurella multocida* (PM), *Riemerella anatipestifer* (RA), *Chlamydia* spp. (Chl. Spp),
977 *Chlamydia gallinacea* (CG), *Chlamydia psitacci* (CP), AvP and *Escherichia coli* (E.coli) belonging to
978 4 phylogenetic groups A, B1, B2 and D (Croville et al. 2018; Shamsi, Mardani, et Ownagh 2017).

979 ***Sample size evaluation at T0***

980 At T0, the sample size was calculated in order to ensure the MG negative status of the commercial
981 flock. Samples from five individuals were pooled for PCR detection and the dilution effect was
982 considered insignificant. MG estimated prevalence was of 1% (Kermorgant P. 1999), precision was
983 considered to be 5%, at a 95% confidence level and PCR test was considered to be 0.97 of sensibility
984 and sensitivity. Sample size was evaluated by using Epitools online calculator (Sergent 2018). Thus,
985 60 layers were sampled within the 6000 layers-flock. The status of the flock was determined by the
986 analysis of 12 pools of five birds. The threshold prevalence was of 7.5% for MG within the flock.

987 ***Diversity of Avibacterium paragallinarum strains***

988 A HPG-2 gene fragment was amplified by qPCR SYBR® Green. A sequencing was performed for
989 species-confirmation and strain discrimination from Biomark® positive BPF (Chen et al. 1996).
990 Simplex real-time quantitative PCR was performed using the 480 Sybr I Master mix (Roche, Bâle,
991 Suisse) and the Lightcycler 480 (Roche, Basel, Switzerland). The total reaction volume was of 20 µL
992 containing 10 µL SybrMix, 0.4 µL of each primer, 7.2 µL of water and 2 µL of sample. qPCR

993 conditions were the following : a preincubation at 95°C for 600s followed by 40 cycles of a 3-step
994 amplification (95°C for 10s, 60°C for 15s and 72°C for 15s), a melting (95°C for 10s, 65°C for 60s,
995 97°C for 1s) and a cooling at 37°C for 30s. A qPCR purification and Sanger sequencing was then
996 performed by Eurofins (Eurofins Genomics©, Luxembourg). Sequences' alignment was performed
997 using Bioedit® software and the ClustalW Multiple alignment tool. MEGA-X was then used to build
998 a phylogenetic tree according to Kumar and Tamura's likelihood method (Kumar et al. 2018; Tamura
999 et Nei 1993).

1000 ***Statistical analysis***

1001 Descriptive statistics were used to define BPF characteristics. Coding of variables is presented in
1002 Appendix 3. Associations between other relevant variables were tested using bivariate inferential
1003 statistics (Fisher's exact test) (Appendix 4). A multivariable logistic regression analysis was conducted
1004 to investigate factors statistically associated with the BPF infection status for pathogens. Explanatory
1005 variables with a p-value below 0.2 were selected to be included in multivariable logistic regressions.
1006 Pairwise collinearity was tested between all selected explanatory variables by computing Cohen's
1007 kappa coefficient and considered significant if the absolute value of the coefficient exceeded 0.7. For
1008 the multivariable regressions, stepwise backward elimination was performed and explanatory variables
1009 retained if statistically significant. Odds Ratios (ORs) with 95% confidence intervals were calculated
1010 for statistically significant associations. All analyses were performed using R statistical software
1011 (version 3.4.1).

1012 **Results**

1013 ***Prevalence of respiratory pathogens and co-infections***

1014 Among the 16-screened respiratory pathogens, the mostly found ones in BPF 6 months post-adoption
1015 were AvP, ILTV, E.coli, MS, ORT, MG and IBV with respectively 50% [33-67], 46% [28-66], 43%
1016 [25-63], 40% [22-60], 25% [11-45], 11% [3-30] and 4% [0-20] prevalence. Commercial layers were

1017 already positive for E.coli and ILTV before adoption. Layers were negative before and after adoption
1018 for other pathogens (Ba, IAA, aMPV, NDV, PM, Ra, Chl.spp., Chl.g and Chl.p) (Table 1). As shown
1019 in Table 1, 86% [66-95] of flocks were positive for at least one respiratory pathogen. Among infected
1020 flocks, 25% [11-47] of BPF showed infection to 1 single pathogen, while 75% [53-89] showed
1021 infections to 2, 3 and 4 respiratory pathogens. The most common pathogens in co-infections were AvP,
1022 ILTV, E.coli and MS.

1023 *Diversity of Avibacterium paragallinarum strains*

1024 Concerning AvP, 14 qPCR positive pools were further analyzed by sequencing HPG2 PCR products
1025 (Clothier, Torain, et Reinl 2019; Feberwee et al. 2019). The phylogenetic tree compares strains isolated
1026 from spent layers as well as isolates from commercial and backyard free range poultry flocks from a
1027 closely related department (Gers). The result showed a HPG2 diversity among the isolated sequences
1028 from spent layers, but sequences from spent layers did not cluster apart from other sequences obtained
1029 from other commercial and non-commercial different flocks (Figure 2).

1030 *Context and practices*

1031 **Owners' information.** A majority of flocks (61%) belonged to owners having more than 50 years old.
1032 Major professional activities represented were old-age pensioners (32%) and 'manager-own account –
1033 intermediate occupations' (32%). The three main reasons for adopting spent hens rather than buying
1034 them at markets or pet shops were their attractive price (32%), the motivation for offering them 'a
1035 second life' (32%) and the proximity of the commercial farm (18%). The information circulated thanks
1036 to relatives for a majority (57%), by social networks (18%) and by already informed customers (14%).
1037 Family flocks were recent installations for 25% of them (installation < 2 years old) (Appendix 5).

1038 **Flock characteristics and bird movements.** Before adoption, the median size for an already-existing
1039 family flock was of 4 laying hens (Appendix 1), the median number of adopted layers was of 6 laying
1040 hens per flock and after adoption, the median size family flock was of 10 layers [1-70]. BPF mainly

1041 consisted of laying hens (89%). It is interesting to notice that 32% of flocks (9/28) had no layers before
1042 adopting and 21% (6/28) introduced other layers during the 6 months period thus showing high bird
1043 introduction rates. 7% (2/28) of owners gave or sold birds from their flock during the last 6 months
1044 and the same proportion gathered or moved birds from their flock into another flock for a short period
1045 before reintegrating them into their own initial flock (for example for holidays). The main sources of
1046 supply described by owners, in order of importance, were pet stores (7%), poultry markets (14%),
1047 professionals (32%) and hobby breeders/private owners (46%). A majority of owners bought layers
1048 from commercial units at the end of their production cycle (50%) but 18% also bought ready-to-lay
1049 hens and a few bought chicks or embryonated eggs to maintain the chicken population (11%).

1050 ***Risk factors associated to AvP, MS, ORT, and respiratory coinfections***

1051 Risk factors were analyzed regarding the variables AvP, MS, ORT and the variable ‘coinfection’
1052 defined by a multipathogen infection due to at least 2 pathogens among AvP, MS, MG, ORT, E.coli,
1053 ILTV and IBV (Table 2). The multivariable logistic regression showed significant associations for
1054 outcome variables ‘coinfection’, AvP and MS. Free-pathogen layers from older BPF were more likely
1055 to be infected with AvP (OR 12.01, 95% CI [1.37-348.26], p=0.057) and MS (OR 13.76, 95% CI [1.35-
1056 502.12], p=0.062). Also, owners having introduced other layers during the 6 months period showed to
1057 be at a higher risk of infection with AvP and MS than owners who did not introduce any other birds
1058 (respectively OR 24.86, 95% CI [2.02-1186.59], p=0.037 and OR 17.78, 95% CI [1.10-916.18],
1059 p=0.063). Older and bigger flocks were associated to higher risks of co-infection. Bigger flocks were
1060 13.3 [1.69-285.33] times more likely to be coinfecting than smaller ones (p=0.030). Even though, not
1061 clearly significant, the source of purchased birds and the installation of feeders for wild avifauna were
1062 also a concern regarding a potential infection of layers with MS (respectively OR 14.46, 95% CI [1.21-
1063 500.82], p=0.062, OR 12.66, 95% CI [1.21-470.18], p=0.073).

1064 **Discussion**

1065 The current study highlighted the contamination of commercial free-pathogen layers for AvP, ORT,

1066 MS and MG when introduced in asymptomatic BPF. It showed that birds from private owners could
1067 play a role of reservoir and were responsible for pathogens transmission to introduced naïve birds. The
1068 most two widespread pathogens were AvP (50%) and MS (40%). AvP was highly prevalent in
1069 comparison to another molecular performed in California (29.5%) (Clothier et al. 2019). However,
1070 results were close from a study realized in Vietnam and showing a prevalence level of 62.3% of flocks
1071 by PCR (Van et al. 2020). MS prevalence was close to PCR detection in BPF in Ontario, Canada (36%)
1072 (Brochu et al. 2019) and higher in comparison to Italy (Felice et al. 2020). Serological screening
1073 showed higher prevalence in comparison to molecular detection within BPF with 63-100% of positive
1074 flocks depending on the study (Batista et al. 2013; Derksen et al. 2018; Felice et al. 2020; Haesendonck
1075 et al. 2014; Hernandez-Divers et al. 2006; McBride et al. 1991). Regarding ORT, results were similar
1076 to one study realized in Vietnam showing 13.1% of positive flocks by PCR screening (Van et al. 2020).
1077 The study showed a majority of multiple infections, 75% of BPF were positive to more than one-single
1078 pathogen, compared to 47.5% of backyard flocks in Vietnam (Van et al. 2020). AvP, ILTV, E.coli and
1079 MS mainly characterized co-infections. Literature showed that AvP and MS were not very resistant in
1080 the environment, favoring the hypothesis of bird-to-bird transmission and contamination by healthy
1081 carriers (Swayne 2020). Indeed, some pathogens such as AvP, MS, ILTV showing chronic persistence
1082 after infection could lead to asymptomatic transmission to other birds of the flock under certain
1083 circumstances (environment, bird genetics, pathogen virulence). Transmission would be different for
1084 pathogens such as IBV, aMPV, avian influenza or Newcastle disease viruses which are eliminated
1085 rapidly after bird infection (death of infected birds, development of a specific immunity) (Bataille et
1086 al. 2011). Non-persistent pathogen circulation depends on flock size and bird density and would be
1087 consequently lower in small flocks of low bird density (Gupta et al. 2021).

1088 Conclusions could not be drawn for ILTV and E.coli because they were already identified at T0 in the
1089 commercial flock. For ILTV, the positive status of the commercial flock could be explained by a
1090 vaccination with an ILTV-live attenuated vaccine in the first weeks of life. Nevertheless, qPCR results

1091 for ILTV showed low cycle threshold values (27-32) on 4 out of 12 pools, which argued preferentially
1092 in favor of the circulation of wild type strains rather than residual vaccinal strains at 64 weeks age. For
1093 E.coli, the commercial flock was not vaccinated against any E.coli subtype. ILTV and E.coli were also
1094 highly prevalent in screened birds at T6 (respectively 46% and 43%). Those results highlight the
1095 hypothesis of a possible contamination of BPF for E.coli and ILTV from positive commercial layers
1096 introductions. Regarding other pathogens, one limitation to our study could be the method used for
1097 determination of the health status of the flock at T0. Indeed, the negative health status of commercial
1098 layers was an estimated flock status and not an individual screening of the birds prior to their adoption.
1099 It meant that if a pathogen circulated within the flock at a prevalence inferior to the estimated
1100 prevalence level, the determined health status could be falsely negative.

1101 Flocks existing for more than 10 years and with a high bird effective showed more respiratory
1102 coinfections to several pathogens, which was in line with other studies (Van et al. 2020) (Souvestre#2).
1103 In addition, AvP, MS and respiratory coinfections with persistent pathogens were significantly more
1104 prevalent in older flocks. AvP prevalence increased with the size and age of the flock and MS
1105 prevalence with the size of the flock. Several hypothesis could explain these results. Indeed, an
1106 increased flock size and a historically older coop and/or flock could present different environmental
1107 conditions compared to younger/smaller flocks: higher animal density, older material or coop harder
1108 to clean or disinfect and a well-settled ecosystem. In addition, literature showed a significant
1109 association between age of the flock and probability of detection of AvP suggesting increased
1110 susceptibility of older birds or chronic, long-term infections in the presence of older carrier birds
1111 (Blackall et Soriano-Vargas E 2020; Van et al. 2020). One of the well-known characteristic of BPF is
1112 the lack of fallowing and the absence of commercial ‘all-in all-out’ practices as described by several
1113 studies (Burns et al. 2011; Elkhoraibi et al. 2014; Karabozhilova et al. 2012). Those characteristics lead
1114 to the maintenance of persistent pathogens from bird-to-bird for years and recurrent contamination of

1115 newly introduced birds in backyard flocks. BPF would have their own “respiratory flora” maintained
1116 by long-lasting birds and keep it at constant levels of pathogen-infection through years.
1117 Introduction of pathogens within BPF can be due to the introduction of diseased or carrier birds, the
1118 use of contaminated material, potential contact with wild birds (direct or indirect transmission) and
1119 indirect transmission by humans during visits of concerned flocks. The study mainly focused on bird
1120 introduction but could not exclude other transmission pathways. Current results highlight that
1121 maintaining the population in family flocks meant regular introductions and a high bird turnover,
1122 mainly because of predation. Indeed, predation (mainly foxes) was confirmed as the major cause of
1123 mortality in family flocks by Madsen et al., in Maryland (Madsen et al. 2013a). Moreover, the
1124 sequencing of the partial gene HPG2 of AvP in all positive flocks showed different possible sources of
1125 contamination. Indeed, it showed differences between studied BPF and some similarity to strains
1126 isolated from other commercial or non-commercial flocks AvP (Figure 2). Thus, it seems that health
1127 of the BPF mainly depends on the health status of introduced birds, independently of the presence of
1128 clinical signs. Indeed, asymptomatic infected bird introduced from infected commercial farms, pet
1129 shops, private breeders and friends could be a main source of disease transmission. Indeed, conditions
1130 of birds introduction (frequency and number of birds introduced) relatively to the number of birds
1131 present in the flock could play a role in pathogens transmission.

1132 Among 28 BPF, nine of them had no other birds than the adopted layers at T0. On one hand, six out of
1133 nine did not introduce any other bird during the T0-T6 period and did not show any infection at T6.
1134 On the other hand, the three lasting flocks did. The owners of the three positive flocks claimed to have
1135 close contact to other birds or to have introduced other birds during the T0-T6 period. Indeed, one of
1136 them mixed its birds with birds from another flock before taking them back (thus leading to AvP and
1137 MS infection). The second flock showed the presence of IBV despite no bird introduction or contact,
1138 but the owner declared working on a commercial poultry farm, which was positive for IBV. Finally,
1139 the last owner introduced other birds from a professional hobby poultry breeder during the monitoring

1140 period and birds became positive for AvP and MG at T6. The BPF IBV positive was the only one
1141 positive in the sample and showed an indirect human link to a commercial farm. This emphasizes on
1142 the risk represented by humans for disease transmission (Fiebig et al. 2009; Souvestre et al. 2019;
1143 Steenwinkel et al. 2011).

1144 The implementation of biosecurity measures, owner's access to information and their sensibilisation
1145 by veterinarians are essential keys to avoid disease transmission within the poultry sector. Indeed, the
1146 lack of knowledge about diseases, vaccinations, biosecurity practices that were glimpsed in this study
1147 and highlighted by other studies is a risk factor regarding poultry health (Brinkley, Kingsley, et Mench
1148 2018; Burns et al. 2011; Correia-Gomes et Sparks 2020; Madsen et al. 2013a; Mainali et Houston 2016;
1149 Pohjola et al. 2015). Indeed, education is essential for BPF owners in order to limit the risks of pathogen
1150 transmissions among BPF, from bird-to-human, human-to-bird and from BPF to commercial farms.
1151 Proactive and adapted biosecurity measures should be available for owners and owners should be
1152 convinced of their efficacy regarding human and animal health in order to ensure the implementation
1153 of such measures. Considering bird introduction, one way to prevent contaminations would be to test
1154 birds at introduction and manage bird introduction consequently. If testing is not possible, a quarantine
1155 of 30 days at introduction can be an easy measure to implement (Smith et al. 2012). Deeper molecular
1156 sequencing of pathogens isolated from BPF would help us identify transmission pathways and potential
1157 exposures leading to more adapted biosecurity advices. The confirmation of strain homology among
1158 farms would need other molecular approaches such as MLST or whole genome sequencing (Bisgaard
1159 et al. 2012; Requena et al. 2013).

1160 **Acknowledgements**

1161 The authors wish to thank all the owners participating to the study.

1162 **Conflicts of interest**

1163 Authors do not have conflict of interest about the findings from this study.

1164 **References**

- 1165 Agunos, Agnes, F. William Pierson, Bwalya Lungu, Patricia A. Dunn, et Nathaniel Tablante. 2016.
1166 « Review of Nonfoodborne Zoonotic and Potentially Zoonotic Poultry Diseases ». *Avian*
1167 *Diseases* 60(3):553-75. doi: 10.1637/11413-032416-Review.1.
- 1168 Altschul, S. F., W. Gish, W. Miller, E. W. Myers, et D. J. Lipman. 1990. « Basic Local Alignment
1169 Search Tool ». *Journal of Molecular Biology* 215(3):403 - 10. doi: 10.1016/S0022-
1170 2836(05)80360-2.
- 1171 Anon. 2009. « Report of the meeting of the OIE terrestrial animal health standards commission. » 2009.
- 1172 Bailey, Tanya, et Jean Larson. 2013. « Backyard Poultry: Implications for Public Health and Safety ». *Food Policy Research Center*. doi: <https://hdl.handle.net/11299/157625>.
- 1174 Bataille, Arnaud, Frank van der Meer, Arjan Stegeman, et Guus Koch. 2011. « Evolutionary Analysis
1175 of Inter-Farm Transmission Dynamics in a Highly Pathogenic Avian Influenza Epidemic ». *PLOS Pathogens* 7(6):e1002094. doi: 10.1371/journal.ppat.1002094.
- 1177 Batista, Diego Felipe Alves, Oliveira Caetano de Freitas Neto, Priscila Diniz Lopes, Adriana Maria
1178 de Almeida, Paul Andrew Barrow, et Angelo Berchieri. 2013. « Polymerase Chain Reaction
1179 Assay Based on *RatA* Gene Allows Differentiation between *Salmonella Enterica* Subsp.
1180 *Enterica* Serovar Gallinarum Biovars Gallinarum and Pullorum ». *Journal of Veterinary*
1181 *Diagnostic Investigation* 25(2):259-62. doi: 10.1177/1040638713479361.
- 1182 Beam, A., L. Garber, J. Sakugawa, et C. Koprak. 2013. « Salmonella awareness and related
1183 management practices in U.S. urban backyard chicken flocks ». *Preventive Veterinary Medicine*
1184 110(3):481-88. doi: 10.1016/j.prevetmed.2012.12.004.
- 1185 Bisgaard, M., N. Nørskov-Lauritsen, S. J. de Wit, C. Hess, et H. Christensen. 2012. « Multilocus
1186 Sequence Phylogenetic Analysis of Avibacterium ». *Microbiology* 158(4):993 - 1004. doi:
1187 10.1099/mic.0.054429-0.
- 1188 Blackall, P. J., et E. Soriano-Vargas E. 2020. « Infectious Coryza and Related Bacterial Infections ».
1189 P. 890-900 in *Diseases of poultry*. Wiley Blackwell.
- 1190 Blatchford, Richard A. 2018. « 16 - Backyard Flock Production ». P. 339-50 in *Advances in Poultry*
1191 *Welfare, Food Science, Technology and Nutrition*, édité par J. A. Mench. Woodhead Publishing.
- 1192 Blecha, Jennifer, et Helga Leitner. 2014. « Reimagining the Food System, the Economy, and Urban
1193 Life: New Urban Chicken-Keepers in US Cities ». *Urban Geography* 35(1):86 - 108. doi:
1194 10.1080/02723638.2013.845999.
- 1195 Brinkley, Catherine, Jacqueline Scarlett Kingsley, et Joy Mench. 2018. « A Method for Guarding
1196 Animal Welfare and Public Health: Tracking the Rise of Backyard Poultry Ordinances ». *Journal of Community Health* 43(4):639-46. doi: 10.1007/s10900-017-0462-0.
-

- 1198 Brochu, Nancy M., Michele T. Guerin, Csaba Varga, Brandon N. Lillie, Marina L. Brash, et Leonardo
1199 Susta. 2019. « A Two-Year Prospective Study of Small Poultry Flocks in Ontario, Canada, Part
1200 1: Prevalence of Viral and Bacterial Pathogens ». *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*
1201 1040638719843577. doi: 10.1177/1040638719843577.
- 1202 Burns, Theresa E., David Kelton, Carl Ribble, et Craig Stephen. 2011. « Preliminary Investigation of
1203 Bird and Human Movements and Disease-Management Practices in Noncommercial Poultry
1204 Flocks in Southwestern British Columbia ». *Avian Diseases* 55(3):350-57. doi: 10.1637/9646-
1205 010411-Reg.1.
- 1206 Burns, Theresa Ellen, Carl Ribble, Melissa McLaws, David Kelton, et Craig Stephen. 2013.
1207 « Perspectives of an underrepresented stakeholder group, backyard flock owners, on poultry
1208 health and avian influenza control ». *Journal of Risk Research* 16(2):245 - 60. doi:
1209 10.1080/13669877.2012.726244.
- 1210 Chen, X., J. K. Miflin, P. Zhang, et P. J. Blackall. 1996. « Development and Application of DNA
1211 Probes and PCR Tests for *Haemophilus Paragallinarum* ». *Avian Diseases* 40(2):398-407.
- 1212 Clothier, Kristin A., Andrea Torain, et Steve Reinl. 2019. « Surveillance for *Avibacterium*
1213 *Paragallinarum* in Autopsy Cases of Birds from Small Chicken Flocks Using a Real-Time PCR
1214 Assay ». *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 104063871984429. doi:
1215 10.1177/1040638719844297.
- 1216 Correia-Gomes, Carla, et Nick Sparks. 2020. « Exploring the Attitudes of Backyard Poultry Keepers
1217 to Health and Biosecurity ». *Preventive Veterinary Medicine* 174:104812. doi:
1218 10.1016/j.prevetmed.2019.104812.
- 1219 Croville, Guillaume, Charlotte Foret, Pauline Heuillard, Alexis Senet, Mattias Delpont, Mohammed
1220 Mouahid, Mariette F. Ducatez, Faouzi Kichou, et Jean-Luc Guerin. 2018. « Disclosing
1221 Respiratory Co-Infections: A Broad-Range Panel Assay for Avian Respiratory Pathogens on a
1222 Nanofluidic PCR Platform ». *Avian Pathology: Journal of the W.V.P.A* 47(3):253 - 60. doi:
1223 10.1080/03079457.2018.1430891.
- 1224 Derksen, T., R. Lampron, R. Hauck, M. Pitesky, et R. A. Gallardo. 2018. « Biosecurity Assessment
1225 and Seroprevalence of Respiratory Diseases in Backyard Poultry Flocks Located Close to and
1226 Far from Commercial Premises ». *Avian Diseases* 62(1):1 - 5. doi: 10.1637/11672-050917-
1227 Reg.1.
- 1228 Elkhoraibi, C., R. A. Blatchford, M. E. Pitesky, et J. A. Mench. 2014. « Backyard Chickens in the
1229 United States: A Survey of Flock Owners ». *Poultry Science* 93(11):2920 - 31. doi:
1230 10.3382/ps.2014-04154.
- 1231 Eric Fermet-Quinet et Christine Bussière. 2010. *Small commercial and family poultry production in*
1232 *France: characteristics, and impact of HPAI regulations*. Rome.

- 1233 Feberwee, Anneke, Remco Dijkman, Rianne Buter, Edgardo Soriano-Vargas, Vladimir Morales-
1234 Erasto, Annet Heuvelink, Teun Fabri, Ruth Bouwstra, et Sjaak de Wit. 2019. « Identification
1235 and Characterization of Dutch *Avibacterium Paragallinarum* Isolates and the Implications for
1236 Diagnostics ». *Avian Pathology* 48(6):549-56. doi: 10.1080/03079457.2019.1641178.
- 1237 Felice, Viviana, Caterina Lupini, Giulia Mescolini, Flavio Silveira, Alessandro Guerrini, Elena Catelli,
1238 et Antonietta Di Francesco. 2020. « Molecular Detection and Characterization of *Mycoplasma*
1239 *Gallisepticum* and *Mycoplasma Synoviae* Strains in Backyard Poultry in Italy ». *Poultry Science*
1240 99(2):719-24. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.020.
- 1241 Fiebig, Lena, Timo Smieszek, Jennifer Saurina, Jan Hattendorf, et Jakob Zinsstag. 2009. « Contacts
1242 between Poultry Farms, Their Spatial Dimension and Their Relevance for Avian Influenza
1243 Preparedness ». *Geospatial Health* 4(1):79. doi: 10.4081/gh.2009.212.
- 1244 Gupta, Suman Das, Md Ahasanul Hoque, Guillaume Fournié, et Joerg Henning. 2021. « Patterns of
1245 Avian Influenza A (H5) and A (H9) Virus Infection in Backyard, Commercial Broiler and Layer
1246 Chicken Farms in Bangladesh ». *Transboundary and Emerging Diseases* 68(1):137-51. doi:
1247 <https://doi.org/10.1111/tbed.13657>.
- 1248 Haesendonck, R., M. Verlinden, G. Devos, T. Michiels, P. Butaye, F. Haesebrouck, F. Pasmans, et A.
1249 Martel. 2014. « High Seroprevalence of Respiratory Pathogens in Hobby Poultry ». *Avian*
1250 *Diseases* 58(4):623-27. doi: 10.1637/10870-052314-ResNote.1.
- 1251 Hernandez-Divers, Sonia M., Pedro Villegas, Francisco Prieto, Juan Carlos Unda, Nancy Stedman,
1252 Branson Ritchie, Ron Carroll, et Stephen J. Hernandez-Divers. 2006. « A Survey of Selected
1253 Avian Pathogens of Backyard Poultry in Northwestern Ecuador ». *Journal of Avian Medicine*
1254 *and Surgery* 20(3):147-58. doi: 10.1647/2005-015R.1.
- 1255 Karabozhilova, I., B. Wieland, S. Alonso, L. Salonen, et Dr B. Häsler. 2012. « Backyard chicken
1256 keeping in the Greater London Urban Area: welfare status, biosecurity and disease control
1257 issues ». *British Poultry Science* 53(4):421-30. doi: 10.1080/00071668.2012.707309.
- 1258 Kermorgant P. 1999. « Les mycoplasmoses aviaires: enquête sérologique réalisée en Bretagne en
1259 1998 ». Thèse de docteur vétérinaire, Faculté de Médecine Vétérinaire, Nantes.
- 1260 Kumar, Sudhir, Glen Stecher, Michael Li, Christina Knyaz, et Koichiro Tamura. 2018. « MEGA X:
1261 Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms ». *Molecular Biology*
1262 *and Evolution* 35(6):1547-49. doi: 10.1093/molbev/msy096.
- 1263 Madsen, Jennifer M., Nickolas G. Zimmermann, Jennifer Timmons, et Nathaniel L. Tablante. 2013a.
1264 « Evaluation of Maryland Backyard Flocks and Biosecurity Practices ». *Avian Diseases*
1265 57(2):233-37. doi: <http://www.jstor.org/stable/23526426>.

- 1266 Madsen, Jennifer M., Nickolas G. Zimmermann, Jennifer Timmons, et Nathaniel L. Tablante. 2013b.
1267 « Prevalence and Differentiation of Diseases in Maryland Backyard Flocks ». *Avian Diseases*
1268 57(3):587-94. doi: 10.1637/10423-101612-Reg.1.
- 1269 Mainali, Chunu, et Ilona Houston. 2016. « Small Poultry Flocks in Alberta: Demographics and
1270 Practices ». *Avian Diseases* 61(1):46. doi: 10.1637/11460-062716-Reg.
- 1271 McBride, Michael D., David W. Hird, Tim E. Carpenter, Kurt P. Snipes, Cyrus Danaye-Elmi, et
1272 William W. Utterback. 1991. « Health Survey of Backyard Poultry and Other Avian Species
1273 Located within One Mile of Commercial California Meat-Turkey Flocks ». *Avian Diseases*
1274 35(2):403-7. doi: 10.2307/1591198.
- 1275 McDonagh, Alyssa, Jessica H. Leibler, Jean Mukherjee, Anil Thachil, Laura B. Goodman, Cassidy
1276 Riekofski, Amanda Nee, Khrysti Smyth, Janet Forrester, et Marieke H. Rosenbaum. 2019.
1277 « Frequent Human-Poultry Interactions and Low Prevalence of Salmonella in Backyard Chicken
1278 Flocks in Massachusetts ». *Zoonoses and Public Health* 66(1):92-100. doi: 10.1111/zph.12538.
- 1279 Nhung, Nguyen Thi, Niwat Chansiripornchai, et Juan J. Carrique-Mas. 2017. « Antimicrobial
1280 Resistance in Bacterial Poultry Pathogens: A Review ». *Frontiers in Veterinary Science* 4. doi:
1281 10.3389/fvets.2017.00126.
- 1282 Pohjola, L., Laila Rossow, Anita Huovilainen, Timo Soveri, Marja-Liisa Hänninen, et Maria
1283 Fredriksson-Ahomaa. 2015. « Questionnaire Study and Postmortem Findings in Backyard
1284 Chicken Flocks in Finland ». *Acta Veterinaria Scandinavica* 57(1):3. doi: 10.1186/s13028-015-
1285 0095-1.
- 1286 Pohjola, L., N. Tammiranta, C. Ek-Kommonen, T. Soveri, M. L. Hänninen, M. Fredriksson Ahomaa,
1287 et A. Huovilainen. 2017. « A Survey for Selected Avian Viral Pathogens in Backyard Chicken
1288 Farms in Finland ». *Avian Pathology* 46(2):166-72. doi: 10.1080/03079457.2016.1232804.
- 1289 Requena, David, Ana Chumbe, Michael Torres, Ofelia Alzamora, Manuel Ramirez, Hugo Valdivia-
1290 Olarte, Andres Hazaet Gutierrez, Ray Izquierdo-Lara, Luis Enrique Saravia, Milagros Zavaleta,
1291 Luis Tataje-Lavanda, Ivan Best, Manolo Fernández-Sánchez, Eliana Icochea, Mirko Zimic, et
1292 Manolo Fernández-Díaz. 2013. « Genome sequence and comparative analysis of *Avibacterium*
1293 *paragallinarum* ». *Bioinformatics* 9(10):528-36. doi: 10.6026/97320630009528.
- 1294 Sergent, ESG. 2018. *Calculateurs épidémiologiques EpiTools*. Ausvet.
- 1295 Shamsi, Hamid, Karim Mardani, et Abdolghaffar Ownagh. 2017. « Phylogenetic Analysis of
1296 *Escherichia Coli* Isolated from Broilers with Colibacillosis Based on GyrA Gene Sequences ». *Canadian Journal of Veterinary Research = Revue Canadienne De Recherche Veterinaire*
1297 81(1):28-32.
1298

- 1299 Smith, Emily I., John S. Reif, Ashley E. Hill, Katharine E. Slota, Ryan S. Miller, Kathe E. Bjork, et
1300 Kristy L. Pabilonia. 2012. «Epidemiologic Characterization of Colorado Backyard Bird
1301 Flocks ». *Avian Diseases* 56(2):263-71. doi: 10.1637/9865-072811-Reg.1.
- 1302 Souvestre, Marie, Claire Guinat, Eric Niqueux, Luc Robertet, Guillaume Croville, Mathilde Paul,
1303 Audrey Schmitz, Anne Bronner, Nicolas Etteradossi, et Jean-Luc Guérin. 2019. « Role of
1304 Backyard Flocks in Transmission Dynamics of Highly Pathogenic Avian Influenza A(H5N8)
1305 Clade 2.3.4.4, France, 2016-2017 ». *Emerging Infectious Diseases* 25(3):551 - 54. doi:
1306 10.3201/eid2503.181040.
- 1307 Steenwinkel, Sarah, Stefaan Ribbens, Els Ducheyne, Els Goossens, et Jeroen Dewulf. 2011.
1308 « Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium,
1309 resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread ». *Preventive veterinary medicine* 98:259-70. doi: 10.1016/j.prevetmed.2010.12.004.
- 1311 Swayne, David E. 2020. « Multicausal Respiratory Diseases ». P. 1479 in *Diseases of Poultry*. Wiley
1312 Blackwell.
- 1313 Tamura, K., et M. Nei. 1993. « Estimation of the Number of Nucleotide Substitutions in the Control
1314 Region of Mitochondrial DNA in Humans and Chimpanzees ». *Molecular Biology and*
1315 *Evolution* 10(3):512-26. doi: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a040023.
- 1316 Van, Nguyen Thi Bich, Nguyen Thi Phuong Yen, Nguyen Thi Nhung, Nguyen Van Cuong, Bach Tuan
1317 Kiet, Nguyen Van Hoang, Vo Be Hien, Niwat Chansiripornchai, Marc Choisy, Alexis Ribas,
1318 James Campbell, Guy Thwaites, et Juan Carrique-Mas. 2020. « Characterization of Viral,
1319 Bacterial, and Parasitic Causes of Disease in Small-Scale Chicken Flocks in the Mekong Delta
1320 of Vietnam ». *Poultry Science* 99(2):783-90. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.033.
- 1321

1322 **Tables**

1323 **Figures' legend**

1324 **Figure 1:** Geographical repartition of SSPF having adopted layers from the commercial farm.

1325 **Figure 2:** Phylogenetic tree of hpG2 (Chen et al.,) of *Avibacterium paragallinarum* from positive BPF.

1326 The evolutionary history was inferred by using the Maximum Likelihood method and Tamura-Nei

1327 model [1]. The tree with the highest log likelihood (-931.29) is shown. Initial tree(s) for the heuristic

1328 search were obtained automatically by applying Neighbor-Join and BioNJ algorithms to a matrix of

1329 pairwise distances estimated using the Maximum Composite Likelihood (MCL) approach, and then

1330 selecting the topology with superior log likelihood value. The tree is drawn to scale, with branch

1331 lengths measured in the number of substitutions per site. This analysis involved 41 nucleotide

1332 sequences. Codon positions included were 1st+2nd+3rd+Noncoding. There were a total of 488

1333 positions in the final dataset. Evolutionary analyses were conducted in MEGA X [2]. The phylogenetic

1334 tree compares "SL/HauteGaronne", SL = spent layers and HauteGaronne giving information about

1335 localization. Other isolates from other backyard flocks are entitled BC for backyard chickens

1336 completed in others geographical units. Birds from commercial free-range chickens = CC (for

1337 commercial chicken) and non-commercial chickens sampled on commercial farms zones BC/Gers/CC.

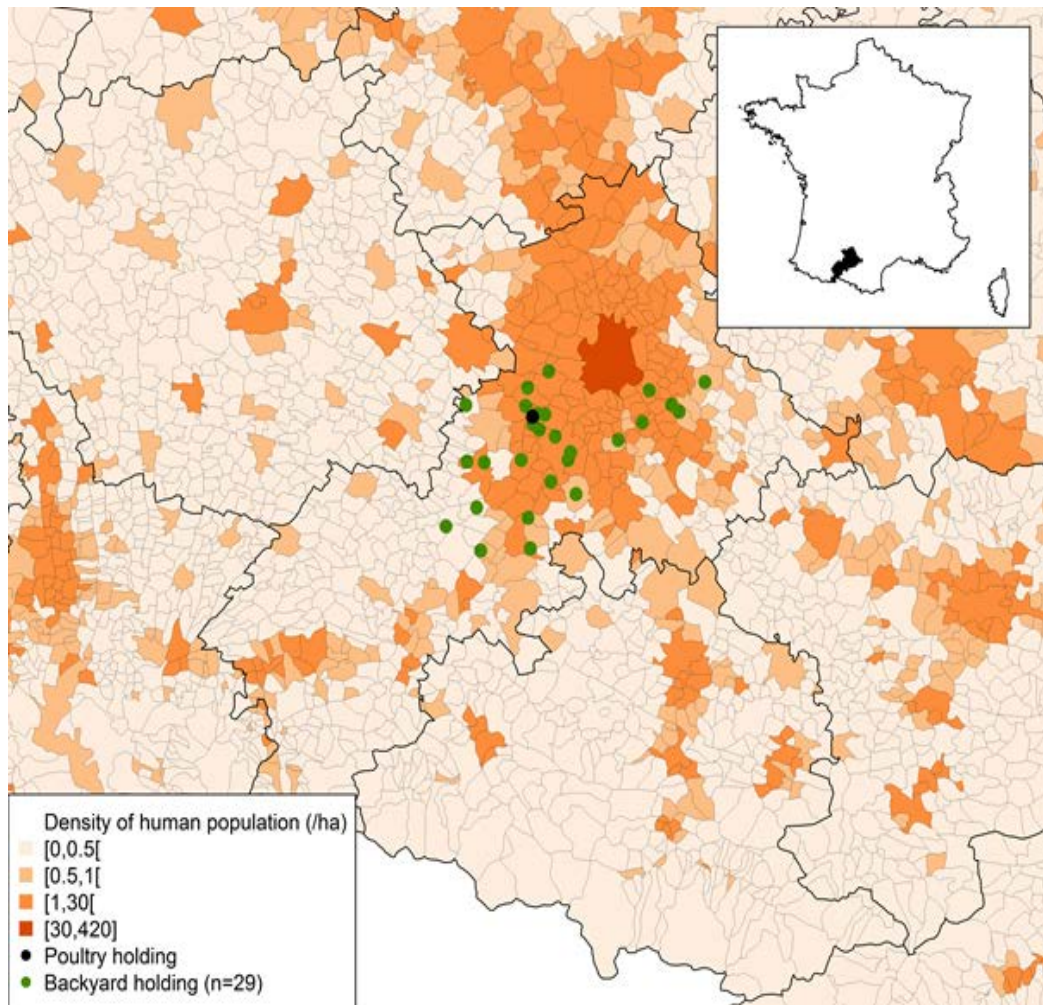
1338

1339

1340

1341 **Figures**

1342 **Figure 1**



1343



Tables

Table 1: Respiratory pathogens levels of spent hens at T0 (prior to adoption) and T6 (within backyard poultry flocks).

Respiratory pathogen	Commercial layers (n=60) 12 pools	Prevalence, % [95% CI]	Positive family flocks (n=28)	Prevalence, % [95% CI]
AvP	0	0 [0-7.5]	14	50 [0.33-0.67]
IBV	0	0 [0-7.5]	1	3.6 [0.00-0.20]
E.Coli	9/12	24.20 [10.58-44.04]	12	43 [0.25-0.63]
ILT	4/12	7.79 [2.07-19.00]	13	46 [0.28-0.66]
MG	0	0 [0-7.5]	3	11 [0.03-0.30]
MS	0	0 [0-7.5]	11	40 [0.22-0.60]
ORT	0	0 [0-7.5]	7	25 [0.11-0.45]
Ba	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
IAA	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
aMPV	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
NDV	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
PM	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
Ra	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
<i>Chlamydia</i> spp.	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
<i>Chlamydia gallinacea</i>	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]
<i>Chlamydia psitacci</i>	0	0 [0-7.5]	0	0 [0-12.06]

Table 2. Variables included in the final multivariable logistic regression with coinfection, AvP, and MS as outcome variables for spent layers sampled at T6 in family poultry flocks.

Outcome and variable	Odds ratio [95% CI]	p value
Prevalence of coinfection		
Age of the flock	3.67 [0.54-28.79]	0.187
Flock's size	13.29 [1.69-285.33]	0.030
Prevalence of AvP		
Age of the flock	12.01 [1.37-348.26]	0.057
Layers' origin	10.73 [0.95-392.58]	0.098
Introduction_6months	24.86 [2.02-1186.59]	0.037
Prevalence of MS		
Age of the flock	13.76 [1.35-502.12]	0.062
Layers' origin	14.46 [1.21-500.82]	0.062
Introduction_6months	17.78 [1.10-916.18]	0.063
Wild avifauna	12.66 [1.21-470.18]	0.073

Technical Appendix

Appendix 1: Flocks 'size at the time of adoption and sample size 6 months later

Type		Flocks' size before adoption	Total number of recovered layers	Number of adopted layers	Flocks' size after adoption	Flocks' size at 6 months	Sampling size
Commercial layers		6000			3400		60
Volunteers at T0 Small scale family flocks (n=56)	Min	0	1	0	1		
	Q1	1	4	3	5		
	Med	4	6	6	10		
	Mean	11	21	11	21		
	Q3	15	11	10	24		
	Max	100	600	90	136		
	Total birds	574	1190	601	1175		
Sampled at 6 months Small scale family flocks (n=28)	Min	0		2	3	1	1
	Q1	0		4	5	4	3
	Med	3		7	10	7	5
	Mean	7		8	15	12	5
	Q3	10		10	20	17	7
	Max	35		30	65	70	10
	Total birds	184		232	416	348	147

Appendix 2: Studied pathogens and PCR primers. Additional primers are in bold in the table.

Pathogens	Targeted genes	Forward primers (5'-3')	Reverse primers (5'-3')	Amplicon s length (bp)	Reference
Influenza A virus	M	M52C: CTTCTAACCGAGGTCGAAACG	M253R: AGGGCATTITGGACAAAKCGTCTA	250	Fouchier et al. 2000
Metapneumovirus subtypes A & B	SH	SH-f: TAGTTTTGATCTTCCTGTGTGC	SH-r: GTAGTTGTGCTCAGCTCTGATA	200	Cecchinato et al. 2013
Paramyxovirus-1 (NDV)	Fusion (cleavage site)	FIP1: TACTTTGCTCACCCCCCTT	FIP2: CATCTTCCCAACTGCCACT	280	Kho et al. 2000
BI-N	N	N791: GTGATGACAAGATGAATGAGGA	N1129: CAGCTGAGGTCAATGCTTTATC	380	Farsang et al. 2002
BI-GU	UTR	GU391 : GCTTTTGAGCCTAGCGTT	GL533 : GCCATGTTGCTACTGTC TATTG	142	Callison et al., 2006
ILT-UL	UL15a	UL15aF: TTGCTGTGCTATTTTCGCGTG	UL15aR: GTAAATCGTTTAGTGCGGCAT	113	Mahmoudian et al. 2011
MG-16S	16S	MG14F: GAGCTAATCTGTAAAGTTGGTC	MG13R: GCTTCCTTGC GGTTAGCAAC	186	Jarquin et al. 2009
MG-mgc2	Mgc2	Mgc2 F : CGCAATTTGGTCCTAATCCCCAA CA	Mgc2 R : TAAACCCACCTCCAGCTTTATTTC C	300	Moretti et al. 2013
MS-16S	16S	MSLF: GAGAAGCAAATAGTGATATCA	MSLR: CAGTCGCTCCGAAGTTAACAA	214	Jarquin et al. 2009
MS-vlhA	vlhA	VlhA F : CCATTGCTCCTGCTGTTAT	VlhA R : KMTKCTGTTGTAGTTGCTTCAA	295	Wetzel et al. 2010
<i>Bordetella avium</i>	recA	BaREC2f: CGGAATCGTCGGGTAAAACG	BaREC2r: TGGAAGCGTACTGGACATCG	200	In-house primers
<i>Ornithobacterium rhinotracheale</i>	gyrA	ORT101F: TGGGCAAGGGAACCTTGGTT	ORT101R: TGTCGGCAAGCATTTCTCA	101	In-house primers
<i>Pasteurella multocida</i>	gyrB	gyrBPMF: GCCCTTCCGATAAATGCAA	gyrBPMR: ATCGCGGCTAATGGTGCTT	100	Boyce et al. 2002
<i>Riemerella anatipestifer</i>	gyrB	gyrBP1: AGAGCGAGAAGAAAAACCT	gyrBP2: CTCCATAAGCATAGAGAAGA	194	Wang et al. 2012
<i>Chlamydia psittaci</i>	ompA	Cp2fbis: CTCGCCCTGTCTTACAGATTG	Cp2r: GCATCAAAAGTTGCTCGTGACC	74	In-house primers
<i>Chlamydia spp.</i>	16S	Ch23S F : CTGAAACCAGTAGCTTATAAGCG GT	Ch23S R : ACCTCGCCGTTTAACTTAACTCC	110	Ehricht 2006
<i>Chlamydia gallinacea</i>	EnoA	Eno A F : CAATGGCCTACAATTCCAAGAGT	Eno A R : CATGCGTACAGCTCCGTAAAC	72	Laroucau 2015
AP-hp1	hp1	HP1F: TGAGGGTAGTCTTGCACGCGAAT	HP1R: CAAGGTATCGATCGTCTCTACT	500	Chen et al. 1996
AP-infB	infB	Inf B-F : GCCAGTTGCTACCATTTTGG	Inf B-R : AGCCTAGCACTTCCACAGGA	155	Wen et al. 2016
<i>Escherichia coli</i>	gadA	GadA.F: GCGTTGCGTAAATATGGTTTGCCGA	GadA.R: CGTCACAGGCTTCAATCATGCGTT	305	Chen et al. 1996
<i>Escherichia coli</i>	chuA	ChuA.1: GACGAACCAACGGTCAGGAT	ChuA.2: TGCCGCCAGTACCAAAGACA	279	Clermont et al. 2000
<i>Escherichia coli</i>	yjaA	YjaA.1: TGAAGTGTCAAGGACGCTG	YjaA.2: ATGGAGATGCGTTCCTCAAC	211	Clermont et al. 2000
<i>Escherichia coli</i>	TspE4C2	TspE4C2.1: GAGTAATGTCGGGGCATTCA	TspE4C2.2: CGCGCCAACAAAGTATTACG	152	Clermont et al. 2000

Appendix 3: variables description and coding for univariate and multivariate analysis

Variable	Description	Proposed categories in the survey	Bimodal variable
Age of the flock	Seniority of the poultry house with the continuous or intermittent presence of layers	<2 years old 2-5 years old 5-10 years old 10-30 years old >30 years old	0 when < 5 years old 1 when > 5 years old
Flock's size	Number of layers or chickens present in the flock at the time of sampling	No categories Numeric variable	0 when < 7 layers 1 when > 7 layers
Age at introduction	Age of birds at the time of their introduction in flocks	Chicks Ready-to-lay hen Spent laying hen Embryonated eggs	0 = chicks or embryonated eggs 1 = ready to lay or spent laying hens
Mixing laying hens	Layers that have been adopted, mixed with others for a while before re-integrating the initial flock	Yes/No variable	0 = No mixing birds 1 = Mixing birds
Layers' origin	Source of purchased birds	Directly from a professional Hobby breeder or private owner Poultry market Pet store	0 = From a professional, hobby breeder or private owner 1 = gathering (poultry market or pet store)
Introduction_6months	Introduction of other layers during the 6 months' time	Yes/No variable	0 = No 1 = Yes
Wild avifauna	Presence of feeders for wild birds in the garden	Yes/No variable	0 = No 1 = Yes
Spent layers only	Introduction of spent layers only in the flock	Yes/No variable	0 = No 1 = Yes
Specific shoes	Use of specific shoes for visiting the flock	Never Usually Always	0 = Never or sometimes 1 = Usually or always
Human contact	Synthesis of 3 questions : visiting another flock, someone visiting the flock or regular contact with a family flock owner	For the two first question : Yes/No For the third question : Never Sometimes Usually Always	0 = No given or received visit. No contact or occasional contact with a poultry owner 1 = Given or received visit and regular or systematic contact with a poultry owner

Appendix 4. Univariate analysis of categorical biosecurity variables for AvP, MS and ORT, and co-infection prevalences ($p \leq 0.25$)

Exposition to pathogen	Variable	Prevalence Ratio	95% Confidence Interval	P-value
Co-infection	Age of the flock	Inf	-	3.287e-08
	Flock's size	2.50	[0.87-7.15]	0.006
	Age at introduction	0	-	0.062
	Mixing laying hens	0	-	0.180
AvP	Age of the flock	1.67	[0.84-3.32]	0.252
	Flock's size	2.25	[0.90-5.62]	0.128
	Layers' origin	5	[0.67-37.51]	0.165
	Introduction_6months	6	[0.83-43.59]	0.077
	Spent layers only	0.40	[0.16-0.98]	0.057
MS	Age of the flock	1.55	[0.83-2.87]	0.253
	Flock's size	2.47	[1.09-5.62]	0.051
	Layers' origin	3.09	[0.68-14.11]	0.174
	Introduction_6months	3.86	[0.90-16.54]	0.076
	Wild avifauna	1.55	[0.91-2.62]	0.226
	Mixing laying hens	Inf	-	0.146
	Spent layers only	0.42	[0.15-1.18]	0.120
MG	Layers' origin	0.24	[0.07-0.80]	0.107
ORT	Age of the flock	2.33	[1.42-3.82]	0.010
	Flock's size	2.57	[1.31-5.06]	0.029
	Specific shoes	6.00	[0.64-56.52]	0.145
	Age at introduction	0.75	[0.46-1.21]	0.145
	Spent layers only	0.23	[0.04-1.46]	0.077

Appendix 5 (available upon request):

Table 5. a): Main characteristics of SSFF owners

Characteristic	N° of flocks	%	[95%CI]
<i>Species</i>			
Layers only	25	89	[71-97]
Mixed species	3	11	[3-30]
<i>Age of the flock</i>			
<2 years old	7	25	[11-45]
2-5 years old	5	18	[7-38]
5-10 years old	5	18	[7-38]
10-30 years old	5	18	[7-38]
>30 years old	6	21	[9-42]
<i>Major purpose for owning flock</i>			
Hobby poultry	9	32	[17-52]
Fancy breed	1	4	[0-20]
Egg quality	3	11	[3-30]
Recycling food	15	54	[34-72]
<i>Main reason for adopting spent hens</i>			
Laying performances	3	11	[3-30]
Attractive price	9	32	[17-52]
To offer them a 'second life'	9	32	[17-52]
Practicity and close to the owner	5	18	[7-38]
Other	2	7	[1-25]
<i>Information network</i>			
Internet	5	18	[7-38]
Thanks to a relative	16	57	[37-75]
Used customer	4	14	[5-36]
Other	3	11	[3-30]
<i>Presence of poultry before introduction</i>			
Yes	19	68	[48-83]
No	9	32	[17-52]
<i>Owners' age</i>			
16-29 years'old	3	11	[3-30]
30-49 years'old	8	29	[14-49]
50-64 years'old	10	36	[19-56]
< 65 years'old	7	25	[1-25]
<i>Professional activity</i>			
Farmers	3	11	[3-30]
Manager, own account, intermediate occupations	9	32	[17-52]
Employees	5	18	[7-38]
Old-age pensioners	9	32	[17-52]
No professional activity	2	7	[1-25]

Table 5. b): Biosecurity practices of SSFF owners

Characteristic	N° of flocks	%	[95%CI]
<i>Number of times visiting the flock/day</i>			
once a day	3	11	[3-30]
twice a day	10	36	[19-56]
more than twice a day	15	54	[34-72]
<i>Specific shoes</i>			
Never	24	86	[66-95]
Usually	1	4	[0-20]
Always	3	11	[3-30]
<i>Washing hands after visiting the flock</i>			
Never	4	14	[5-36]
Sometimes	2	7	[1-25]
Usually	4	14	[5-36]
Always	18	64	[44-81]
<i>Poultry house cleaning</i>			
Daily	1	4	[0-20]
Weekly	5	18	[7-38]
Monthly	13	46	[28-66]
Yearly or less	9	32	[17-52]
<i>Giving/selling eggs to neighbours or family</i>			
Never	3	11	[3-30]
Sometimes	10	36	[19-56]
Usually	11	39	[22-60]
Always	4	14	[5-36]
<i>Washing eggs</i>			
Yes	4	14	[5-36]
No	24	86	[66-95]
<i>Wild bird feeders in the garden</i>			
Yes	18	64	[44-81]
No	10	36	[19-56]
<i>One visiting flock < 3 months</i>			
Yes	5	18	[7-38]
No	23	82	[62-93]
<i>Owner visiting another flock <3 months</i>			
Yes	3	11	[3-30]
No	25	89	[71-97]
<i>Contact with another poultry owner</i>			
Never	15	54	[34-72]
Sometimes	7	25	[11-45]
Usually	4	14	[5-36]
Always	2	7	[1-25]

Table 5.c): Bird movement and origin in SSFF

<i>Introduction and movement</i>			
Introduction in the last 6 months	6	21	[9-42]
Gathered or moved birds	2	7	[1-25]
Birds leaving the flock for another	2	7	[1-25]
<i>Age at introduction</i>			
Chicks	2	7	[1-25]
Ready-to-lay hen	5	18	[7-38]
Spent laying hen	20	71	[51-86]
Embryonated eggs	1	4	[9-42]
<i>Origin of layers</i>			
Directly to a professional	9	32	[17-52]
Hobby breeder or private owner	13	46	[28-66]
Poultry market	4	14	[5-36]
Pet store	2	7	[1-25]
<i>Introduction of spent layers only</i>			
Yes	14	50	[33-67]
No	14	50	[33-67]
<i>Mortality management</i>			
Buried in the garden	11	39	[22-60]
Burned	2	7	[1-25]
Veterinary	2	7	[1-25]
Household waste	6	21	[9-42]
Other	7	25	[1-25]

Table 5. d): Poultry health and nutrition considerations in SSFF

<i>First food income</i>			
Food leftovers	20	71	[51-86]
Wheat and corn mixed personally	5	18	[7-38]
Mixed cereals from a pet shop	3	11	[3-30]
Pellet feed	0		[0-15]
<i>Second food income</i>			
Only one income	6	21	[9-42]
Food leftovers	0	0	[0-15]
Wheat and corn mixed personally	4	14	[5-36]
Mixed cereals from a pet shop	12	43	[25-63]
Pellet feed	6	21	[9-42]
<i>Clinical signs during the last year</i>			
Yes	8	29	[14-49]
No	20	71	[51-86]
<i>Clinical signs characteristics</i>			
Respiratory	2	7	[5-64]
Locomotor	1	4	[1-53]
The owner does not know	5	18	[26-90]
<i>Veterinary consultation < 1 year</i>			
Yes	4	14	[5-36]
No	24	86	[66-95]
<i>Treatments < 1 year</i>			
Yes	9	32	[17-52]
No	19	68	[48-83]
<i>Treatment characteristics</i>			
Vitamins	8	29	[14-49]
Antimicrobials	0	0	[0-15]
Internal anti-parasitic treatment	5	18	[26-90]
External anti-parasitic treatment	3	11	[3-30]
Phytotherapy or homeopathy	2	7	[5-64]
Absence of treatment	10	36	[19-56]
<i>Treatment origin</i>			
Veterinary office	8	29	[14-49]
Pet shop	6	21	[9-42]
Website	1	4	[9-42]
Chemistry	0	0	[0-15]
No treatment	13	46	[28-66]
<i>Diseases' knowledge</i>			
Salmonellosis	28	100	[85-100]
Avian influenza	28	100	[85-100]
Campylobacteriosis	3	11	[3-30]
Newcastle disease	7	25	[1-25]

Discussion

Cette étude a permis d'évaluer les caractéristiques d'une pratique émergente auprès des propriétaires d'élevages familiaux : l'adoption de poules de réforme. De plus, leur suivi cinétique a permis de montrer une contamination des oiseaux introduits à AvP, ORT, MS et MG. Cela indique une très probable « homogénéisation » du statut sanitaire des individus au sein d'un même élevage.

Le prix attractif des poules de réforme, la possibilité de leur offrir une « seconde vie » et la proximité des élevages commerciaux sont les trois raisons majeures identifiées par les propriétaires s'adonnant à cette pratique. Il s'est avéré que la majorité des particuliers venant sur site acheter des poules de réforme était représentée par des détenteurs de basses-cours locales. L'information concernant la vente des poules a circulé grâce aux réseaux de proximité et au « bouche à oreille » qui semble prendre une part très importante dans la diffusion de l'information dans le secteur familial. Les élevages de petits effectifs étaient bien souvent des installations récentes (inférieur à deux ans). Aussi, l'adoption de poules de réforme concernait majoritairement une population assez âgée (61% des propriétaires avaient plus de 50 ans dans le cadre de l'étude).

Il a été constaté que le maintien des troupeaux au cours du temps n'était pas expliqué par une stabilité de la population, mais plutôt par des pertes en effectif régulières (majoritairement à cause de la prédation) et des réintroductions consécutives. Les principales sources d'approvisionnement décrites par les propriétaires étaient souvent diverses pour un même élevage. Les introductions d'oiseaux sont donc fréquentes, de diverses origines, et représentent un facteur important d'introduction d'agents pathogènes dans les élevages familiaux. De plus, des études suggèrent que les pratiques des exposants ou fournisseurs de volailles présentent un risque d'introduction et de propagation du VIA (45,257,258). Les marchés aux volailles vivantes représentent également un risque important de transmission du virus (259). La fréquence élevée des déplacements d'oiseaux pour assister aux expositions de volailles, le contact étroit d'oiseaux d'origines différentes et la vente d'oiseaux vivants prédisposent à la propagation d'agents infectieux (260). Aussi, et ce malgré la compréhension significative de la biosécurité par les exposants de volailles et leur engagement élevé en faveur de la santé de leurs oiseaux, le faible respect des mesures de mise en quarantaine par les propriétaires acheteurs contribue à la contamination des basses-cours et poulaillers familiaux (37,185).

En ce qui concerne les agents pathogènes étudiés, ILTV et *E.coli* ont été identifiés sur les poules de réforme avant introduction dans les élevages familiaux (T0). Ainsi, six mois après leur introduction (T6), on peut se demander si le virus détecté est une souche vaccinale recirculante ou une souche sauvage. Pour cela, le Ct (cycle threshold) peut être un bon indicateur pour émettre une hypothèse à ce sujet. En effet, un Ct bas peut indiquer la circulation récente d'une souche sauvage et un Ct élevé la persistance latente d'une souche vaccinale. Ainsi, en ce qui concerne l'ILTV (ou d'autres virus non identifiés ici), l'introduction de poules de réforme peut représenter un risque pour l'élevage d'accueil. Les autres agents pathogènes étudiés tels que AvP, ORT, MS, MG n'ont pas été identifiés dans le secteur commercial, mais semblent présents de

manière enzootique dans les élevages familiaux avec des niveaux de prévalence moyens à élevés. Ainsi, cette étude montre que la contamination par des agents pathogènes tels que AvP, ORT, MS et MG peut se faire de façon directe à des animaux après leur introduction dans une basse-cour contaminée, malgré l'absence de signes cliniques.

L'apparition de signes cliniques au cours des six mois dans certains cas pose la question de l'introduction d'agents pathogènes par les poules de réforme adoptées (Ex. *E.coli*, ILTV, IBV, aMPV), ceux-ci pouvant être d'origine vaccinale ou sauvage et ces contaminations se faisant dans un contexte de co-infections. C'est le cas des mycoplasmes qui sont connus pour leurs interactions avec d'autres agents pathogènes et des facteurs abiotiques, conduisant à des signes cliniques (261). En effet, l'introduction d'oiseaux dans un nouveau troupeau peut être considérée comme « un stress » pour les poules introduites comme pour les poules résidentes pouvant conduire à un déséquilibre du microbiote et du pathobiome pouvant conduire à l'apparition de signes cliniques. On peut aussi citer une possible excrétion du ILTV qui, hébergé sous sa forme latente, peut-être réactivé lors d'un stress biotique (co-infection) ou abiotique (changement d'environnement) (146). Aussi, l'utilisation de vaccins vivants dans le secteur commercial, au contraire de l'absence de vaccination des élevages familiaux peut conduire à une hétérogénéité du statut sanitaire des oiseaux regroupés et conduire à des recirculations de souches vaccinales sur des sujets naïfs voire même de possibles retours à la virulence de certaines souches si les effectifs sont élevés (262).

Il semble donc évident que le syndrome respiratoire des volailles doit être étudié en considérant les caractéristiques du microbiote de l'hôte, de son statut immunitaire, du pathobiome et des potentiels déséquilibres liés aux facteurs environnementaux. La mise en place d'une quarantaine semble être une pratique à promouvoir auprès de tous les propriétaires de poules pour limiter les risques associés aux introductions.

Le chapitre 3 ci-dessous propose une première analyse descriptive de la flore bactérienne commensale des basses-cours par la mise en culture et l'identification par spectrométrie de masse MALDI-TOF.

CHAPITRE III : Description de la flore respiratoire bactérienne commensale de poules de basses-cours

Introduction

Les agents pathogènes respiratoires sont une cause importante des signes cliniques observés dans les élevages familiaux et peuvent conduire à de lourdes pertes économiques dans la production de volailles commerciale à l'échelle mondiale. Dans les deux secteurs, les infections respiratoires compliquées, d'étiologie infectieuse multiple – virus, bactéries, agents immunosuppresseurs –, environnementale et zootechnique, sont le plus souvent observées. La vaccination avec des agents vivants atténués est une pratique courante dans les exploitations avicoles commerciales, et les réactions immunitaires induites par leur utilisation jouent un rôle dans le développement de syndromes respiratoires. Dans la plupart des cas, les co-infections entraînent une exacerbation des signes cliniques. Toutefois, dans certains cas, l'interaction entre deux agents pathogènes peut, au contraire, les réduire (145). Les mécanismes tels que la détérioration de l'intégrité épithéliale des voies respiratoires et la réduction du transport mucociliaire peuvent également expliquer certains aspects de ces co-infections respiratoires. En effet, des facteurs propres à chaque élevage tels que la conduite d'élevage¹², les conditions d'ambiance, la température, l'hygrométrie, la ventilation, la densité animale, la qualité de la litière peuvent prédisposer aux infections respiratoires cliniques.

L'avancée des techniques de biologie moléculaire a montré que l'ensemble des barrières épithéliales des mammifères comme des oiseaux était constitué d'un écosystème très complexe de micro-organismes souvent symbiotique et avantageux (252,263). Le concept de microbiote apparaît ainsi dans les années 1950 et désigne l'ensemble des bactéries, virus, phages, archées et micromycètes présent dans ces flores commensales (264). Le microbiome quant à lui, est constitué de l'ensemble des communautés microbiennes, de leurs gènes et l'environnement qui les entoure (265–267). Ainsi, la définition d'une émergence de nouveaux agents pathogènes doit répondre à un des critères suivants : un changement évolutif récent, un changement de tropisme avec une première détection chez l'homme, un changement de pathogénèse et de sa manifestation clinique ou une première identification (268).

Aujourd'hui, de nombreux agents pathogènes bactériens ont été identifiés dans le secteur de la volaille commerciale tels que *E. coli*, AvP, ORT, MS, MG, PM, mais peu d'études décrivent le microbiome respiratoire « sain ». À ce jour, une seule étude décrit les caractéristiques des communautés microbiennes présentes dans l'arbre respiratoire inférieur des volailles commerciales (269), et des questions se posent sur les critères permettant de différencier les bactéries commensales des bactéries ayant un potentiel pathogène (270,271). En effet, la pathogénicité dépend souvent de plusieurs facteurs eux-mêmes dépendants de

¹² La conduite d'élevage regroupe le mélange des âges, le regroupement d'animaux, une alimentation non adaptée, un statut immunitaire défavorable, les possibles vaccinations.

l'environnement et du statut immunitaire de l'hôte (201). Enfin, la circulation de différents virus peut avoir un impact majeur sur la flore bactérienne commensale et le pathobiome.

Une majorité des bactéries de la famille des *Pasteurellaceae* fait partie de la flore commensale des muqueuses des mammifères et des oiseaux domestiques. La présence de ces bactéries résulte d'un subtil équilibre entre la réceptivité de l'animal hôte et la virulence de celles-ci ; la virulence d'un agent pathogène étant elle-même définie par son interaction avec l'hôte (201). Les pasteurelles les plus souvent isolées chez la volaille sont PM, *Avibacterium sp.*, *Gallibacterium sp.* et des questions se posent sur leur pathogénicité.

PM, l'agent étiologique du choléra aviaire, et AvP, l'agent causal du coryza infectieux, sont les deux agents pathogènes respiratoires bactériens les plus importants dans la filière avicole. Les espèces *Avibacterium gallinarum*, *Gallibacterium anatis* et le taxon 14 de Bisgaard¹³ ont aussi été décrits comme pouvant être pathogènes. La plupart des espèces de pasteurelles ne sont pas pathogènes, y compris *Pasteurella volantium*, *Pasteurella avium*. Il en est de même pour le genre *Avibacterium* et les espèces *Avibacterium avium*, *volantium*, *endocarditis*, *gallinarum*. Toutefois, *Avibacterium endocarditis* a déjà été isolé et reporté comme étant la cause d'endocardites valvulaires et de septicémies chez le poulet (274). De la même façon, *Gallibacterium anatis* a été identifié dans des cas de salpingites, péritonites et septicémies et à ce jour, il est la seule espèce de ce genre ayant un rôle pathogène décrit (275). Enfin, ces dernières années, des profils de résistance aux antibiotiques ont été identifiés sur certaines de ces bactéries telle que *Gallibacterium anatis* (276).

Le genre *Ornithobacterium* est un membre des *Flavobacteriaceae* et représente une lignée de descendance assez distincte au sein de cette famille. Les bactéries apparentées sont les agents pathogènes des oiseaux *Riemerella anatipestifer* et *Coenonia anatina* (277,278). ORT a été isolé dans le monde entier chez de nombreuses espèces d'oiseaux comme le Poulet, la Perdrix, le Canard, l'Oie, la Pintade, le Faisan, le Pigeon, la Caille et la Dinde (279). La plupart des cas d'infection rapportés sont des co-infections avec d'autres agents pathogènes tels que *E.coli*, Ba, NDV, IBV, aMPV, VIA H9N2, AvP, MS et Chl.p (114,222,280–286). D'ailleurs, la pathogénicité d'ORT n'est pas encore clairement objectivée. La plupart des études expérimentales indiquent que, seul, il conduit à peu de lésions chez les poulets et les dindes et que la sévérité des lésions est amplifiée par les infections concomitantes par d'autres virus ou bactéries. Toutefois, certaines études mettent en évidence une association entre ORT et signes cliniques ; ceux-ci étant similaires à ceux ayant pu être observés en conditions d'élevage (279,287,288). Une chose est certaine, la gravité et la durée des signes cliniques ainsi que la mortalité associée sont très variables et dépendent de nombreux facteurs biotiques et abiotiques. Les oiseaux atteints peuvent présenter un abattement, une anorexie, des signes respiratoires tels que des écoulements, des éternuements et/ou des oedèmes (289,290). Chez les pondeuses et reproductrices, il peut

¹³ Le taxon 14 de Bisgaard est apparenté à d'autres membres des *Pasteurellaceae* au niveau du genre. Il a été isolé à partir de dindes et de poulets et peut conduire à des signes cliniques tels que des septicémies, des inflammations des voies respiratoires supérieures et des blepharoconjunctivites (272,273).

y avoir une incidence sur la ponte par une baisse de production et une plus grande fragilité des coquilles (291).

Les mycoplasmes pathogènes aviaires, MG, MS et *Mycoplasma meleagridis* et *Mycoplasma iowae* chez la Dinde sont associés à des signes respiratoires, des arthrites et des baisses de performance (144). La présence d'autres espèces de mycoplasmes non pathogènes telles que *M. gallinarum* et *M. gallinaceum* est toutefois fréquente, surtout dans les élevages regroupant plusieurs âges, ce qui rend l'isolement des espèces pathogènes plus difficile. La mise en culture des mycoplasmes nécessite quatre à cinq jours d'incubation à 37°C. Ainsi, la détection de *Mycoplasma* sp. par culture, n'est pas évidente. La PCR peut être utilisée pour identifier les espèces pathogènes et non pathogènes (292–298).

Les objectifs de ce chapitre ont été de décrire la diversité des pasteurelles-like et mycoplasmes, de différencier les espèces pathogènes des espèces non pathogènes et d'identifier les méthodes permettant de le faire. Des recherches ciblées ont été effectuées par qPCR pour AvP et MG, ces espèces étant décrites comme les plus pathogènes. Une étude descriptive des espèces majeures de bactéries isolées par culture « classique » et identification par PCR et/ou MALDI-TOF ont également été réalisées sur des oiseaux issus de basses-cours asymptomatiques.

Matériel et méthodes

Dans six basses-cours, des isollements bactériens à partir d'écouvillons E-swab^{®14} oropharyngés ont été réalisés (Tableau 11). Les mises en culture ont été de deux types : une première mise en culture pour l'isolement spécifique de *Mycoplasma* sp., et une mise en culture dite « classique » pour identification de la flore Gram + et/ou – présente de l'arbre respiratoire supérieur. L'identification des colonies isolées à partir des géloses au sang a ensuite été réalisée à l'aide du spectromètre de masse MALDI-TOF du CHU de Toulouse Purpan (Bruker[®], Billerica, Massachusetts, United States). Pour les mycoplasmes, l'identification des clones a été réalisée après isolement par culture en milieu SP4 par qPCR puis séquençage Sanger.

Réalisation et récupération des prélèvements

Au cours des vacances de Noël 2018-2019, il a été demandé à certains étudiants ayant déjà participé l'année précédente à la campagne de prélèvements 2017-2018 (Article 2, Partie 2) de renouveler l'expérience afin d'étudier la flore bactérienne respiratoire à partir d'écouvillons E-swab[®] oropharyngés. La sélection des basses-cours a été réalisée sur la base de leur statut sanitaire vis-à-vis de MG et AvP et la capacité des étudiants à réaliser les écouvillons et les ramener le plus rapidement possible (soit dans les 24 heures) au laboratoire d'analyse de l'ENVT sous couvert du froid afin de procéder à la mise en culture. La notice distribuée aux étudiants en vue de la réalisation des prélèvements est présentée en Annexe 8. Dans chaque

¹⁴ (Copan Diagnostics, Murrieta, California, Etats-Unis). Les E-swabs contiennent 1mL de milieu Amies liquide.

basse-cour, un maximum de 20 individus a été prélevé et groupé (pool) par 5. Ces pools ont ensuite été analysés (Tableau 11).

Tableau 11 : Effectif et localisation des basses-cours étudiées

Id Basse-cour	Localisation (code postal)	Effectif prélevé	Mélanges d'échantillons	Nb d'animaux/mélange
BC9	12260	13	Pool 1	5
			Pool 2	5
			Pool 3	3
BC10	12700	12	Pool 1	5
			Pool 2	4
BC26	87380	20	Pool 1	5
			Pool 2	5
			Pool 3	5
			Pool 4	5
BC29	80140	20	Pool 1	5
			Pool 2	5
			Pool 3	5
			Pool 4	5
BC36	31280	2	Pool 1	2
BC 41	31770	2	Pool 1	2

Mise en culture et identification de *Mycoplasma* spp.,

La mise en culture des mélanges d'échantillons a été réalisée à partir de 200µL de milieu Amies (P0) mis en culture dans 1,5 mL de milieu SP4 (appelé -1P0). La préparation et composition des milieux figurent en Annexe 7. Une seconde dilution au dixième a ensuite été effectuée à partir du milieu -1P0 (appelée -2P0) afin de diluer les inhibiteurs éventuels. Le milieu dispose de Rouge-Phénol ce qui permet d'identifier « un virage » colorimétrique en réponse à la modification du pH du milieu indiquant la croissance de mycoplasmes (ou éventuellement de contaminants). Une fois le virage colorimétrique identifié (acide tournant au jaune et basique tournant au Rouge Fuchsia), 10 µL des bouillons de culture -1P0 et -2P0 ont été étalés sur milieu SP4 solide pour isolement des colonies et identification. L'absence de contaminants a également été évaluée sur le milieu de culture solide par observation des colonies à l'aide d'une loupe à des grossissements 10 à 63. Pour chaque mélange d'échantillons, cinq clones ont été sélectionnés sous la loupe à partir des cultures sur milieu solide afin de procéder à leur identification par qPCR puis séquençage Sanger (Eurofins Genomics©,

Luxembourg). Les données ont été analysées à l'aide du logiciel BioEdit© afin de réaliser une comparaison des séquences à l'aide de l'outil BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) de NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) (299) pour confirmer l'espèce. Le schéma ci-dessous (Figure 16) présente la démarche de mise en culture et d'isolement de clones à partir des écouvillons obtenus.

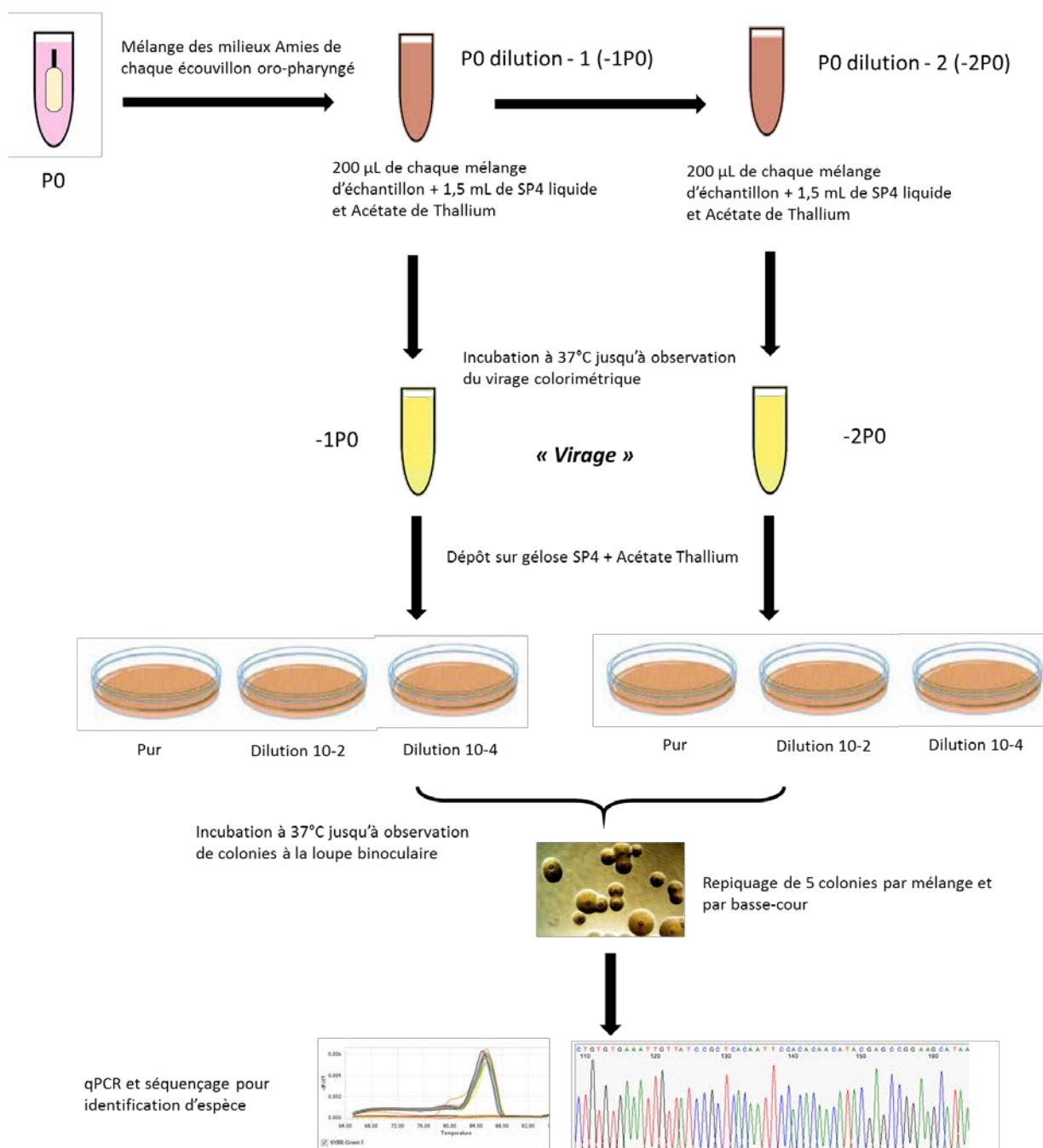


Figure 16 : Protocole de mise en culture, d'isolement et d'identification de *Mycoplasma* spp.

Pour l'identification de *Mycoplasma* spp. par qPCR, 50 µL des bouillons -1P0 et -2P0 ont été prélevés. Une lyse rapide a été effectuée en disposant les bouillons 10 minutes à 98°C. Les qPCR ciblant l'ensemble de la classe des Mollicutes et uniquement MG ont ensuite été effectuées respectivement à l'aide des couples d'amorces MGSO/GPO3-(300) (pan-mollicutes) et MG14F/MG13R et mgc2F/mgc2R (MG) (Annexe 6). Afin de gagner en rapidité d'identification, une qPCR a été développée pour les amorces MGSO-GPO3-

utilisant la technologie SYBR® Green (kit LightCycler® 480 SYBR Green I Master) (Roche®, Basel, Switzerland). Les mélanges PCR contenaient 7,2 µL d'eau, 0,4 µL de chacune des amorces, 10 µL de mix et 2µL d'ADN échantillon. Le programme d'amplification a débuté par une étape de 3 minutes à 95°C suivie de 40 cycles aux conditions suivantes : 10 s à 95°C, 15 s à 55°C (température d'hybridation) et 15 s à 72°C. La fin du programme s'est terminée par une étape de fusion 10 s à 95°C, 60 s à 65°C et 1 s à 97°C puis d'un refroidissement de 30 s à 37°C. Les amplicons obtenus ont ensuite été purifiés à l'aide du kit NucleoSpin® Gel and PCR Clean-up à partir des produits de qPCR puis envoyés pour séquençage Sanger.

Culture et identification des bactéries par milieu classique

Des géloses Columbia (5% sang de mouton) (COS) ainsi que des géloses chocolat (PVX)¹⁵ ont été utilisées afin de cibler plus spécifiquement la bactérie AvP. Les géloses au sang ont été striées de la bactérie *Staphylococcus epidermidis*¹⁶ afin de respecter les besoins des souches AvP facteur V dépendants. Les géloses ont été ensemencées avec 20µL de milieu Amies puis mises en incubation à 37°C pendant 24 à 48h (en fonction de la croissance) en atmosphère enrichie en CO₂. Un repiquage a eu lieu pour trois isolats de chacun des « types morphologiques » différents isolés sur gélose COS et PVX en vue d'une identification par MALDI-TOF. Le protocole de dépôt des colonies sur la plaque prévue à cet effet est disponible en Annexe 9.

Analyse biomoléculaire (qPCR et séquençage)

En supplément des mises en cultures et afin d'augmenter la sensibilité de détection¹⁷, des qPCR ciblant MG, AvP et *Mycoplasma* spp. (amorces pan-mollicutes) ont été réalisées au plus près du prélèvement. Pour cela, une qPCR a été effectuée à partir de l'extraction de 150 µL de milieu Amies liquide de chaque mélange d'écouvillons. L'extraction a été réalisée à l'aide d'un kit commercial d'extraction NucleoSpin® RNA Virus de Macherey-Nagel ©. La recherche par qPCR de MG a été réalisée à l'aide des amorces MG16S (301) puis mgc2 (302), celle d'AvP avec les amorces HPG2 (303) et avec le kit SYBR® Green (kit LightCycler® 480 SYBR Green I Master, Roche®) (Annexe 6). Les mélanges PCR contenaient 7,2 µL d'eau, 0,4 µL de chacune des amorces, 10 µL de mix et 2µL d'ADN échantillon. Le programme d'amplification a débuté par une étape de 3 minutes à 95°C suivie de 40 cycles aux conditions suivantes : 30 s à 95°C, 30 s à 60°C et 60 s à 72°C. S'en est suivi une étape de fusion : 10 s à 95°C, 60 s à 65°C, 1 s à 97°C. La fin du programme s'est terminée par 3 min à 72°C.

¹⁵ De chez bioMérieux® (Marcy-l'Étoile, France), respectivement les références 43041 et 43101

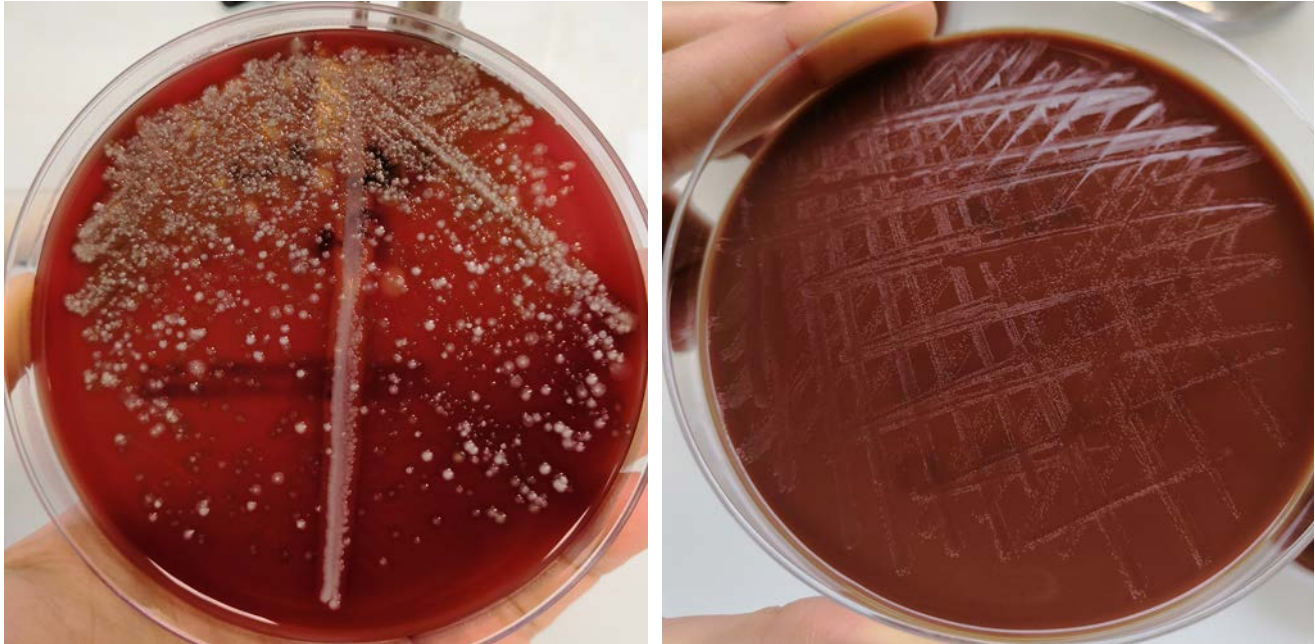
¹⁶ Souche identifiée récupérée auprès du laboratoire Bio Chêne Vert à Arzacq-Arraziguat, que je remercie pour son aide

¹⁷ On augmente la sensibilité de détection en étant au plus près du prélèvement initial et en évitant le biais de la croissance et compétition bactérienne lors de la mise en culture

Résultats

Approche par bactériologie classique et par qPCR

De nombreuses colonies de morphologies différentes ont été observées sur géloses au sang (Figure 17).



A)

B)

Figure 17 : Observation de colonies bactériennes sur milieu de culture solide

A) Primo-culture à partir du milieu liquide Amies et B) repiquage de souches sélectionnées sur leur aspect morphologique, exemple de culture pure d'ORT

Le Tableau 12 ci-dessous présente les Ct obtenus par qPCR pour les cibles AvP, MG ainsi que les autres espèces de mycoplasmes identifiées par séquençage dans les 6 basses-cours. Il présente également les résultats obtenus par isolement sur gélose au sang et identification MALDI-TOF.

En ce qui concerne les résultats PCR, on constate l'absence de MG et la présence d'AvP à des Ct élevés (> 30) indiquant une pression d'infection assez faible et un possible portage chronique à bas bruit de la bactérie. Il a été remarqué que les pools analysés présentaient des valeurs de Ct homogènes au sein d'une même basse-cour. On peut donc penser que, pour MS, MG et AvP qui sont des agents bactériens dont le portage est le plus souvent chronique, l'analyse d'un mélange de 5 individus est suffisante pour en déduire le statut sanitaire de la basse-cour vis-à-vis de ces agents pathogènes.

Tableau 12 : Résultats des identifications des souches isolées à partir des écouvillons oropharyngés par qPCR et par culture

BC	Effectif de Poules	qPCR			Culture			
		Mycoplasma sp.	MG (Ct)	AvP (Ct)	ORT	<i>Avibacterium endocarditis</i>	<i>Streptococcus suis</i>	<i>Gallibacterium anatis</i>
BC9	60	<i>M. synoviae</i>	--	31.0	-	+	-	+
BC10	12	<i>M. synoviae</i>	--	31.0	-	-	+	+
BC26	30	<i>M.gallinaceum</i>	--	--	+	+	-	+
BC29	47	<i>M. synoviae</i>	--	--	-	+	-	+
BC36	2	<i>M.gallinarum</i>	--	--	+	-	-	+
BC41	2	<i>M.gallinarum</i>	--	--	-	-	+	+
Total	--		0/6	2/6	2/6	3/6	2/6	6/6

Culture spécifique pour isolement de *Mycoplasma sp.*

Il n'a pas été isolé de MG à la culture (aucune identification par qPCR sur les prélèvements réalisés). En revanche, à partir des bouillons, des clones de *Mycoplasma gallinaceum* et *Mycoplasma gallinarum* ont été isolés. Les identifications réalisées des clones isolés à partir des bouillons de culture ont été identiques aux résultats de séquençages directement obtenus à partir des pools d'écouvillons ayant été analysés par qPCR sauf pour MS qui n'a pas pu être isolé par la culture. Les clones obtenus à partir d'une des basses-cours ont été des isolats de *Mycoplasma gallinaceum* et non de MS. La Figure 18 ci-dessous illustre les techniques de mise en culture et d'isolement de *Mycoplasma sp.* Les résultats issus des cultures sont détaillés en Annexe 10 et Annexe 11.

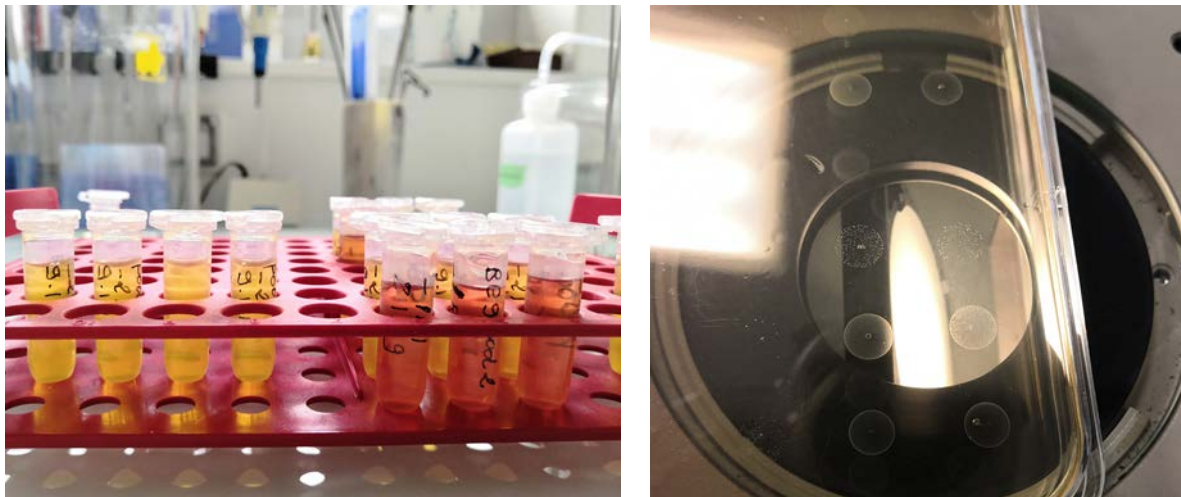


Figure 18 : Culture et repiquage de mycoplasmes

A) Mise en culture en milieu liquide pour isolement de mycoplasmes B) Colonies de mycoplasmes sur milieu solide

Ainsi, une première description de la flore respiratoire de l'arbre supérieur de six basses-cours a été réalisée par la mise en culture d'écouvillons oropharyngés et l'utilisation d'outils moléculaires. Les six basses-cours étudiées ne présentaient que des poules pondeuses ou poulets de chair au moment des prélèvements. MG n'a pas été détecté par qPCR alors que d'autres espèces de mycoplasmes telles que MS, *Mycoplasma gallinaceum* et *Mycoplasma gallinarum* l'ont été. AvP a également été détecté par qPCR dans deux basses-cours à des charges faibles (Ct= 31). En ce qui concerne l'identification des pasteurelles et les riemerelles par la culture, seules *Avibacterium endocarditis* et ORT ont été isolées à partir des milieux Amies. Toutefois, d'autres bactéries d'intérêt pour la santé humaine et animale ont été isolées et identifiées : *Gallibacterium anatis* et *Streptococcus suis*.

Discussion et perspectives

Malgré le faible nombre de basses-cours étudiées dans ce chapitre, ces premiers résultats lèvent plusieurs verrous méthodologiques et identifient des points importants à considérer pour l'étude de la flore respiratoire. Des études préliminaires non présentées ici ont montré les points suivants :

- ❖ Pour l'identification de mycoplasmes pathogènes par la mise en culture, les analyses les plus pertinentes sont les cultures faites au plus près du prélèvement, soit directement à partir de l'écouvillon (sans repiquage ou mise en culture intermédiaire) afin d'éviter la compétition avec les mycoplasmes non pathogènes. Cela vient confirmer la littérature à ce sujet (304).
- ❖ De la même façon, pour la mise en culture, une analyse individuelle semble être préférable à une analyse en mélange pour limiter les risques de « dilution » et de compétition entre espèces de mycoplasmes des différents échantillons et est confirmée dans la littérature (304).

- ❖ L'isolement de MG par la culture est possible uniquement pour un Ct < 30 par qPCR d'un même échantillon.

Isolement de la bactérie à potentiel zoonotique : *Streptococcus suis*

Au cours de cette étude, la bactérie *Streptococcus suis* (*S. suis*), qui est un agent zoonotique connu à l'interface porc-homme, a été isolée. *S. suis* a été identifié comme un habitant normal des amygdales, non seulement des porcs, mais aussi des bovins, des chiens et des chats. Les différents sérotypes de *S. suis* ont des virulences différentes et il a été montré qu'ils pouvaient être agent de septicémies tout comme faire partie de la flore commensale (305). Le sérotype de type 2 a été isolé lors de chocs toxiques (306). Seule une étude a identifié *S. suis* chez des oiseaux présentant des signes septicémiques (serotype 9) (305). En revanche, une étude a montré l'importance du portage de *S. suis* chez les poulets au Vietnam, ce qui vient souligner son portage possible par les oiseaux de basse-cour et donc l'intérêt de la biosécurité pour limiter la circulation de cette bactérie entre oiseaux de basse-cour et homme.

***Avibacterium* spp., *Gallibacterium* spp.,**

Gallibacterium anatis a été isolé à partir de toutes les basses-cours étudiées, indiquant un niveau de portage asymptomatique élevé. Dans la littérature, *Gallibacterium anatis* est décrit comme un hôte commensal de l'appareil respiratoire et des organes reproducteurs (307). Toutefois, au cours des dernières années, la présence de cette bactérie a été corrélée à une chute des performances des poules pondeuses et pondeuses reproductrices conséquentes à des salpingites et péritonites chroniques et sévères (308–313). De plus, des infections expérimentales ont montré son rôle pathogène primaire (314,315) ainsi que l'existence de profils d'antibiorésistance élevés (276). Pourtant, notre étude montre un portage respiratoire sans présentation de signes cliniques pouvant remettre en question son rôle d'agent pathogène primaire. Une étude montre la présence plus importante de cette bactérie dans les élevages de poules pondeuses biologiques (316), ce qui peut expliquer le fort niveau de prévalence observé ici, l'élevage en basse-cour s'apparentant le plus à un système biologique ou plein air. Il semble que le statut immunitaire de l'hôte joue un rôle important dans l'apparition des signes cliniques associés aux infections à *Gallibacterium anatis* (Figure 19).

En ce qui concerne AvP, il a été observé un portage faible (Ct>30) et intermittent dans les basses-cours étudiées. AvP n'a pas été isolé à partir des milieux de culture ce qui peut nous conduire à penser que 1) la bactérie est très exigeante et que la mise en culture est difficile, 2) qu'il est difficile de l'isoler en présence d'autres bactéries 3) que des Ct > 30 ne sont pas suffisants pour un possible isolement par culture. On peut ainsi penser que pour des Ct > 30, la transmission effective de la bactérie à d'autres basses-cours par la voie aéroportée est mineure (111). Néanmoins, une homogénéité des Ct des mélanges analysés a été observée (résultats non présentés). Cela indique une « homogénéisation » possible du statut sanitaire des oiseaux d'une même basse-cour vis-à-vis de la bactérie. On peut ainsi penser que les oiseaux d'une même basse-cour

finissent par obtenir un même « niveau de portage » de AvP, devenant ainsi des porteurs chroniques et asymptomatiques. Cela évoque ainsi la question de leur virulence effective. Il semblerait que ce soit les conditions environnementales, les introductions ou les infections intercurrentes qui conduisent à une augmentation de la circulation et de la diffusion de la bactérie AvP pouvant conduire à des signes cliniques sévères (317,318) (Figure 19). Pour *Avibacterium endocarditis*, il n'y a pas d'information concernant les moyens de transmission, les niveaux de portage et les vecteurs potentiels de la bactérie (111). Toutefois, au vu de nos résultats (50% de positifs), on peut penser qu'il existe un portage asymptomatique de la bactérie par les basses-cours.

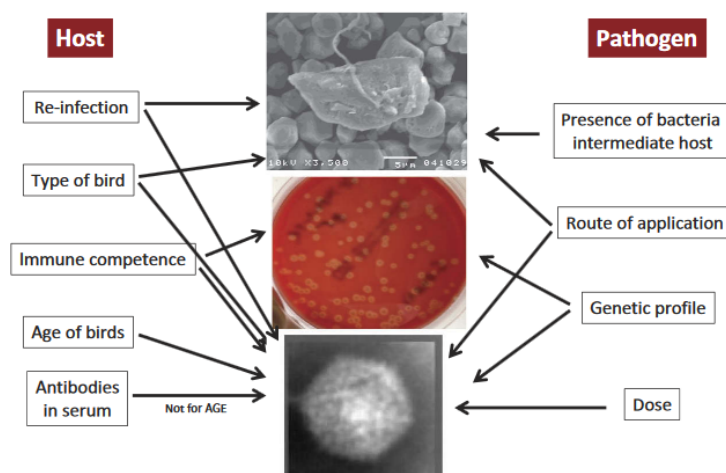


Figure 19 : Paramètres influençant expérimentalement l'interaction hôte-agent pathogène pour *Gallibacterium* spp., *Avibacterium* spp. (276)

Pasteurellaceae: Ornithobacterium rhinotracheale

ORT a été isolé dans deux des six basses-cours étudiées. Le portage d'ORT semble être une caractéristique du secteur familial pouvant ainsi potentiellement affecter chaque nouvelle mise en place dans un élevage commercial ayant un lien épidémiologique avec celui-ci. L'infection semble se propager horizontalement par contact direct ou indirect par le biais d'aérosols, d'eau de boisson ou de matériaux contaminés. Sa survie à des températures plus basses peut-être associée à l'incidence plus élevée des infections pendant les mois d'hiver (279). L'étude du contexte associé à la présence ou absence de la bactérie dans les basses-cours asymptomatiques permettrait ainsi de mieux comprendre sa dynamique de portage et de dispersion.

***Mycoplasma* spp.**

Dans cette étude, des mycoplasmes non pathogènes ont été isolés. L'identification de séquence de MS par qPCR ciblant la classe des Mollicutes indique pourtant la possible présence de mycoplasmes pathogènes. Taylor-Robinson et al., s'interroge sur le rôle des mycoplasmes non pathogènes dans l'immunité de l'hôte. En effet, il identifie un effet protecteur de certaines espèces de mycoplasmes non pathogènes telle que

Mycoplasma gallinarum (319). Il a également été montré que le portage des différentes espèces de mycoplasmes dépendait des systèmes d'élevages, mais aussi de la race et de la situation géographique (269,320). L'absence de dépeuplement dans les exploitations, le contact continu entre des animaux d'âges différents ont permis la circulation de souches apathogènes dans ces élevages pouvant ainsi avoir un rôle protecteur dans les infections à MG et MS.

Ainsi, l'enjeu le plus important semble être le maintien d'un microbiome « sain ». L'attribution de signes cliniques ne peut pas être faite sur la seule base de l'identification d'agents pathogènes ciblés. En effet, la présence de mycoplasmes identifiés comme pathogènes dans le secteur commercial peut ne pas avoir d'incidence dans le secteur des basses-cours ou bien conduire à un portage asymptomatique. Considérer l'hypothèse du déséquilibre microbien suite à des co-infections et des erreurs de gestion d'élevage semble être préférable à la recherche dudit pathogène (145). On peut citer pour exemple, la présence plus élevée de MG et de *Mycoplasma gallinaceum* en présence de virus comme l'IBV favorisant ainsi sa réplication dans la trachée des poulets. À l'inverse, il a été montré que la présence de l'IBV limitait la prolifération de ces deux espèces de mycoplasmes illustrant ainsi la complexité des interactions entre agents pathogènes (321).

De plus, il se peut que les souches bactériennes ne soient pas tout à fait identiques dans les secteurs commerciaux et familiaux ce qui peut conduire à des signes cliniques différents pour de mêmes espèces. En effet, il a été mis en évidence des mutations génétiques de souches de mycoplasmes pathogènes et non pathogènes isolées dans des élevages commerciaux, ces mutations étant associées à des résistances aux antibiotiques (322).

Bactériologie clinique : enjeux et perspectives

Aujourd'hui, les procédures de culture conventionnelles (ou « classiques ») permettent la culture de moins de 1% des micro-organismes (270). Il est donc possible que certaines souches ou espèces n'aient pas encore été cultivées et identifiées. De plus, les co-infections peuvent avoir un impact majeur dans l'identification d'espèces *in vitro*. En effet, certaines études montrent qu'il est difficile de cultiver la bactérie ORT seule, et qu'il existe souvent une synergie entre *E.coli* et ORT à la culture favorisant ainsi la pousse d'ORT en compétition avec d'autres bactéries (323,324). Ainsi, nos résultats diffèrent de ce point de vue, car des bactéries *Pasteurella-like* ont été plus facilement isolées que *E.coli* lors des mises en culture. Cela pourrait indiquer que l'équilibre entre les différentes espèces *in vivo* joue un rôle prépondérant dans l'isolement de bactéries par la méthode classique de mise en culture. La culture classique implique donc un biais important.

Le développement récent de nouveaux outils moléculaires permet de pallier à cela en s'affranchissant plus ou moins totalement de la mise en culture pour l'identification et la description d'espèces. Tout d'abord, les techniques de PCR et qPCR (325) dont le principe est l'amplification d'une région génomique ciblée, permettent une grande variabilité d'usage en raison du choix de la zone du génome à amplifier. En effet, l'objectif ne sera pas le même en fonction de la fonction du gène ciblé, de sa variabilité et/ou conservation

ainsi que de sa spécificité à une espèce. On peut citer l'exemple du séquençage du gène bactérien 16S qui est couramment utilisé pour l'identification d'espèces bactériennes (326,327). Le gène codant pour les ARN ribosomiques 16S étant très conservé, le séquençage d'autres gènes plus spécifiques d'espèces vient souvent compléter l'identification. De nouvelles techniques permettant de séquencer plus vite et/ou plus de gènes à la fois se sont ainsi développées au cours des dernières années. La technique MLST (Multilocus sequence typing) et le développement de PCR multiplex ou de PCR à haut débit permettent d'amplifier plusieurs cibles en une même réaction. Ces techniques ont été utilisées pour comparer les souches d'une même espèce telles que MS et MG (328–330) et investiguer des co-infections respiratoires chez la volaille tel qu'il a pu être le cas dans notre étude (113).

En comparaison au séquençage Sanger de première génération, les plateformes de NGS (Next Generation Sequencing) de deuxième génération ayant des séquenceurs de type Illumina (Miseq, Hiseq et Novaseq) et Ion Torrent (PGM et ion Proton) permettent le développement d'une approche métagénomique et microbienne au sens large. Enfin, les plateformes de troisième génération usant de technologies telles que PacBio SMRT (Pacific biosciences), MinION (Oxford Nanopore) permettent des lectures de matériel génétique de très grande taille, en temps réel, sans la nécessité d'amplifier. Cela permet ainsi de générer rapidement des génomes complets « Whole genome sequencing » (331–333). On peut également citer l'approche métagénomique shotgun qui permet un séquençage haut débit de la totalité du matériel génétique dans un échantillon (334). Aussi, les tests moléculaires peuvent également permettre une caractérisation plus fine de l'agent pathogène identifié par la recherche de signatures génétiques spécifiques de résistance aux antibiotiques, antiviraux ou de marqueurs de pathogénicité (335,336).

Ainsi, l'ensemble des outils moléculaires actuels permettent une grande diversité et une profondeur dans l'analyse des agents pathogènes, qu'ils soient ciblés ou présents dans un contexte de co-infection. Néanmoins, le seuil de détection de l'amplification d'un ou plusieurs gènes d'un agent infectieux doit être interprété avec précaution avant de conclure quant à la présence de signes cliniques. En effet, ces outils fournissent de l'information sur la présence de matériel génétique d'un micro-organisme, mais n'indiquent en rien leur capacité à se multiplier. La compréhension des processus physiopathologiques permise par les approches d'anatomie pathologique : analyses morphologiques (observation macroscopique ou histologie) et fonctionnelles (immunohistochimie) ainsi que la réalisation d'enquêtes épidémiologiques permettent de confirmer le diagnostic moléculaire. L'approche épidémiologique permettant de comprendre si les infections respiratoires sont épizootiques, enzootiques et/ou sporadiques, l'étude de la cinétique de portage et d'excrétion dans le temps en fonction des facteurs de risques identifiés semble alors indispensable pour conclure.

Aussi, la connaissance du microbiome de l'arbre respiratoire supérieur et inférieur d'oiseaux sains permettrait d'établir des associations entre bactéries commensales et/ou pathogènes en regard de signes cliniques éventuels et d'effectuer le suivi d'infections endémiques dans des zones géographiques ciblées. Les

oiseaux pouvant être des réservoirs d'agents pathogènes zoonotiques, mieux comprendre le microbiome respiratoire sain des oiseaux devient un enjeu de santé publique (Waldenstrom 2003, Abulreesh 2007 dans Shabbir et al.). On peut penser que le microbiome des basses-cours pourrait jouer le rôle de « microbiome » sentinelle en comparaison de celui des élevages commerciaux dont la gestion d'élevage est différente. L'expansion des outils de métagénomique et de séquençage à haut débit, avec et sans à priori, permettant de réduire les coûts, de gagner en rapidité d'analyse et de détection tout en augmentant le panel des cibles pourrait conduire à une nouvelle stratégie de surveillance aux différentes interfaces homme-volaille.

Partie 3 : À l'interface des basses-cours et des élevages avicoles commerciaux

Introduction

Cette partie s'intéresse plus précisément aux élevages familiaux ayant une proximité géographique avec des élevages commerciaux. En effet, plusieurs études montrent que les risques majeurs de circulation d'agents pathogènes entre élevages commerciaux et familiaux sont définis par deux types de connexion : la connexion fonctionnelle et la connexion géographique.

La connexion fonctionnelle correspond à l'ensemble des mouvements de personnes et d'animaux dans les secteurs commerciaux et familiaux. Comme l'ont montré Steenwinkel et al., les flux d'animaux vivants ou d'œufs sont très importants dans la filière commerciale et sont majoritairement définis par les déplacements entre élevages et couvoirs, fermes de finition (ou gavage pour les canards) et abattoirs, ainsi que vers les élevages familiaux (dans le cas de l'adoption de poules de réformes). Pourtant, les flux de personnes sont encore plus importants que les flux d'animaux eux-mêmes et peuvent également représenter un risque majeur de transmission indirecte d'agents pathogènes : visites de fermes par les techniciens, vétérinaires, usines d'aliments, équipes de vaccination, équipes de nettoyage-désinfection, camions d'équarrissages, services de gestion des effluents ou litières, agences gouvernementales et organismes certificateurs (35). Dans le secteur familial, les flux d'animaux sont moins importants que dans le secteur commercial bien qu'ils aient été décrits comme pouvant être relativement importants, et ce, particulièrement dans le contexte de l'élevage de loisir (37). En revanche, dans d'autres contextes, comme dans le cadre de la basse-cour traditionnelle en milieu rural, les flux de personnes peuvent jouer un rôle dans les transmissions à l'échelle locale s'il existe une forte densité d'élevages à proximité et des contacts entre propriétaires de basses-cours et/ou élevages commerciaux.

Le lien spatial et la connexion géographique entre élevages sont un autre aspect important à considérer dans l'étude de la circulation des agents pathogènes. Lors de l'épidémie d'IA de 2004 (H7N3) en Colombie-Britannique, des particules virales ont pu être détectées jusqu'à 800m des fermes foyers indiquant une possible diffusion du AIV par des aérosols sur une centaine de mètres (163,164). De plus, la présence de possibles hôtes relais tels que la faune sauvage et la faune domestique locale, les personnes circulant à proximité des foyers (éleveurs, vétérinaires, services techniques) et l'utilisation de routes à proximité peuvent faciliter la transmission virale (49).

Il a été montré, dans les parties précédentes de ce manuscrit, que les élevages familiaux localisés dans des zones rurales pouvaient être situés dans des zones de forte densité avicole, être à proximité d'élevages commerciaux (<1km) et qu'ils avaient un lien fonctionnel plus fort avec le secteur commercial que dans les

autres cas. Ainsi, l'étude de la transmission des agents pathogènes entre les secteurs commerciaux et familiaux en milieu rural semble pertinente, car il s'agit du contexte le plus à risque (132,158).

Les deux chapitres suivants répondent à deux objectifs distincts qui diffèrent aussi en termes de contextes. Le premier article présenté dans le chapitre I a pour but d'évaluer le rôle joué par les basses-cours dans la circulation du VIAHP H5N8 lors de l'épizootie de 2016-2017 dans le département du Gers. Pour cela, les niveaux de séroprévalence des basses-cours à proximité d'élevages commerciaux foyers ont été étudiés. Une analyse multivariée a ensuite permis d'identifier les facteurs de risques associés aux prévalences.

La seconde étude a été effectuée en dehors d'un contexte de crise sanitaire. Son objectif a été d'identifier les niveaux de prévalence de plusieurs agents pathogènes respiratoires au sein du secteur commercial (poulets Label du Gers) afin de les comparer aux données acquises dans le secteur familial dans le même département (le Gers) et d'estimer « l'étanchéité » existant entre les deux secteurs.

CHAPITRE I : Identification de pratiques à risque en contexte épizootique de circulation du virus influenza H5N8 à l'interface des élevages commerciaux

Introduction

Le VIA est un virus grippal de type A et un agent pathogène zoonotique qui suscite d'importantes préoccupations économiques et de santé publique. Le sous-type H5N1 de l'IAHP présente un intérêt particulier. Apparu en 1997, il a été responsable de la mort de millions d'oiseaux dans le monde et continue de persister à des niveaux endémiques dans certains pays (337). Le sous-type H5N1 de l'IAHP est également capable de franchir les barrières des espèces pour atteindre les populations humaines. En 2006, l'IAHP H5N1 a été détecté en France, ainsi que dans le reste de l'Europe. Le sous-type H5N8 apparaît en France en 2014 sur des zones géographiques de forts flux migratoires. Non pathogène pour l'homme à ce jour, il est en revanche pathogène pour les poules et palmipèdes domestiques.

Au cours des années 2016-2017 (et 2020-2021), des foyers importants d'IAHP se sont déclarés en Europe ayant des conséquences socio-économiques majeures sur les filières avicoles. Du 28 novembre 2016 au 23 mars 2017, 484 foyers d'IAHP ont été signalés dans des élevages avicoles français associés à un virus H5N8 du clade 2.3.4.4. (80,338). Si la plupart des foyers sont apparus dans des élevages commerciaux (n=464), 20 basses-cours ont également été touchées. On considère généralement que les basses-cours sont exposées au risque d'introduction de VIA par les animaux sauvages et par les volailles commerciales proches, lors des épizooties (137,339). À ce jour, on sait peu de choses sur la prévalence de VIA dans les basses-cours à proximité des exploitations commerciales et sur leur rôle éventuel dans la transmission dans des contextes épizootiques.

En Italie, basée sur les épidémies d'influenza de 1997 et 2003, la littérature confirme que les basses-cours de plein air présentent un risque élevé d'introduction du virus de la grippe aviaire, et confirment le rôle des oiseaux aquatiques sauvages dans l'introduction des VIA faiblement pathogènes (FP) dans les élevages pendant la saison hivernale en Europe du Sud (137). Toutefois, d'autres études aux États-Unis et en Europe indiquent une absence ou faible séroprévalence vis-à-vis du VIA, oscillant entre 0,7% et 23,1% des basses-cours étudiées (9,27,90,127,132).

L'objectif de cette étude a été d'évaluer les niveaux de prévalence pour le VIA dans les basses-cours et d'étudier leur rôle dans la circulation du VIA A et H5N8 HP à proximité des élevages commerciaux foyers en contexte épidémique.

Article 4

Role of Backyard Flocks in Transmission Dynamics of Highly Pathogenic Avian Influenza A (H5N8) Clade 2.3.4.4, France, 2016–2017.

Role of Backyard Flocks in Transmission Dynamics of Highly Pathogenic Avian Influenza A(H5N8) Clade 2.3.4.4, France, 2016–2017

Marie Souvestre, Claire Guinat, Eric Niqueux,
Luc Robertet, Guillaume Croville,
Mathilde Paul, Audrey Schmitz, Anne Bronner,
Nicolas Eterradossi, Jean-Luc Guérin

Highly pathogenic avian influenza A(H5N8) clade 2.3.4.4 spread in France during 2016–2017. We assessed the biosecurity and avian influenza virus infection status of 70 backyard flocks near H5N8-infected commercial farms. One flock was seropositive for clade 2.3.4.4. Backyard flocks linked to commercial farms had elevated risk for H5 infection.

In the past 2 years, major outbreaks of highly pathogenic avian influenza (HPAI) occurred in Europe, resulting in severe socioeconomic effects on the poultry industry (1,2). During November 28, 2016–March 23, 2017, a total 484 HPAI poultry outbreaks associated with influenza A(H5N8) clade 2.3.4.4 viruses of Eurasia A/goose/Guangdong/1/1996 lineage were reported in France (2). Virus introduction into the index farm probably was associated with wild birds; however, other transmission pathways for virus spread between farms have been considered, including trade-related movements and spatial proximity (2). Although most outbreaks occurred in commercial flocks ($n = 464$), outbreaks in ≈ 20 backyard flocks also were reported (2). Backyard flocks are generally assumed to be at risk for avian influenza virus (AIV) introduction from wildlife and from nearby commercial poultry flocks during influenza outbreaks (3,4). Because little is known about the prevalence of AIV in backyard flocks contiguous to commercial farms, we aimed to quantify the seroprevalence of AIV and H5 subtype and to identify risk factors for infection in backyard flocks near commercial farms affected by HPAI H5N8 during the 2016–2017 epidemic.

The Study

We conducted our study in Gers Department (1 of the 101 administrative units in France). Gers accounted for 19.8% (96/484) of the HPAI H5N8 outbreaks reported during the epidemic; 55.2% (53/96) of the Gers outbreaks were spatiotemporally clustered during December 11, 2016–January 4, 2017 (2). Our study targeted backyard flocks that were located within a 1-km radius from HPAI H5N8 outbreaks reported on commercial farms in Gers ($n = 169$) (Figure). At the time of our study, no backyard flock in Gers had been reported as HPAI infected.

Using a 28-question form, we conducted face-to-face interviews with each backyard flock owner during March 31–May 10, 2017. The 28 closed or semiclosed questions concerned the species of poultry, biosecurity practices, contacts with other flocks, and health status of the birds. We explained the purpose and methods of the study to all participants, who gave their consent to participate.

We sampled all backyard flocks up to a limit of 10 birds >6 months of age, which ensured that all sampled birds had been exposed to the HPAI outbreaks. Because flock size was as high as 60 birds (median 14 birds), detection thresholds ranged from 20% to 30% with a 95% CI. Not all flock owners consented to or were available for the study; in all, we were able to include 70 of the 169 backyard holdings.

We collected blood samples, tracheal swabs, and cloacal swabs. Blood was stored at 4°C after shipment, then serum was extracted and stored at -20°C . Tracheal and cloacal swabs were stored at -80°C until analysis. We performed serologic testing for AIV by using ELISA (IDVet ID Screen Influenza A Antibody Competition Multi-Species kit, <http://www.id-vet.com>). We considered a backyard flock as seropositive if ≥ 1 bird was found to be positive. We then tested AIV-seropositive backyard flocks for H5 antibodies by using the same IDVet ELISA kit, and we used hemagglutination inhibition tests to detect clade 2.3.4.4 H5 or other H5 Eurasian viruses (Appendix Table 1, <https://wwwnc.cdc.gov/EID/article/25/3/18-1040-App1.pdf>). Finally, we individually tested all birds from seropositive backyard flocks for AIV gene M and subtype H5 by using reverse transcription PCR (5,6). We performed descriptive statistics to assess how seroprevalences

Author affiliations: Ecole Nationale Vétérinaire, Institut National de la Recherche Agronomique, Université de Toulouse, Toulouse, France (M. Souvestre, C. Guinat, L. Robertet, G. Croville, M. Paul, J.-L. Guérin); Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, Ploufragan, France (E. Niqueux, A. Schmitz, N. Eterradossi); Direction Générale de l'Alimentation, Paris, France (A. Bronner)

DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2503.181040>

of AIV and H5 subtype were affected by flock owners' practices (Appendix).

Estimated overall flock-level seroprevalence was 25.7% (95% CI 16.9%–37.0%) for AIV and 11.4% (95% CI 5.9%–21.0%) for H5 (Table 1). Estimated overall bird-level seroprevalence was 5.9% (95% CI 4.3%–8.1%) for AIV and 3.3% (95% CI 2.1%–5.0%) for H5. All birds tested were PCR-negative for gene M and H5.

Among H5 ELISA-seropositive birds, only 3 belonging to the same flock showed positive hemagglutination inhibition titers against a clade 2.3.4.4 HPAI H5N8 antigen, and we could not confirm detection of clade 2.3.4.4-specific H5 antibodies with a second clade 2.3.4.4 H5N5 antigen in 1 of these birds. This backyard flock included chickens and ducks and was not adjacent to a commercial farm, and the owner reported working in a poultry meat processing plant.

Other H5 ELISA-positive birds were mainly seropositive for a couple of antigens from other H5 Eurasia lineages instead of clade 2.3.4.4 H5 HPAI virus. We could not distinguish between antibodies targeting low-pathogenicity or HPAI H5Nx viruses that spread in the region during 2015–2016 (1) (Appendix Table 1). This finding suggests that backyard flocks might have played a limited role in HPAI H5N8 transmission between farms during the 2016–2017 epidemic. Seroprevalence was higher in ducks than in chickens for AIV (13.1% [95% CI 8.2%–20.2%] vs. 4.1% [95% CI 2.7%–6.3%]) and H5 (9.0% [95% CI 5.1%–15.4%] vs. 1.9% [95% CI 1.0%–3.5%]).

Backyard flocks that included ducks were more likely to be AIV-positive (odds ratio [OR] 2.3, 95% CI 1.1–5.1) and H5-positive (OR 5.7, 95% CI 1.6–30.6) than those having only chickens. These results are consistent with several studies emphasizing the role of ducks on AIV shedding and transmission (1). Specific attention was paid to flocks having ducks in the sampling design in the field because duck species could be considered as an additional risk factor (1). Thus, our study might overestimate the overall seroprevalence at the backyard flock and bird levels. Backyard flocks that had no fencing outdoors or had no covered food distribution area could be considered at higher risk for exposure

to wild birds. However, these risk factors were not statistically associated with increased AIV or H5 seroprevalence (Appendix Table 2).

Backyard flocks located on or in close proximity to a commercial poultry farm were significantly more likely to be AIV-positive (OR 6.0, 95% CI 1.5–24.5) and H5-positive (OR 20.5, 95% CI 3.2–215.8). To date, proximity of commercial units to backyard flocks has not been considered as a risk factor, despite airborne transmission being suspected to spread disease (7,8). On the basis of the influenza A(H7N7) epidemic in the Netherlands, researchers constructed a model that assumed that infected backyard flocks were an example of spillover from commercial farms and that backyard flocks played no part in transmission (9). Our results highlight the importance of considering the impact of human activities in both the commercial and backyard flock settings. For commercial flocks, human activities have been described as a main source of secondary spread (10), with contacts through persons or shared equipment increasing the risk for AIV transmission (11). Consequently, a lack of biosecurity practices for backyard flocks belonging to commercial poultry farmers might have contributed to an increased risk for AIV infection of backyard poultry (Table 2).

Conclusions

We detected high flock- and bird-level seroprevalence of AIV in the backyard flocks we sampled after the 2016–2017 H5N8 epidemic in France. However, we observed very limited circulation of the H5N8 subtype, which indicates the minor role of backyard flocks in the transmission dynamics of H5N8. Backyard flocks belonging to commercial poultry farmers showed a significantly higher risk for infection with other H5 AIVs than backyard flocks having no links with commercial farms. These findings suggest that, from a risk-based perspective, surveillance of AIV circulation in backyard flocks should be focused on those flocks that have ducks and those connected to commercial poultry farms. On that basis, transmission of other more persistent pathogens of interest, such as mycoplasma or herpesviruses, should be further investigated at the backyard–commercial poultry interface (12).

Table 1. Results of serologic assays for 70 backyard flocks and 608 birds, by bird species comprising the flock, Gers Department, France, 2016–2017

Species comprising flock	Avian influenza virus			Influenza A virus subtype H5		
	Positive	Total	Seroprevalence, % (95% CI)	Positive	Total	Seroprevalence, % (95% CI)
All backyard holdings	18	70	25.7 (16.9–37.0)	8	70	11.4 (5.9–21.0)
Backyard holdings with only chickens	9	48	18.8 (10.2–31.9)	2	48	4.2 (1.2–14.0)
Backyard flocks with ducks	9	22	40.9 (23.3–61.3)	6	22	27.3 (13.2–48.2)
All birds	36	608	5.9 (4.3–8.1)	20	608	3.3 (2.1–5.0)
Chickens	20	486	4.1 (2.7–6.3)	9	486	1.9 (1.0–3.5)
Ducks	16	122	13.1 (8.2–20.2)	11	122	9.0 (5.1–15.4)

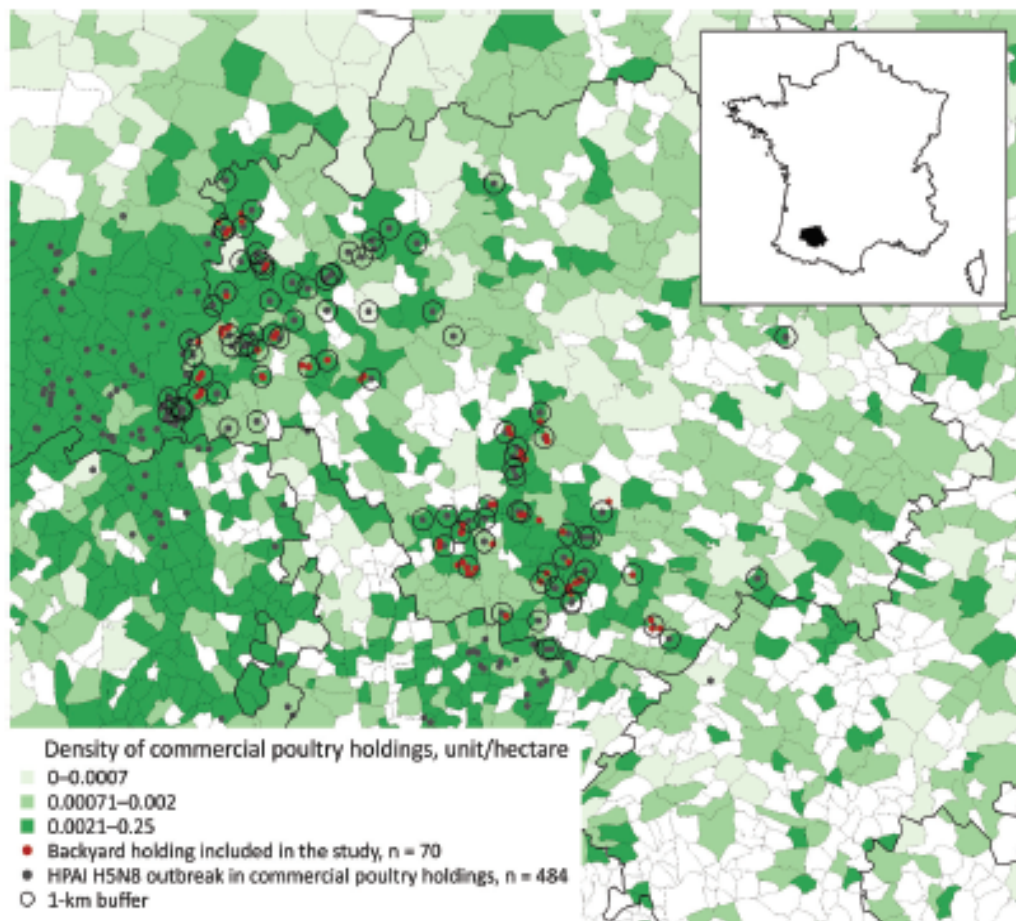


Figure. Locations of 484 commercial poultry holdings with reported outbreaks of HPAI H5N8 and the 70 backyard poultry holdings included in our study, Gers, Department, France, 2016–2017. HPAI H5N8, highly pathogenic avian influenza A virus subtype H5N8.

Table 2. Variables included in the final multivariable logistic regression with avian influenza virus and influenza A virus subtype H5 seroprevalences as outcome variables, Gers Department, France, 2016–2017

Outcome and variable	Odds ratio (95% CI)	p value
Avian influenza virus		
Species included*	2.3 (1.1–5.1)	0.036
Link with poultry industry†	5.8 (1.5–24.5)	0.011
Influenza A virus subtype H5		
Species included*	5.7 (1.6–30.6)	0.019
Link with poultry industry†	20.5 (3.2–215.8)	0.003

*Backyard flocks having ducks (yes vs. no).

†Professional activity of the backyard owner or member of the family home in connection with poultry industry (yes vs. no).

Acknowledgments

We thank the local veterinary services (DDCSPG Gers), the mayors of the communes, and all backyard owners for their kind collaboration; Vincent Blondel, Hugues Duret, Ezhvin Bellec, Bastien Pradel, and Romain Poirot, who actively contributed to field surveys; and Marie-Odile Lebras and Isabelle Pierre for their help with sample analysis.

This project was implemented through the Chaire de Biosécurité Aviaire, granted by the French Ministry of Agriculture (Direction Générale de l'Alimentation). The research leading to these results received funding from the People Programme (Marie Curie Actions) of the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007–2013) under REA grant

agreement no. PCOFUND-GA-2013-609102, through the PRESTIGE Programme coordinated by Campus France.

About the Author

Dr. Souvestre is a veterinarian and a PhD candidate in poultry medicine at the Ecole Nationale Vétérinaire, Institut National de la Recherche Agronomique, Université de Toulouse, Toulouse, France. Her research interests focus on poultry health, the role of backyard poultry in the epidemiology of avian influenza, and the interface between backyard and commercial poultry.

References

- Briand F-X, Schmitz A, Ogor K, Le Prioux A, Guillou-Cloarec C, Guillemoto C, et al. Emerging highly pathogenic H5 avian influenza viruses in France during winter 2015/16: phylogenetic analyses and markers for zoonotic potential. *Euro Surveill.* 2017; 22:30473. <http://dx.doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2017.22.9.30473>
- Guinat C, Nicolas G, Vergne T, Bronner A, Durand B, Courcoul A, et al. Spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N8 spread, France, 2016 to 2017. *Euro Surveill.* 2018;23. <http://dx.doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.26.1700791>
- Terregino C, De Nardi R, Guberti V, Scremin M, Raffini E, Martin AM, et al. Active surveillance for avian influenza viruses in wild birds and backyard flocks in northern Italy during 2004 to 2006. *Avian Pathol.* 2007;36:337–44. <http://dx.doi.org/10.1080/03079450701488345>

4. Bavinck V, Bouma A, van Boven M, Bos MEH, Stassen E, Stegeman JA. The role of backyard poultry flocks in the epidemic of highly pathogenic avian influenza virus (H7N7) in the Netherlands in 2003. *Prev Vet Med.* 2009;88:247–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2008.10.007>
5. World Organisation for Animal Health (OIE). Terrestrial animal health code (2018) [cited 2018 Apr 12]. <http://www.oie.int/en/standard-setting/terrestrial-code/access-online>
6. Slomka MJ, Coward VJ, Banks J, Löndt BZ, Brown IH, Voermans J, et al. Identification of sensitive and specific avian influenza polymerase chain reaction methods through blind ring trials organized in the European Union. *Avian Dis.* 2007;51(Suppl):227–34. <http://dx.doi.org/10.1637/7674-063006R1.1>
7. Power C. The source and means of spread of the avian influenza virus in the lower Fraser Valley of British Columbia during an outbreak in the winter of 2004—interim report. Ottawa (Ontario, Canada): Canadian Food Inspection Agency; 2005.
8. Thomas ME, Bouma A, Ekker HM, Fonken AJM, Stegeman JA, Nielen M. Risk factors for the introduction of high pathogenicity avian influenza virus into poultry farms during the epidemic in the Netherlands in 2003. *Prev Vet Med.* 2005;69:1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.12.001>
9. Smith G, Dumipace S. How backyard poultry flocks influence the effort required to curtail avian influenza epidemics in commercial poultry flocks. *Epidemics.* 2011;3:71–5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epidem.2011.01.003>
10. Alexander DJ. An overview of the epidemiology of avian influenza. *Vaccine.* 2007;25:5637–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2006.10.051>
11. Canadian Food Inspection Agency. Canada's experiences with avian influenza. 2005 [cited 2018 Apr 27]. <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A5334I/A5334I.PDF>
12. Pohjola L, Tammiiranta N, Ek-Kommonen C, Soveri T, Hänninen ML, Fredriksson Ahomaa M, et al. A survey for selected avian viral pathogens in backyard chicken farms in Finland. *Avian Pathol.* 2017;46:166–72. <http://dx.doi.org/10.1080/03079457.2016.1232804>

Address for correspondence: Jean-Luc Guerin, UMR IHAP 1225, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23, chemin des capelles 31076 Toulouse CEDEX 3, France; email: jl.guerin@envt.fr



EID

journal

@CDC_EIDjournal

Follow the EID journal on Twitter and get the most current information from Emerging Infectious Diseases.

Discussion

Cette étude a montré qu'au cours de l'épizootie de 2016-2017, une séropositive vis-à-vis du virus H5N8 (clade 2.3.4.4.b) a été identifiée dans une seule basse-cour (sur 70 unités incluses dans le Gers), dans un contexte de forte circulation dans les élevages commerciaux très proches. Ces résultats indiquent une transmission assez faible du virus IAHP H5N8 aux basses-cours à proximité des élevages foyers dans un contexte épizootique, bien que la transmission par voie aérienne soit soupçonnée de participer à la propagation de l'infection (163,340). Cela vient confirmer les quelques études disponibles concernant la circulation des VIA et ayant montré le rôle limité des troupeaux de basse-cour dans sa circulation en contexte épizootique (256,339).

Toutefois, il a été observé des séroprévalences faibles à modérées vis-à-vis de l'IA et du sous-type H5 à l'échelle du troupeau (respectivement 25,7% et 11,4%). Ces résultats sont assez similaires avec les études publiées (9,27,90,127,132). On observe également une différence de prévalence en fonction de la considération du troupeau ou de l'individu. En effet, à l'échelle individuelle, les prévalences étaient plus faibles qu'à l'échelle du troupeau. Au total, 36/608 (5,9%) oiseaux ont été séropositifs vis-à-vis du VIA. Une étude de séroprévalence en Suisse, effectuée sur 40 basses-cours, indique une séroprévalence de 37,5 % des troupeaux, mais seulement de 3% à l'échelle individuelle (27/888) ce qui vient confirmer nos résultats (139). Cela indique une hétérogénéité des statuts sérologiques pour l'IAV des individus d'une même basse-cour avec un faible nombre d'individus séropositifs dans les basses-cours.

Les niveaux de séroprévalence les plus importants pour les VIA ont été observés dans les basses-cours détenant des palmipèdes et ayant une connexion forte avec les élevages commerciaux. En effet, dans cette étude, les basses-cours présentant des mélanges d'espèces avec présence de palmipèdes étaient 6 fois plus à risque d'être séropositives pour les VIA H5 que les basses-cours n'ayant que des poules. Cela confirme les dires de la littérature montrant que les troupeaux exposés aux oiseaux d'eau sont plus à risque d'être séropositifs (127). Une attention particulière a été portée aux basses-cours détenant des palmipèdes lors des enquêtes ; ainsi il est possible que les basses-cours composées de plusieurs espèces soient surreprésentées dans l'échantillon. Les niveaux de séroprévalence étant plus importants dans les basses-cours de plusieurs espèces, il est possible que le niveau de prévalence moyen de l'ensemble de l'échantillon surestime légèrement le niveau de prévalence réel de la population globale des basses-cours du Gers.

Les compléments d'analyses sérologiques réalisés par des tests HI indiquent toutefois que les virus circulant dans les basses-cours ne sont pas identiques au virus H5N8 présent dans les élevages commerciaux au même moment (sauf dans un cas). Cela peut conduire à l'élaboration de deux hypothèses : 1) d'autres VIA présents dans les élevages commerciaux ou dans l'avifaune sauvage circulant à bas bruit avant (ou pendant) l'épisode H5N8 ont été transmis par « spillover » aux élevages familiaux (poulets ou canards) (172) ; 2) les VIA ont été introduits dans les basses-cours par introduction d'animaux issus des élevages

commerciaux (surtout des canards) et persistent dans le troupeau de façon asymptomatique, car aucun vide sanitaire n'est effectué (341).

Cette étude montre également l'importance de la connexion fonctionnelle¹⁸ avec la filière avicole commerciale. En effet, il a été montré que les propriétaires (ou un des membres du foyer) de basses-cours ayant une activité dans la filière avicole commerciale étaient associés à un risque très élevé d'avoir des basses-cours séropositives au sous-type H5. En effet, ce risque est 20 fois plus important que pour les basses-cours n'ayant pas de connexion fonctionnelle avec la filière avicole commerciale. Cela vérifie les constats publiés ultérieurement : les activités humaines sont les principales sources de propagation secondaire du VIA, notamment les contacts indirects par l'intermédiaire de personnes, de véhicules ou d'équipements contaminés (342). On pourrait donc penser que, dans le cas d'élevages « connectés » aux basses-cours, les virus peuvent circuler du secteur commercial à la basse-cour ou inversement, circuler de la basse-cour à l'élevage commercial.

Ainsi, l'identification des flux de mouvements d'animaux ou de personnes entre les deux secteurs semble indispensable pour comprendre la dynamique de propagation des VIA ou d'autres agents pathogènes. Il semble difficile de répondre à la question du risque représenté par les basses-cours dans un contexte général, car il dépend fortement du type d'agent pathogène, du contexte (épizootie ou enzootie) ainsi que des rapports entre secteurs commerciaux et non commerciaux dans une zone géographique donnée.

¹⁸ La connexion fonctionnelle correspond à des basses-cours d'éleveurs (le propriétaire étant l'éleveur lui-même) ou à une basse-cour d'un foyer dont l'un des membres travaille dans la filière avicole commerciale.

CHAPITRE II : Étude de la prévalence d'agents pathogènes à l'interface élevage commercial – basse-cour en contexte enzootique

Introduction

Les élevages familiaux sont généralement considérés comme des réservoirs d'agents pathogènes (9,127,130,132,136), mais à notre connaissance, aucune étude n'a encore montré une contamination (directe ou indirecte) d'un élevage familial à un élevage commercial. Il a été montré précédemment, ainsi que dans d'autres études, que dans un contexte d'épizootie (circulation du VIA), les élevages commerciaux étaient plus à risque de contaminer les basses-cours à proximité que l'inverse de par leurs grands effectifs, leurs flux importants, et leur densité au sein d'un même territoire (35). Cette même question peut se poser dans un contexte enzootique, pour d'autres agents pathogènes portés de façon chronique et/ou asymptomatique à des niveaux importants. En effet, il a été observé dans la partie 2, une forte prévalence pour les bactéries AvP, ORT, MS (et en moindre mesure MG) ainsi que pour ILTV. On peut donc se demander s'il existe un risque de transmission de ces agents pathogènes des basses-cours aux élevages commerciaux ayant un lien géographique ou fonctionnel.

Le but de cette étude a été d'étudier les niveaux de prévalence d'agents pathogènes respiratoires dans des élevages commerciaux du Gers comme cela a été fait précédemment dans des basses-cours du Gers (Chapitre 1, partie 2). Le système d'élevage de poulets plein air portant le label « Poulet du Gers » a été choisi pour cette étude. En effet, cette typologie d'élevage représente une majorité d'élevages de chair dans le Gers, et leur parcours plein air peut faciliter la transmission de certains agents pathogènes entre basses-cours et élevages commerciaux en comparaison à du poulet en claustration. L'objectif a été de comparer les niveaux de prévalence des élevages commerciaux à ceux des élevages familiaux. À terme, l'enjeu est l'identification d'agents pathogènes présents dans les deux secteurs, qui puissent être correctement isolés et comparés entre eux afin de pouvoir conclure quant à l'origine de la transmission. Ils pourront alors être considérés comme des marqueurs d'infections pertinents caractérisant l'interface élevages commerciaux-élevages familiaux.

Matériel et méthodes

Échantillonnage des élevages commerciaux

Trente-six lots de 36 élevages différents de poulet label du Gers ont été prélevés. L'effectif à prélever a été choisi sur la base de la prévalence estimée de MS dans le compartiment commercial (343). Pour cela, trois groupements de production de poulet label différents ont été contactés. Tous les lots prélevés bénéficiaient de l'appellation label « Poulet du Gers » provenant donc tous de communes du Gers ou de communes limitrophes avec ce département. Les prélèvements ont été effectués au moment de l'abattage des animaux (abattoir de Saramond dans le Gers) et 20 animaux par élevage ont été prélevés entre le 9 mai

et le 21 juin 2019, soit 720 individus. Pour chaque individu, un écouvillon oropharyngé, un écouvillon cloacal et une prise de sang ont été réalisés.

Des E-swab[®] ont été réalisés dans l'oropharynx des poulets sur la chaîne d'abattage. Des écouvillons secs ont été utilisés pour la réalisation des prélèvements cloacaux sur les mêmes individus et 20 tubes de sang (tube sec) ont été prélevés au poste de saignée pour chaque lot. Les poulets prélevés au poste de saignée ne correspondent pas aux poulets ayant connu les prélèvements trachéaux et cloacaux. Les écouvillons ont été conservés à +4°C après le prélèvement pour être transportés à l'école nationale vétérinaire de Toulouse. Les écouvillons secs ont été stockés dans des tubes contenant 400µL de solution saline tamponnée au phosphate à 0,1 M, pH 7,4 (PBS). Les E-swab[®] ont été laissés en milieu Amies liquide. Les écouvillons ont été agités pendant la nuit avant d'être centrifugés. Le liquide baignant les écouvillons a été groupé par cinq échantillons différents avant d'être stocké à -80°C pour un traitement ultérieur. Les tubes secs ont été centrifugés et le sérum a été séparé du caillot sanguin pour être conservé à -20°C.

Extraction de l'ADN et PCR quantitative

Afin de déterminer le statut sanitaire des exploitations commerciales, les mélanges (pools) de 5 oiseaux ont été analysés, soit 4 pools de 5 individus pour chaque lot d'animaux provenant d'élevages différents. Cela représente 144 pools au total. Les prélèvements oropharyngés ont été purifiés pour en extraire l'ADN et l'ARN, grâce au kit NucleoSpin[®] RNA Virus (Macherey-Nagel[®], Düren, Allemagne). L'ARN et l'ADN ont été extraits en suivant les instructions du fabricant et ont été élués dans 50µL d'eau exempte de RNase avant d'être stockés à -80°C, comme recommandé par les instructions du fabricant. La synthèse de l'ADNc a été réalisée comme décrit par Croville et al., (113). La puce nanofluidique utilisée dans cette étude, Biomark[®] 96.96 puces Dynamic Array, le contrôleur IFC HX et le système PCR en temps réel Biomark[®] sont fabriqués par Fluidigm Corporation (San Francisco, CA, USA). L'utilisation des puces BioMark[®] 96.96 Dynamic Array permet la quantification en temps réel de 9216 points en même temps.

Analyse statistique

Suite aux prélèvements, les éleveurs (ou les techniciens de production) dont les animaux ont été prélevés ont été contactés en vue d'identifier ceux qui possédaient une basse-cour sur site ou à très forte proximité de l'élevage. Sur les 36 troupeaux, 18 élevages commerciaux avaient des basses-cours sur site (le reste n'en ayant pas, n=18). Les niveaux de prévalence obtenus dans les élevages commerciaux sur cette campagne de prélèvement 2019 ont été comparés aux niveaux de prévalence obtenus dans les 64 basses-cours du Gers prélevées en 2017 à l'aide de la fonction prop.test (test de comparaison de proportions) à l'aide du logiciel R 3.4.1 (344).

Échantillonnage des basses-cours connexes et séquençage

Suite aux résultats de prévalence obtenus dans les élevages commerciaux obtenus au cours de l'été 2019, deux basses-cours ont été prélevées le 13 janvier 2020 (soit six mois après les prélèvements effectués dans le compartiment commercial). Les basses-cours ciblées ont été les basses-cours présentes sur les sites d'élevages commerciaux ayant présenté une positivité pour AvP et/ou MS (L5 et L19). Une équipe est allée sur site pour étudier les liens de proximité entre basses-cours et élevages commerciaux et pour prélever l'ensemble des animaux des deux basses-cours en suivant le même protocole que pour les élevages commerciaux.

Analyse et séquençage des basses-cours « connectées »

Les écouvillons trachéaux de ces deux basses-cours ont été groupés par cinq et traités en suivant la même méthode que pour les élevages commerciaux. Dans le cas de pools positifs, les échantillons ont ensuite été traités individuellement. Des qPCR SYBR[®] Green ont été réalisées pour la détection de MS, MG et AvP respectivement à l'aide des couples d'amorces vlhAF-vlhAR (292) et MS16S (301) pour MS, mgc2F-mgc2R(302) pour MG et HPG2F-HPG2R (345) pour AvP. Ces amorces ciblent respectivement les fragments des gènes vlhA et 16S (pour MS), mgc2 (pour MG) et HPG (pour AvP), en suivant le même protocole que celui présenté dans la partie précédente¹⁹. Les tailles des amplicons sont indiquées en Annexe 6 et se situent entre 400 et 500 paires de bases.

Les séquençages ont été réalisés par la méthode Sanger (Eurofins Genomics Compagny, Germany). Les données ont été analysées à l'aide du logiciel BioEdit[®] afin de réaliser une comparaison des séquences à l'aide de l'interface web de l'outil BLAST de NCBI (299) pour confirmer l'identification. Les séquences ont ensuite été alignées avec d'autres séquences obtenues à partir de GenBank (346) ainsi qu'avec celles des basses-cours et élevages commerciaux de l'étude. L'arbre phylogénétique a été construit en utilisant le logiciel MEGA X (347). La comparaison des séquences a été déduite en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood Method) et du modèle réversible du temps général (General Time Reversible Model) (348).

Quantification de l'ADN amplifié par qPCR

L'ADN des agents pathogènes ciblés a été quantifié à l'aide de l'élaboration de gammes plasmidiques. Les gammes plasmidiques ont été réalisées à l'aide du kit de sous clonage Strataclone[®] PCR Cloning Kit (Agilent Technologies[®], Santa Clara, California, United States). Les gammes ont été mises au point à partir d'une solution de plasmides de concentration connue titrée par quantification fluorométrique sur Qubit[®] (Thermo Fisher Scientific[®], Waltham, Massachusetts, United States) puis diluée plusieurs fois et quantifiée

¹⁹ Se référer à la partie II, Chapitre 3, Matériel et Méthode

par qPCR afin d'établir une corrélation entre quantité de gène plasmidique et résultats quantitatifs de qPCR (nombres de cycles).

Mise au point d'une PCR Taqman® pour diagnostic du coryza infectieux (AvP)

Au cours de l'étude, une PCR Taqman® a été développée afin d'améliorer la spécificité du diagnostic d'AvP tout en gardant une bonne sensibilité. Pour cela, le couple d'amorces APG-1f et APG-1r ainsi qu'une sonde de type FAM APG-1 ont été utilisés (349). Les mélanges PCR contenaient 6 µL d'eau, 0,8 µL de chacune des amorces, 0,4 µL d'une sonde, de 10 µL de mix et 2µL d'ADN échantillon. Le kit utilisé pour la réalisation de la qPCR a été le kit QuantiNova Probe PCR Kit© (Qiagen, Hilden, Germany). Le programme d'amplification a débuté par une étape de 3 minutes à 95°C suivie d'une amplification en deux étapes aux conditions suivantes : 5 s à 95°C, 45 s à 50°C en 40 cycles. La fin du programme s'est terminée par 1 min à 72°C. La taille de l'amplicon est de 78 paires de bases et fait partie de la séquence HPG2 elle-même nichée dans le gène HPG1 (345). Cette PCR permet d'éviter l'étape de séquençage systématique des amplicons issus de la qPCR HPG2 utilisant le couple d'amorces ciblant le fragment du gène HPG (amorces HPG2) afin d'en vérifier l'espèce (345).

Résultats

Niveaux de prévalence dans le secteur commercial et comparaison aux basses-cours du Gers

Le Tableau 13 montre une faible prévalence des agents pathogènes étudiés dans le secteur des poulets label du Gers hormis pour IBV et *E.coli* où les niveaux de prévalence sont très importants : respectivement de 80,6% et 100%. Une prévalence faible a été observée pour PM, Chl.p, NDV et ORT (entre 8 et 17%) dans le compartiment commercial. En revanche, les positivités pour AvP, ILT, MS et Ba sont très rares, voire absentes. Ces résultats montrent également des niveaux de prévalence significativement différents entre les élevages commerciaux et non commerciaux pour l'IBV, l'AvP, MS, MG, ORT, *E.coli*, et ILTV.

Tableau 13 : Prévalence des agents pathogènes respiratoires du secteur commercial et des basses-cours du Gers.

En bleu figurent les agents pathogènes présents dans les deux compartiments à des prévalences équivalentes, en vert les agents pathogènes pour lesquels la prévalence est supérieure dans le secteur familial et en orange l'inverse. En gras figurent les agents pathogènes pour lesquels les niveaux de prévalence sont significativement différents entre les basses-cours et les élevages commerciaux.

Pathogènes respiratoires	Basses-cours du Gers (n=64)		Label Gers Total (n=36)		Comparaison des secteurs p-value	Label Gers sans basses-cours (n=18)		Label Gers avec basses-cours (n=18)	
	Prévalence % [95% CI]	Valeur Ct moyenne [Min-Max]	Prévalence % [95% CI]	Valeur Ct moyenne [Min-Max]		Prévalence % [95% CI]	Valeur Ct moyenne [Min-Max]	Prévalence % [95% CI]	Valeur Ct moyenne [Min-Max]
AvP	92.2 [83.0-96.7]	20.2 [16.6-25.0]	2.8 [0.5-14.2]	14.60	p<2.20.10 ⁻¹⁶	0 [0-17.6]	--	5.6 [1-25.8]	14.6
Asp	100 [94.3-100]	17.6 [9.3-23.5]	100 [90.4-100]	18.8 [15.4-21.0]	NS	100 [82.41-100]	18.63 [15.4-21.0]	100 [82.41-100]	18.9 [17.2-20.2]
IBV	1.6 [0.28-8.3]	20.0	80.6 [65.0-90.3]	19.7 [15.3-23.4]	p<2.20.10 ⁻¹⁶	83.3 [60.8-94.2]	19.5 [17.2-22.7]	77.8 [54.8 - 91]	19.9 [15.3 - 23.4]
E.coli	31.3 [0.3-8.3]	21.8 [19.4-23.9]	100 [90.4-100]	20.2 [16.7-22.5]	p=1.02.10 ⁻¹¹	100 [82.41-100]	20.0 [17.1-22.1]	100 [82.41-100]	20.3 [17.4-22.5]
ILTV	26.6 [17.3-38.5]	19.0 [14.7-23.2]	2.8 [0.5-14.2]	22.2	p=2.40.10 ⁻³	0 [0-17.6]	--	5.6 [1-25.8]	22.2
MG	23.4 [17.8-35.1]	19.9 [15.4-23.7]	0 [0-9.6]	--	p=8.55.10 ⁻⁴	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
MS	73.4 [61.5-82.7]	19.8 [14.7-23.2]	2.8 [0.5-14.2]	22.2	p=8.67.10 ⁻¹⁰	0 [0-17.6]	--	5.6 [1-25.8]	22.2
ORT	81.3 [70.0-89.0]	20.8 [16.1-25.6]	16.7 [7.9-31.9]	18.6 [13.8-24.2]	p=4.26.10 ⁻¹⁰	16.7 [5.8-39.2]	18.9 [16.1-24.2]	16.7 [5.8-39.2]	18.4 [13.8-22.0]
Ba	0.0 [0.0-5.7]	--	2.8 [0.5-14.2]	24.7	NS	0 [0-17.6]	--	5.6 [1-25.8]	24.7
IAA	9.4 [4.4-19.0]	23.1 [22.8-23.6]	0 [0-9.6]	--	NS	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
Iah5	0.0 [0.0-5.7]	--	0 [0-9.6]	--	NS	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
Iah6	0.0 [0.0-5.7]	--	0 [0-9.6]	--	NS	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
Iah7	0.0 [0.0-5.7]	--	0 [0-9.6]	--	NS	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
Iah9	0.0 [0.0-5.7]	--	0 [0-9.6]	--	NS	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
aMPV	0.0 [0.0-5.7]	--	0 [0-9.6]	--	NS	5.6 [1-25.8]	22.7	0 [0-17.6]	--
NDV	0.0 [0.0-5.7]	--	11.1 [4.4-25.3]	21.7 [20.1-23.6]	NS	11.1 [3.1-32.8]	21.8 [20.1-23.6]	11.1 [3.1-32.8]	21.5 [21.0-22.0]
PM	9.4 [4.4-19.0]	22.6 [16.6-25.0]	8.3 [2.9-21.8]	22.3 [21.0-23.5]	NS	5.6 [1-25.8]	23.5	11.1 [3.1-32.8]	21.8 [21.0-22.5]
Ra	4.7 [1.6-12.9]	21.9 [16.7-25.1]	0 [0-9.6]	--	NS	0 [0-17.6]	--	0 [0-17.6]	--
Chlamydia psittaci	3.1 [0.9-10.7]	23.8 [23.1-24.5]	13.9 [6.1-28.7]	24.8 [23.4-26.3]	NS	22.2 [9.0-45.2]	25.2 [23.9-26.3]	0 [0-17.6]	23.38

Aussi, on remarque qu'AvP est très présent dans les élevages familiaux et est quasi absent des élevages commerciaux hormis pour deux d'entre eux ayant une basse-cour sur leur site d'élevage (élevage label L5 et L11). Il en est de même pour MS (élevage L5 et L19).

Pour résumer, le Tableau 14 ci-dessous indique, parmi les agents pathogènes étudiés, ceux qui sont caractéristiques d'un secteur ou de l'autre en fonction de leur niveau de prévalence.

Tableau 14 : Agents pathogènes différenciant les basses-cours du secteur commercial du Gers

Élevages commerciaux	Élevages familiaux
IBV (78%), <i>E. coli</i> (100%)	AvP (92%), ORT (81%), MS (73%), ILTV (26%), MG (23%)

Pour ORT, on constate une prévalence de 18% dans les élevages commerciaux, ce qui est faible en comparaison des élevages familiaux présentant 81 % de prévalence. Toutefois, on remarque que le niveau de présence d'ORT reste le même, indépendamment de la présence de basses-cours sur site ou non. Cela n'est pas le cas pour AvP et MS ; agents infectieux pour lesquels les niveaux de prévalence sont les plus élevés dans le secteur familial et pour lesquels les élevages commerciaux positifs sont des élevages ayant une basse-cour sur site. Les comparaisons entre élevages ayant, ou non, des basses-cours sur site n'ont toutefois pas montré de résultats significatifs.

Étude du statut sanitaire des basses-cours présentes sur site commercial

Peu d'élevages commerciaux ont été positifs à des agents pathogènes « caractéristiques » des basses-cours tels que AvP ou MS. Les résultats ont mis en évidence trois élevages label positifs à AvP et/ou MS ; tous les trois ayant une basse-cour sur site. Dans ce contexte, deux de ces basses-cours présentes sur les sites d'élevages commerciaux ont été prélevées (pas de retour du propriétaire de la 3^e). Le Tableau 15 indique leur statut sanitaire pour ces deux agents pathogènes ainsi que leurs principales caractéristiques.

Tableau 15 : Statut MS et AvP des basses-cours des deux élevages commerciaux positifs à AvP et/ou MS

	Elevage Label 5	Basse-cour (n=21)	Elevage Label 19	Basse-cour (n=9)
Statut PCR MS	MS + (4/4)	MS -	MS + (1/4)	MS -
Statut PCR AvP	AvP + (4/4)	AvP + (19/21)	AvP -	AvP -
Caractéristique de l'interface	Basse-cour à une vingtaine de mètres du bâtiment commercial. Elle appartient à l'éleveur. Introduction régulière (deux à chaque lot) de poulets label dans la basse-cour. Pas de vide sanitaire de la basse-cour (à vocation consommation personnelle)		Basse-cour à proximité d'un parc de poulets à durée de vie longue (pour les marchés) étant lui-même à proximité de deux bâtiments commerciaux. La basse-cour appartient à la mère de l'éleveur. Introduction (temporaire ou non) très probable de poulets label issus du compartiment commercial) dans la basse-cour.	

Une absence de MS dans les deux basses-cours échantillonnées et la présence d'AvP chez la quasi-totalité des individus de la basse-cour de l'élevage label L5 ont été observées. Toutefois, il a été remarqué pour AvP que les niveaux de portages étaient faibles (Ct entre 28,8 et 35,9) correspondant à la présence de moins de 1000 copies de génome bactérien par échantillon.

Comparaison des souches d'AvP sur la base du fragment de gène HPG2

Afin d'apprécier la proximité des souches d'AvP, un arbre phylogénétique a été réalisé sur la base de la comparaison de la séquence nucléotidique du fragment du gène HPG (500 paires de bases) (Figure 20). On remarque une forte homologie des séquences entre l'élevage Label 5 et la basse-cour (BC L5) présente sur site. On remarque également cela avec un autre élevage label (L11) ainsi qu'avec d'autres basses-cours gersoises (BCG60, BCG41, BCG1, BCG81).

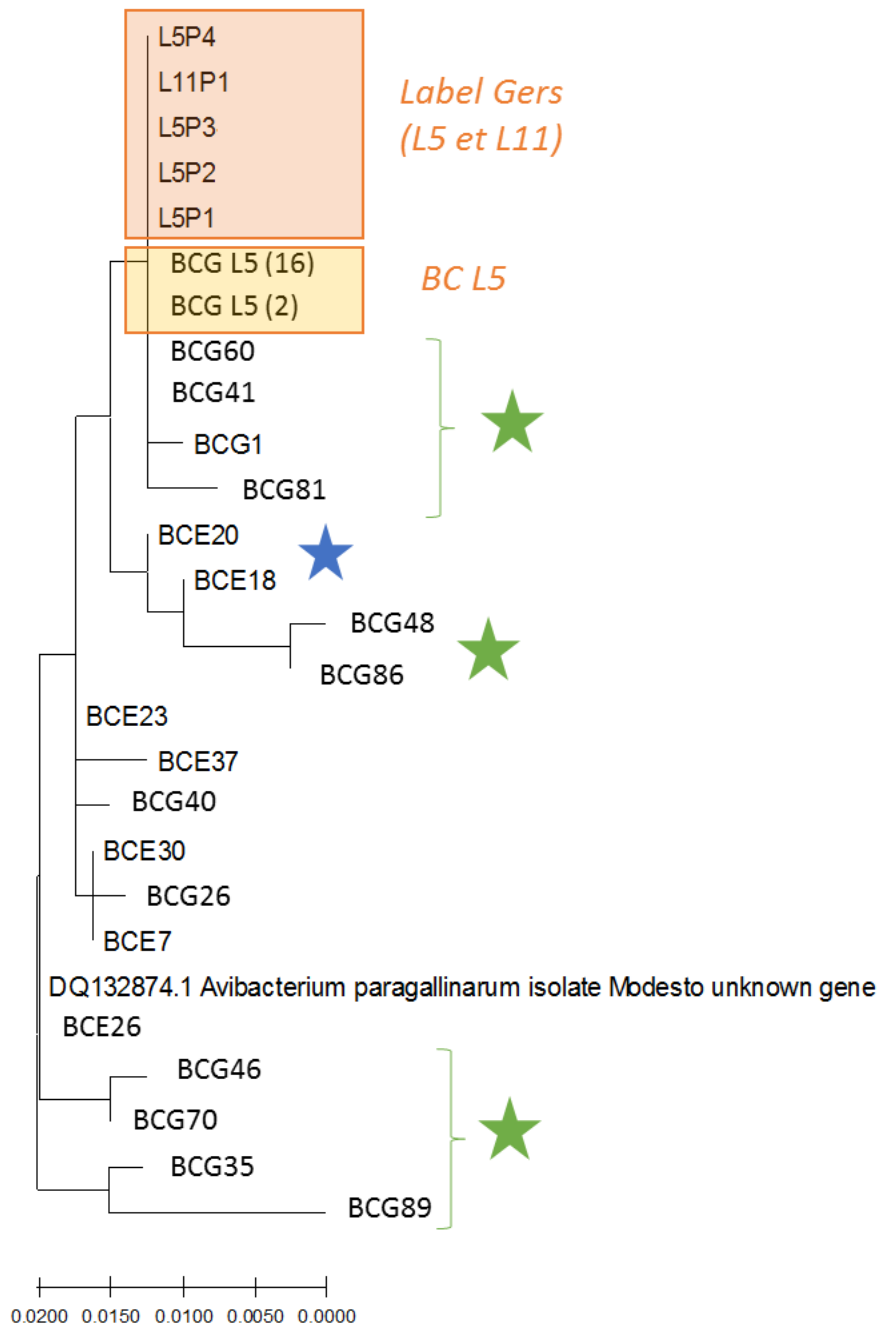


Figure 20 : Arbre phylogénétique sur la base du fragment de gène HPG (500pb) d'AvP.

La numérotation « LX » indique les numéros des élevages Label (sont ici représentés L5 et L11), BCG L5 est la basse-cour présente sur le site de l'élevage Label L5. Le numéro entre parenthèses correspond au numéro de l'individu de la basse-cour. Les autres identifiants correspondent à des séquences prélevées dans le Gers en 2017 (BCGXX) (indiqués par une étoile verte) ou sur le territoire national (BCEXX) (indiqués par une étoile bleue).

Discussion et perspectives

Discussion

Ces premiers résultats indiquent des niveaux de prévalence significativement différents pour les agents pathogènes respiratoires AvP, IBV, *E.coli*, ILTV, MS, MG et ORT pour les élevages commerciaux et les basses-cours du Gers. *E.coli* et IBV semblent caractériser le compartiment commercial avec des prévalences respectivement très élevées de 100% et de 81%, alors que les autres agents pathogènes (AvP, ILTV, MS, MG et ORT) semblent plutôt caractériser le secteur familial (cf. partie 2). On remarque en effet que, si AvP est très présent dans les élevages familiaux, il est quasiment absent des élevages commerciaux hormis pour deux d'entre eux ayant une basse-cour sur leur site d'élevage (élevage label L5 et L11). Il en est de même pour MS (élevage L5 et L19), ce qui peut conduire à penser que les compartiments sont plutôt étanches sauf pour des cas très particuliers ou lors de forte pression d'infection à des virus ou bactéries très contagieux (par exemple l'IAV).

Dans cette étude, nous nous sommes également intéressés plus particulièrement aux basses-cours présentant un lien géographique et fonctionnel avec les élevages commerciaux afin d'identifier une possible transmission active d'agents pathogènes connus pour leur chronicité (144,219,223,261,321,350). Les basses-cours présentant des prévalences très élevées pour AvP et MS, nous avons choisi d'investiguer les élevages commerciaux positifs pour ces deux agents pathogènes et ayant une basse-cour sur site.

MS n'a pas été identifié dans les basses-cours sur site des élevages positifs, ne permettant pas de conclure quant à une transmission de la basse-cour à l'élevage commercial. Les prélèvements en élevage familial et commercial n'ayant pas été effectués au même moment, il est possible que l'intervalle de temps entre les deux prélèvements puisse expliquer la négativité dans la basse-cour. Sur la base de ces résultats, il est impossible de savoir si la basse-cour était négative ou positive au moment de la circulation de MS en élevage commercial. Pour confirmer cela, une combinaison de deux approches : moléculaire et sérologique permettraient de mieux identifier le rôle d'hôte de maintenance des basses-cours. De plus, un suivi cinétique de celles-ci dans le temps permettrait d'identifier d'éventuelles périodes/saisons plus à risque pour les basses-cours. En ce qui concerne AvP, une majorité des individus d'une des deux basses-cours ont été trouvés positifs ; on peut supposer qu'elle joue le rôle d'hôte de maintenance. Ainsi, suite à ces résultats, le marqueur identifié comme le plus pertinent a été AvP.

À notre connaissance, seules deux études ont étudié la présence de marqueurs d'infection dans des basses-cours à proximité d'élevages commerciaux par approche sérologique (41,132). Derksen et al., aux États-Unis étudient le VIA, ILTV, NDV, IBV, ORT, MG et MS et montrent des niveaux de séroprévalence différents entre les basses-cours à proximité d'élevages commerciaux et les basses-cours plus éloignées pour certains d'entre eux (132). Dans son étude, aucune différence significative n'a été constatée à l'échelle du troupeau.

En revanche, une analyse à l'échelle individuelle montre une différence significative entre les oiseaux des basses-cours à proximité des élevages commerciaux et les autres. Les résultats indiquent des niveaux de séroprévalence plus élevés pour NDV et MG pour les poules à proximité des élevages commerciaux en comparaison aux autres. Cela peut notamment s'expliquer par les protocoles de vaccination mis en place dans les exploitations commerciales de proximité concernant ces deux agents pathogènes. Ainsi, une étude des prévalences individuelles est à privilégier en comparaison à la définition d'un statut « global » de basse-cour. Cela peut également permettre de mieux comprendre les dynamiques d'infection intra-troupeau au sein des élevages familiaux.

Un autre point à considérer est l'approche quantitative permise dans cette étude grâce aux méthodes moléculaires utilisées. En effet la quantification d'ADN d'AvP réalisée par qPCR permet d'identifier les niveaux de portage d'AvP à l'échelle individuelle dans la basse-cour positive. Elle indique des valeurs de Ct élevées, mais variables (écart d'environ huit points) indiquant : 1) une quantité d'ADN bactérien faible à relativement faible lors des prélèvements réalisés sur la basse-cour, 2) des charges variables en fonction des individus de la basse-cour. La quantification de l'ADN permet ainsi de mieux distinguer les phases de portage d'agents chroniques respiratoires (ou de latence pour l'herpèsvirus de la ILT) des phases d'excrétion active, et ce, en fonction des facteurs de risques et des caractéristiques de l'individu testé (âge, race, origine)(111,221,351–354).

Les données de séquençage apportent des informations supplémentaires par la comparaison de séquences du gène HPG d'AvP. Les séquences de ce gène se sont avérées être similaires dans la basse-cour connexe à l'élevage positif ainsi qu'à celle d'un autre élevage commercial et d'autres basses-cours du Gers indiquant ainsi une possible circulation d'AvP entre les deux secteurs. Toutefois, à l'heure actuelle, l'analyse n'est basée que sur le fragment d'un seul gène ce qui n'est pas suffisant pour comparer les souches avec certitude ; une approche MLST ou « génome complet » serait préférable.

Le couplage des résultats de séquences avec l'identification de l'origine des marqueurs peut nous conduire à identifier certains flux ou échanges entre basses-cours et élevages commerciaux. Ainsi, une approche SNA, en parallèle de la caractérisation moléculaire des marqueurs, pourrait venir confirmer la véracité des « nœuds »²⁰ des réseaux identifiés entre les différents secteurs avicoles (187,355,356).

²⁰ Dans l'analyse de réseau, le réseau est défini en grande partie par les éléments situés à la jonction du réseau « nœuds » et par la nature des relations qui relient ces éléments.

Perspectives

Les prélèvements ont été réalisés dans les élevages commerciaux de poulet label du Gers au printemps 2019. Les basses-cours du Gers dont les niveaux de prévalence ont été comparés au secteur commercial ont été prélevées dans le contexte rural gersois au printemps 2017. Cet écart de temps entre les prélèvements peut constituer un biais dans la comparaison. Afin de mieux comprendre la dynamique de circulation des agents pathogènes choisis (MS et AvP) d'un secteur à l'autre, il serait pertinent de refaire des prélèvements synchrones dans les élevages commerciaux et leurs basses-cours.

Un échantillon plus important serait préférable afin de conclure quant à l'origine et/ou au sens de transmission des marqueurs choisis. Une étude cinétique ainsi qu'une approche sérologique pourraient également être envisagées afin d'étudier la dynamique d'infection dans ce contexte spécifique de basses-cours situées sur les sites d'élevages commerciaux.

Dans l'objectif de considérer les agents bactériens AvP et MS comme marqueurs d'infection à l'interface élevages commerciaux-élevages familiaux il est envisagé de réaliser une enquête sur quatre secteurs différents sur une même fenêtre temporelle :

- 30 élevages commerciaux n'ayant pas de lien fonctionnel ou géographique avec des basses-cours
- 30 élevages commerciaux présentant des basses-cours sur le site d'élevage et leurs 30 basses-cours associées
- 30 basses-cours n'ayant pas de liens fonctionnel ou géographique avec les élevages commerciaux

Ainsi, en procédant à des comparaisons moléculaires de gènes (ou génomes) de AvP et MS isolés à partir de ces différents secteurs, il sera plus probable de déterminer l'origine de possibles contaminations.

Outre les marqueurs respiratoires identifiés dans les basses-cours et élevages de poulet label plein air, l'étude d'autres marqueurs d'intérêts majeurs pour la santé publique, à transmission fécale et plus résistants dans l'environnement que MS et/ou AvP tels que *E.coli*, *Salmonella* Enteritidis, Typhimurium ou *Campylobacter* spp., peut être également considérée. Cette perspective permettrait d'identifier les flux de transmission indirecte à plus long terme. En effet, comme l'indique une étude réalisée en Californie, la présence de la bactérie *Salmonella* Pullorum identifiée chez cinq individus de cinq basses-cours différentes présentes à moins d'un kilomètre des exploitations commerciales peut compromettre les plans de lutte mis en place dans la filière commerciale (41).

Notre étude a considéré uniquement la Poule, espèce susceptible aux agents pathogènes choisis. Dans la perspective d'une compréhension plus globale du rôle de l'ensemble des espèces présentes dans les basses-cours (poulets, canards, oies, pintades, pigeons), le choix des marqueurs doit se faire plus spécifiquement en fonction de l'interface choisie. En effet, les interfaces élevages commerciaux-élevages familiaux sont très diverses de par les liens qui les constituent, les types de productions concernés (élevage de canard, poule

pondeuse, poulet label), les protocoles de vaccination et les mesures de biosécurité associées ainsi que par les contextes saisonniers.

Ainsi, l'interface élevages commerciaux-élevages familiaux se décline en de multiples interfaces différentes ayant chacune leurs spécificités. La description de ces différents sous-types d'interface, de leurs caractéristiques et de leurs facteurs de risque respectifs doit se faire conjointement à l'étude des marqueurs d'infections afin de caractériser les risques en fonction des contextes. Cette approche permettra de proposer des mesures précises et adaptées dans la gestion du risque sanitaire à l'interface « globale » élevages familiaux-élevages commerciaux.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Dans le cadre de cette étude concernant les élevages familiaux français, plusieurs objectifs ont été atteints :

1) Différents types d'élevages familiaux ainsi que différentes typologies de propriétaires ont pu être identifiés et décrits. Cela pourra, à terme, permettre de mieux cibler les interventions (de formation par exemple).

2) Nous avons montré que différents types de productions familiales étaient des hôtes de maintenance d'agents infectieux importants pour l'industrie avicole tels que AvP, ORT, MS, ILTV et MG.

4) Le risque de transmission de certains agents pathogènes respiratoires entre basses-cours et secteur commercial a pu être évalué.

5) Des agents pathogènes respiratoires ont pu être identifiés comme étant des marqueurs d'infection permettant de mieux comprendre l'interface élevage avicole commercial - familial en France.

Les enjeux majeurs des élevages familiaux

Les élevages avicoles familiaux constituent un secteur présentant de multiples enjeux. Un des enjeux majeurs est l'absence de base de données référençant ces élevages, malgré l'importance relative de ce secteur en France. Comme cela a été montré dans plusieurs études et confirmé dans ce travail, le secteur avicole familial présente une grande diversité de types d'élevages, de motivations, de profils de propriétaires, et connaît une évolution démographique majeure sur cette dernière décennie (12,23). Les élevages familiaux, pourtant peu considérés par les pouvoirs publics, représentent une part importante des interactions homme/animal et du secteur socio-économique avicole français. On peut citer le cas de la Suisse, qui indique que, sur un total de 49 437 fermes avicoles enregistrées, 95% possèdent moins de 500 oiseaux et 90% moins de 50 oiseaux (44). Si en France, la production avicole commerciale comprend 14 000 éleveurs, on estime aujourd'hui la population des élevages familiaux à 2,5 millions de poulaillers privés ; la filière commerciale représentant ainsi moins de 1% du nombre d'élevages total en France (357).

Les élevages familiaux sont à l'interface de multiples secteurs tels que la faune sauvage, la faune domestique, les élevages commerciaux et les hommes, leur conférant ainsi le potentiel rôle d'hôte relais d'agents pathogènes d'intérêt pour la filière avicole commerciale ou à risque zoonotique. Aussi, la filière non commerciale ne bénéficie pas des services disponibles pour la filière avicole commerciale, pouvant conduire ainsi à des inégalités en termes de prévention des symptômes entre les deux secteurs. On peut citer par exemple l'absence de vaccins ou de traitements bénéficiant d'une AMM en dessous de 1000 unités. Enfin, la réglementation, fondée sur la structure et le fonctionnement des élevages avicoles commerciaux, n'est pas adaptée aux spécificités du secteur avicole familial.

Absence de base de données

Bien que la réglementation rende obligatoire la déclaration des élevages familiaux depuis 2006 en France, très peu de propriétaires la respectent, rendant donc très difficile l'application de mesures de police sanitaire et la connaissance sanitaire de ce secteur. En effet, à ce jour, aucune base de données ne répertorie les élevages familiaux en France, ce qui ne permet pas de connaître leur répartition sur le territoire ou l'identification de leurs pratiques.

Plusieurs études américaines montrent l'importance de communiquer via les sources Internet et les réseaux sociaux, comme Facebook©, pour atteindre les propriétaires de poules (7,358,359). C'est d'ailleurs la diffusion par Internet qui, dans notre étude, a été identifiée comme le moyen le plus efficace de participation à l'enquête concernant les pratiques auprès des particuliers et ayant permis plus de 1200 participations (Article 1). Une limite à cela concerne les propriétaires n'ayant pas les moyens d'accès à ce type de technologie. Cela introduit un biais dans la sélection de l'échantillon et exclut une frange de la population de la transmission de l'information. Néanmoins, en France, il a été constaté que le taux d'équipement en connexion Internet à domicile était de 86% en 2019, ce qui représente donc une grande majorité de la population et assure une très bonne représentativité de l'échantillon étudié (360). À titre d'exemple, en France, dans le cadre de la surveillance passive des VIA et de leur réémergence au cours de cette année 2020-2021, le MAA permet aux propriétaires une déclaration en ligne ou par voie postale de leur élevage familial afin de faciliter cette démarche (361).

La méconnaissance de la réglementation sanitaire ou l'anticipation des contraintes représentées par celle-ci, semblent être les raisons principales du faible nombre de déclarations auprès des institutions. En effet, la demande de déclaration d'une basse-cour est souvent associée à la notification de cas d'IAHP dans le secteur commercial et à l'obligation d'abattages massifs en zone de forte densité avicole. L'abattage des élevages commerciaux de canards prêts à gaver et de basses-cours à proximité d'élevages commerciaux foyers, comme en 2016-2017 lors de l'épisode de VIA H5N8 HP dans les Landes et le Gers, ont été peu compris de la population rurale et ont eu un impact négatif sur l'image de la filière commerciale. D'après Burns, les mesures de contrôle imposées aux propriétaires d'oiseaux sont jugées trop strictes et sont largement critiquées (37). De plus, certains propriétaires ont tendance à penser que la mise en place de réglementation drastique priorise la protection de l'élevage « industriel » plutôt que celle des petits éleveurs qui ne peuvent pas se permettre la mise en place de mises aux normes d'un point de vue financier. Cela renforce ainsi un climat de tension entre les différents acteurs.

Une grande diversité d'élevages familiaux

Le regain d'intérêt pour l'aviculture familiale en France, au cours de ces dernières années, peut s'expliquer par une volonté d'acquérir de l'autonomie alimentaire conjointement avec un rapprochement à l'animal. Les

résultats de notre étude confirment que les motivations principales de détention d'élevages familiaux sont la consommation d'œufs (93,3%) et la compagnie (53,2%) (Article 1). Toutefois, notre étude rapporte aussi une très forte proportion de propriétaires ayant des poules en priorité pour le recyclage des déchets alimentaires (72,4%), ce qui est une tendance qui a peu été mise en évidence dans d'autres études, excepté en Suisse (35). En Californie, la deuxième motivation principale après les œufs est la considération des poules comme « partenaires de jardinage » (62,8%), incluant par exemple le contrôle des parasites ou l'effet fertilisant des fientes de poules ainsi que son action dans le compostage des déchets même si l'étude ne la cite pas explicitement (7). Ce sont donc ces motivations qui expliquent en partie le développement des poulaillers de petits effectifs sur le territoire français, notamment dans les zones urbaines et périurbaines, comme l'a montré notre étude ainsi que d'autres, réalisées aux États-Unis et au Royaume-Uni (7,8,36,40). En France, une autre motivation caractérisant près d'un quart des participants est l'élevage de loisir de poules de races. Cette pratique est d'ailleurs bien plus représentée en France qu'aux États-Unis (7).

Ces différentes motivations illustrent très bien la diversité du secteur avicole familial conduisant à des différences très fortes en termes de typologies d'élevages et de propriétaires. Par exemple, il a été montré que les propriétaires de poulaillers récents situés en milieu urbain disposaient de moins de connaissances et/ou expérience en matière de santé et biosécurité que les éleveurs de loisirs. L'identification de cinq typologies différentes de poulaillers : poulailler urbain, basse-cour traditionnelle, poulailler d'étudiants, élevage familial de compagnie ainsi qu'élevage de loisir et la description de leurs caractéristiques illustrent une filière familiale complexe dont il faut considérer l'ensemble des acteurs en vue de la mise en place de services et de mesures de contrôle pertinents.

Portage d'agents infectieux respiratoires

Quatorze agents pathogènes respiratoires ont été étudiés dans ce travail de thèse. Les plus prévalents ont été AvP (81%), ORT (75%), MS (64%), *E.coli* (36%), ILTV (30%) et MG (19%) (Article 2). La littérature confirme de façon générale et à l'échelle internationale les résultats de notre enquête, hormis pour AvP dont le niveau de prévalence est très élevé sur le territoire français (9,27,41,42,45,127,128,131–139). Ces prévalences élevées peuvent s'expliquer par l'ancienneté des populations aviaires dans les basses-cours et de leurs infrastructures, souvent sans la réalisation de vide sanitaire depuis des années. Van et al., indiquent que l'âge des oiseaux dans les basses-cours est un facteur augmentant le risque de contamination (138). Dans certaines études, les élevages familiaux présentent des séroprévalences plus élevées pour IBV, NDV et aMPV, ce qui n'a pas été confirmé dans nos enquêtes. Connaissant la dynamique d'infection et d'excrétion de ces trois virus, il est tout à fait possible que les outils moléculaires n'aient pas permis, leur détection sur la fenêtre temporelle des prélèvements (150,350). Cela n'exclut pas pour autant leur présence au sein des élevages familiaux, mais elle semble transitoire. De plus, la vaccination à l'aide de vaccins vivants dans les élevages commerciaux pour ces trois agents viraux peut conduire à une surexposition des élevages familiaux

de proximité à ces souches vaccinales. La diffusion de souches vaccinales dans les élevages familiaux non vaccinés peut conduire à des modifications du microbiome respiratoire et à l'apparition de signes cliniques suite au portage d'agents infectieux tels que MG, MS, ORT ou AvP.

Il est important de noter que la présence d'agents infectieux par détection moléculaire ne signifie pas forcément la présence de virus ou bactéries à potentiel infectieux. Afin d'observer la transmission active des agents pathogènes étudiés au sein des élevages familiaux, une cinétique du statut sanitaire de poules de réformes naïves pour ces agents pathogènes a été réalisée sur des poules introduites dans des basses-cours. Les niveaux de prévalence avant introduction (T0) et six mois après leur introduction dans des basses-cours (T6) indiquent une contamination de celles-ci vis-à-vis de plusieurs agents pathogènes respiratoires : AvP, ORT, MS et MG. De plus, 50% de ces basses-cours présentaient des co-infections à au moins deux agents pathogènes. Ce même constat est observé dans l'ensemble de l'étude avec respectivement 49%, 69% et 79% de co-infections respiratoires dans les groupes « Poulailers urbains », « Élevages familiaux et/ou de loisir » et « Basses-cours traditionnelles » (Article 2). Ces résultats viennent confirmer d'autres études qui montrent des niveaux de co-infections équivalents. Cela souligne ainsi la nature multifactorielle des infections respiratoires chez la Poule (135,138).

De la basse-cour à l'élevage commercial « industriel » : les facteurs de risques

Un secteur avec de multiples interfaces

Les élevages familiaux connaissent une forte proximité avec l'homme pouvant conduire à la circulation ou à l'émergence d'agents zoonotiques (36). De plus, ils peuvent présenter un contact étroit avec la faune sauvage ou avec d'autres volailles (154,184). Aussi, les basses-cours localisées en milieu rural à proximité d'élevages commerciaux sont plus à risque d'être séropositives pour certains agents pathogènes. Cela peut s'expliquer par la pression d'infection plus forte dans ces zones géographiques (41,132). Les résultats de l'article 2 (Partie 2) montrent également une différence significative des niveaux de prévalence en fonction des différents groupes d'élevages familiaux. En effet, les co-infections respiratoires sont plus importantes dans les élevages familiaux et/ou de loisir et les basses-cours traditionnelles situés le plus souvent dans des zones rurales de moyenne à forte densité avicole que dans les poulaillers urbains.

Flux et connectivité à proximité des élevages commerciaux

Outre la proximité géographique et la possible diffusion par aérosols de particules infectantes, l'étude effectuée dans le cadre de la circulation du virus influenza H5N8 en 2016-2017 dans le Gers²¹ a montré que le facteur de risque principal dans la transmission du virus était le lien humain existant entre élevages commerciaux et élevages familiaux. Les basses-cours présentant une connexion aux élevages commerciaux étaient 20 fois plus à risque d'être séropositives en comparaison à celles n'ayant pas ce lien de filière. Ainsi, si les basses-cours peuvent jouer un rôle de maintenance des agents pathogènes, comme montré dans l'article 2 (Partie 2) par leurs niveaux de prévalence élevés, le rôle des hôtes relais avec lesquelles elles sont en contact doit être pris en considération (faune sauvage, homme et/ou élevages commerciaux eux-mêmes). Pour illustration, aux États-Unis, dans la majorité des entreprises avicoles industrielles, les personnes employées ont pour interdiction de détenir des basses-cours pour éviter que le personnel ne soit un relais entre élevage familial et commercial (37,168). Ce sont ainsi les flux et les mouvements d'animaux et de personnes qui définissent les interfaces et les risques de transmission d'agents infectieux (37). Dans une étude en Suisse, des potentiels vecteurs humains ou animaux (chats) ont été identifiés autant sur les sites commerciaux que familiaux. Dans le contexte épidémique de la circulation du VIA H7N7 aux Pays-Bas en 2003, une étude montre que ce n'est pas tant la proximité géographique qui est un facteur de risque, mais bien les taux élevés de contacts entre les élevages (340). Aussi, l'élimination des oiseaux morts par équarrissage est un facteur de risque majeur (OR=73) de dissémination du VIA H7N2 (362).

²¹ Correspondant à l'article 4 (Partie 3)

Les travaux présentés ici montrent²², qu'en contexte enzootique, les secteurs commerciaux et familiaux semblent relativement étanches. En effet, très présents dans le secteur familial, MG, MS, AvP et ORT sont quasiment absents de la filière commerciale. Dans un contexte épizootique, malgré les possibles proximités géographiques en zone de forte densité et les chevauchements spatio-temporels des flux entre les deux secteurs, l'étude de la circulation du VIA H5N8 tend à démontrer que les petits élevages familiaux n'ont qu'une influence très modeste sur l'épidémiologie du virus. Ainsi, leur rôle dans la contamination des élevages commerciaux semble faible et il semblerait que ce soit plutôt l'effet inverse qui soit observé (256,339).

Pour les élevages commerciaux, le contact direct avec des volailles familiales est très rare en raison de l'organisation de la production²³. Si la question majeure abordée ici était l'étude de la contamination des élevages commerciaux par les basses-cours, nos données suggèrent que le contact direct de volailles entre élevages familiaux et élevages commerciaux se fait surtout dans le sens inverse et de façon unidirectionnelle: du compartiment commercial au compartiment familial. En effet, l'introduction de poules pondeuses issues de fermes commerciales dans les élevages familiaux est une pratique courante (44). La littérature suggère que les mouvements d'oiseaux, dans ce cadre, sont peu susceptibles de transmettre les agents infectieux des basses-cours aux élevages commerciaux. En effet, la majorité des petits élevages familiaux concernés par cette pratique est maintenue en semi-isolement par rapport aux autres troupeaux (37).

L'article 3 (Partie 2) a mis en évidence la contamination de poules naïves vis-à-vis d'agents infectieux respiratoires dans le cas particulier de l'adoption de poules de réforme. La réciproque mérite également d'être étudiée : l'introduction d'agents pathogènes (de souche sauvage ou vaccinale) dans les élevages familiaux par le biais d'introduction de poules provenant directement d'élevages commerciaux, et l'entretien de leur rôle de maintenance. En effet, comme l'ont montré plusieurs études, des IBV et/ou ILTV ont été retrouvés dans les élevages familiaux suite à un « spillover » depuis les élevages commerciaux (128,363).

Aussi, l'organisation de la filière familiale et l'achat de volailles souvent effectué lors de regroupements d'animaux tels que foires, expositions, salons avicoles, mais aussi jardineries-animaleries, en l'absence de quarantaine, augmentent le risque d'introduction et de transmission d'agents pathogènes parfois sur de longues distances. En effet, lors des foires et expositions, les oiseaux proviennent d'origines différentes, ils sont transportés sur plusieurs kilomètres, mis dans des cages individuelles, mais partagent le même environnement, pouvant conduire à des contaminations par aérosols ou par voie oro-fécale par d'autres vecteurs indirects (24,37,44). Les risques sanitaires représentés par ces réseaux de commercialisation ont été

²² Résultats présentés dans le chapitre II de la partie 3

²³ La production commerciale étant organisée majoritairement en bande unique, fonctionnant avec des vides sanitaires réguliers des bâtiments et/ou du site d'élevage ne laissant pas place à l'introduction d'autres volailles en cours de bande. Fiebig et al., 2009 montre que les seuls contacts des élevages familiaux aux élevages commerciaux sont attribués à des éleveurs commerciaux ayant une basse-cour à proximité de leur site d'élevage.

illustrés de manière spectaculaire en novembre 2020 par la contamination de plusieurs animaleries, en Corse ou en Yvelines, sans doute par un même petit élevage fournisseur de volailles (364,365). On remarque néanmoins que la fréquence des mouvements d'animaux reste plus faible dans les élevages familiaux (une fois par an ou moins) que dans les élevages commerciaux (6 à 8 fois par an à 80 fois par an) (44). Dans les élevages commerciaux, les contacts entre élevages se font majoritairement par les plateformes d'équarrissage, l'organisation de production et les visites lors de marchés aux volailles vivantes ou autres regroupements (44).

Caractéristiques intrinsèques aux élevages familiaux

Certaines caractéristiques intrinsèques aux élevages familiaux tels que le mélange d'espèces, l'absence de vide sanitaire, le mélange d'oiseaux de race, d'origine et d'âges différents et le contact potentiel avec la faune sauvage de par le mode d'élevage en plein air, peuvent représenter des facteurs de risque supplémentaires dans la circulation des agents pathogènes. L'âge des oiseaux a été identifié comme facteur de risque pour AvP et MG (138,366). Plusieurs études ont montré que le mélange de différentes espèces d'oiseaux dans un même élevage familial, notamment poulets et palmipèdes, augmente le risque de contamination par les VIA (127,156,341). L'article 4 présenté dans ce manuscrit confirme ce constat. De plus, la faible implémentation de mesures de biosécurité par les propriétaires, telles que la mise en place d'une quarantaine à l'introduction, la dératisation régulière ou les protections individuelles portées par les visiteurs ou par eux-mêmes, peuvent augmenter le risque de transmission des agents infectieux (25,127,359). La Figure 21 illustre les différents moyens conduisant à l'introduction d'agents pathogènes dans un élevage familial.

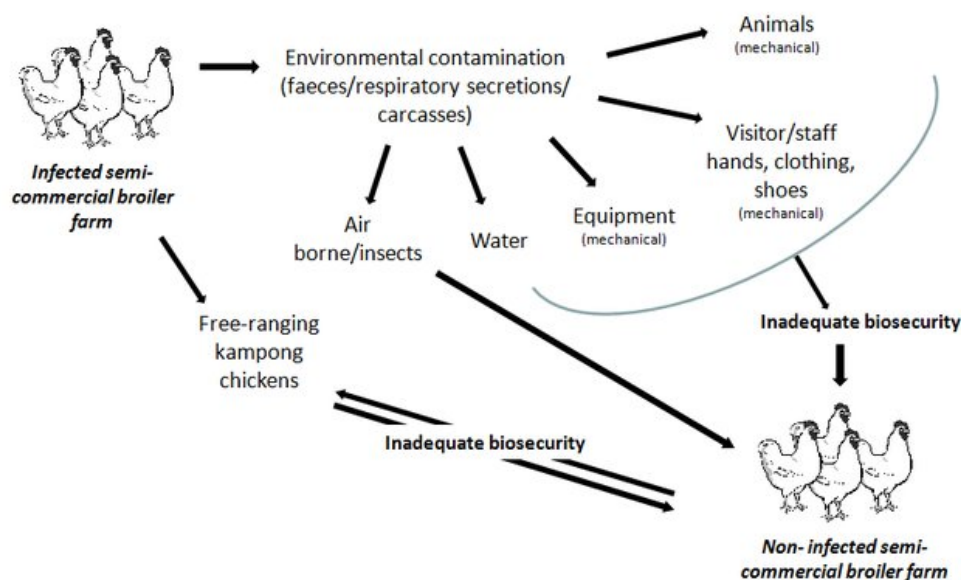


Figure 21 : Importance de l'implémentation de mesures de biosécurité dans le secteur semi-commercial (367)

À l'inverse, la présence d'animaux âgés (en comparaison à des poussins) dans les basses-cours ayant un microbiote spécifique semble façonner une meilleure immunité à l'échelle de l'individu et de l'élevage (368).

On peut aussi mentionner plusieurs études décrivant les microbiomes des voies respiratoires en fonction des élevages et indiquant un effet protecteur de l'environnement direct ce qui remet alors en question le modèle du « tout plein – tout vide » (269,319,369). Si l'on considère chaque élevage familial comme une unité épidémiologique différente, il est légitime de penser que l'absence de vide sanitaire permet la persistance et la circulation de certains agents pathogènes de façon chronique ou latente, conduisant ainsi à un écosystème propre au secteur non commercial et à chaque élevage familial. Des facteurs extérieurs peuvent aussi modifier la flore commensale et/ou le pathobiome de l'élevage (c'est le cas de nouvelles introductions par exemple) et conduire à la réexcrétion d'agents pathogènes de façon intermittente comme MG, MS ou le ILTV, conduisant ensuite à leur possible diffusion par des hôtes relais (219,221,351,366,370,371).

Le mélange de différentes races ainsi que le nombre d'oiseaux peuvent également modifier la dynamique de circulation des agents pathogènes au sein des élevages familiaux. En effet, certaines races de volailles sont plus sensibles à certains agents infectieux (372). Aussi, plusieurs études montrent que la faible diversité des souches génétiques de volailles issues du secteur commercial permet une circulation plus rapide des agents pathogènes si la souche y est sensible (373,374). En ce qui concerne l'effectif, nos recherches montrent (Article 1 et Article 2) la présence de plus de signes cliniques (d'après les propriétaires) ainsi que de plus fortes prévalences de co-infections respiratoires dans les élevages familiaux de plus grande taille soulignant ainsi l'effet de la densité (208).

La possibilité de contact des oiseaux d'élevages familiaux avec l'avifaune sauvage et autre faune sauvage péri-domestique est un facteur ayant été beaucoup décrit dans la littérature comme étant à risque de transmission d'agents infectieux (156,157). L'interface oiseaux domestique – faune sauvage est l'interface la plus étudiée dans la littérature, avec 3605 publications connues en 2015 dont 2378 étudiant spécifiquement l'interface volailles-avifaune sauvage (les autres études concernent l'interface volailles-artiodactyles, carnivores, rongeurs et chauves-souris). Elle concerne majoritairement l'IA, le NDV, les salmonelloses, la psittacose et les infections aux poxvirus (183). Les élevages familiaux sont connus pour avoir un contact étroit avec la faune sauvage en comparaison avec les élevages commerciaux (172,174,175,184). Toutefois, le récent développement de nombreux bâtiments plein air dans le secteur commercial fait évoluer le risque associé à l'interface des élevages commerciaux et de la faune sauvage.

Qualités du propriétaire/éleveur

La connaissance technique et sanitaire du propriétaire est un point clef de la gestion des maladies à l'échelle familiale. En effet, le niveau de technicité de l'éleveur, et sa capacité à offrir de bonnes conditions d'élevage telles qu'une alimentation équilibrée, un logement adéquat répondant aux besoins en ventilation des animaux et une gestion maîtrisée du parasitisme sont des facteurs importants à prendre en compte dans

l'apparition de signes conséquents à des déséquilibres immunitaires (138). Aux États-Unis, il a été montré un manque de vigilance des propriétaires d'élevages familiaux concernant les bonnes conditions d'élevage des oiseaux et les principales maladies (7). Notre étude montre que le manque de connaissance des propriétaires est surtout observé dans les poulaillers récemment mis en place dans des milieux plutôt urbanisés (Article 1, Partie 1).

L'observance des pratiques de biosécurité

Plusieurs études réalisées au Royaume-Uni, États-Unis et Nouvelle-Zélande montrent la faible implémentation des mesures de biosécurité dans le secteur avicole familial et sa variabilité en fonction des contextes. Ces études viennent confirmer les résultats obtenus dans notre étude (8,24,27,40–42,90,96,256,359). Les manquements principaux aux mesures de biosécurité sont le mélange d'oiseaux de différentes origines, l'absence de quarantaine lors d'introductions ou au retour d'expositions avicoles, l'absence de restriction d'accès des oiseaux aux visiteurs, l'absence de protection pour les chaussures, l'absence de lavage de mains avant ou après la manipulation des oiseaux, l'absence de contrôle des rongeurs et l'absence de maîtrise de l'accès de l'avifaune sauvage à la zone d'élevage (96). Burns et al., rapportent qu'une partie des propriétaires jugent ces mesures comme n'étant pas pratiques (37). Dans certaines études réalisées aux États-Unis, la mise en quarantaine avant introduction est une mesure assez connue des propriétaires et est pratiquée dans 60 à 80% des cas (27,37,40,256). Cette pratique n'a pas été spécifiquement étudiée dans notre cas. En revanche, il a été observé que moins de la moitié des propriétaires appliquaient certaines de ces pratiques telles que le lavage des mains et la mise en place de chaussures et/ou de vêtements spécifiques à l'élevage.

De même, des études montrent que les éleveurs amateurs ont de plus gros effectifs que les basses-cours ou poulaillers familiaux et ont une meilleure observance des mesures de biosécurité (24). Cela confirme nos observations qui montrent une meilleure implémentation des mesures de biosécurité dans les élevages de loisirs ayant des mélanges d'espèces et plus de 10 oiseaux, en comparaison avec les poulaillers urbains, basses-cours traditionnelles ou poulaillers d'étudiants²⁴. De plus, nous avons mis en évidence dans notre étude, une pratique à risque dans le secteur urbain, le lavage des œufs à l'eau avant consommation, qui est une pratique à proscrire d'un point de vue sanitaire.

Variation des facteurs de risque selon le contexte

Le Tableau 16 résume les principaux facteurs de risque pour les élevages commerciaux et familiaux identifiés à partir de la littérature et des résultats de notre étude (340,374–376,376,377). Le tableau se base

²⁴ Article 1, Chapitre 1, Partie 1 et Article 2, Chapitre 1, Partie 2

notamment sur l'étude de Fiebig et al., dont l'objectif a été d'identifier les contacts entre secteur commercial et non commercial en Suisse en contexte enzootique afin de relativiser l'importance de ces secteurs dans les flux d'animaux et de personnes ainsi que dans les ressources partagées des groupements et intégrateurs.

Nos résultats montrent qu'il ne semble pas y avoir de corrélation entre mise en place des pratiques de biosécurité (lavage de mains et port de tenue spécifique) et diminution des signes cliniques respiratoires dans les élevages familiaux. En effet, l'article 1 présenté dans ce manuscrit indique que les oiseaux issus des élevages de loisir et des élevages familiaux de compagnie présentaient plus de signes cliniques respiratoires en comparaison à ceux des basses-cours traditionnelles, poulaillers urbains et d'étudiants et ce, malgré une plus forte implementation des mesures de biosécurité.

Ainsi, la biosécurité sur site ne peut suffire à elle seule à limiter la circulation des agents pathogènes. La pression d'infection environnante et les mouvements d'animaux semblent prioritaires sur le port d'une tenue spécifique et le lavage des mains systématiques (35).

Tableau 16 : Principaux facteurs de risques identifiés dans les secteurs commerciaux et familiaux (44)

Élevages familiaux	Élevages commerciaux
--	Grands effectifs [2000-8610]
Forte densité avicole à proximité	Forte densité avicole à proximité
Mélanges d'espèces	--
Animaux âgés, multi-âge	--
Plein air	Élevage plein air
Absence de vide sanitaire	--
--	Flux d'animaux élevés
--	Fréquence des mouvements d'animaux élevés
--	Flux humains ou équipements partagés
--	Employés avicoles circulant entre les élevages
Biosécurité sur site faible	--
Circulation forte en cas d'expositions avicoles	Distance de circulation forte
Manque de connaissance technique/sanitaire	--
Absence d'accompagnement par des professionnels	--

Le secteur familial : un secteur « oublié » ?

Statut réglementaire

Les élevages familiaux ne bénéficient pas d'un cadre réglementaire adapté à leurs spécificités. Les différents arrêtés de biosécurité publiés à la suite de crises sanitaires dans le secteur commercial sont bien souvent inadaptés à une application dans un contexte d'élevage familial. De plus, l'absence de statut juridique de l'animal de compagnie ET de consommation rend l'application de la loi difficile. Enfin, à l'heure actuelle, il est observé une très forte hétérogénéité de l'application de la réglementation dans la filière familiale (urbain ou rural). En contexte rural, l'absence d'incitatifs positifs pour favoriser la déclaration des basses-cours rend la communication et la surveillance difficile. En milieu urbain, c'est l'absence de connaissance des contraintes sanitaires qui conduit à l'absence de déclaration.

Une autre problématique émergente concerne le recyclage des déchets alimentaires dans les basses-cours. En effet, interdite en France dans un contexte commercial pour des raisons sanitaires, cette pratique est pourtant à l'origine de nombreuses initiatives valorisées par les pouvoirs publics dans une démarche de transition écologique. Aussi, il est observé dans notre étude (Article 1, Partie 1), qu'une grande majorité des propriétaires ont pour habitude de donner des œufs à des voisins, des amis ou de la famille, ce qui est une pratique interdite pour des raisons sanitaires. Ainsi, l'étude des risques sanitaires réels ainsi que la communication légitimant l'existence de ces réglementations auprès des propriétaires semblent indispensables à la bonne application de la loi.

Médicaments et vaccinations

Il existe une problématique majeure concernant la vaccination à petite échelle. L'absence de vaccins ayant une utilisation et un coût adaptés à la filière familiale semble être un frein à l'amélioration du statut sanitaire de la filière avicole dans son ensemble (92). La pétition lancée en 2020 par le collectif RURALITÉ, regroupant de nombreux éleveurs amateurs et familiaux, demandant un accès à des vaccins en petit conditionnement, illustre ce propos (378). Il en est de même pour certains traitements antibiotiques ou prophylactiques qui ne disposent pas d'AMM pour des oiseaux de production et de compagnie ce qui limite grandement leur utilisation en élevage familial.

La maladie de Marek mérite une attention toute particulière. En effet, bien que non ciblée dans notre étude, elle reste une des problématiques les plus importantes en volaille de basse-cour (122,124,125,128). Le virus étant omniprésent et très résistant dans l'environnement, la seule façon de protéger les oiseaux des signes cliniques est la vaccination à un jour d'âge dans des conditions adéquates difficiles à mettre en place en élevage familial.

Outils et services vétérinaires

Il est rapporté dans la littérature que les propriétaires ou éleveurs amateurs sont soucieux du bien-être et de la santé de leurs oiseaux. Ils semblent désireux d'améliorer leurs connaissances à l'égard des problèmes de santé de leurs animaux, particulièrement en ce qui concerne la limitation de la prédation, la distribution d'une alimentation adéquate, la gestion des fientes et le respect de la réglementation (7). La source majeure d'information pour cela est Internet (8,358). En ce qui concerne la mise en place de traitements ou de compléments minéraux et/ou vitaminiques, on remarque dans notre étude, une forte propension des propriétaires à s'approvisionner dans les jardinerie-animaleries ou par Internet. Cela se fait la plupart du temps en l'absence de signes cliniques. Toutefois, on remarque que les propriétaires déclarant avoir des signes cliniques dans leur élevage disent s'approvisionner chez leur vétérinaire après avoir probablement recouru à une consultation (Article 1, Partie 1).

L'approvisionnement en médicaments par d'autres fournisseurs que les professionnels de santé animale peut s'expliquer par un manque de services vétérinaires et/ou un manque de confiance des propriétaires de poules vis-à-vis de ces services. En effet, à l'heure actuelle, peu de vétérinaires ont les connaissances nécessaires et/ou le désir de traiter de petits effectifs de poules (358). Aussi, l'absence de laboratoires diagnostiques permettant les diagnostics étiologiques lors de suspicions cliniques peut être un frein à la bonne prise en charge des animaux malades. Le manque de connaissances des propriétaires et vétérinaires quant aux infrastructures pouvant établir des diagnostics de façon rapide peut aussi réduire l'efficacité de la prise en charge dans certains cas.

Vers une approche intégrée de la gestion du risque

La biosécurité structurelle et les procédures de biosécurité qui en découlent sont sous la responsabilité du propriétaire du site d'élevage. Elles sont les actions les plus faciles à mettre en place, car elles ne dépendent souvent que du propriétaire et de sa motivation. Toutefois, les procédures à l'échelle de l'élevage, à elles seules, ne peuvent résoudre l'ensemble des problématiques de la filière. En effet, la biosécurité conceptuelle²⁵ concernant la maîtrise du risque à l'échelle globale de la filière avicole est trop souvent oubliée. Souvent divisée à tort, en deux, entre filière commerciale et familiale (ou celle-ci est bien souvent négligée), elle conduit alors à une évaluation du risque erronée (35).

Pourtant, la concrétisation de la biosécurité conceptuelle est le levier d'action principal de la lutte contre la dispersion des agents pathogènes et est, par la même, l'action la plus difficile à mettre en place. En effet, cela nécessite une approche géographique ciblée avec une identification des zones à risque impliquant un bon maillage territorial, de la prévention et de la pédagogie auprès de tous les acteurs de la filière ainsi qu'un soutien des services spécifiques. Elle sous-entend pour cela une connaissance des flux permettant une gestion globale de ceux-ci.

Considérer les « zones à risque »

Au vu des considérations présentées ci-dessus, la prise en compte des connexions géographiques et fonctionnelles entre les élevages commerciaux et non commerciaux semble indispensable à la compréhension et la maîtrise des risques ainsi qu'à la gestion efficace d'une épizootie. Truscott et al., étudient les différents scénarios épizootiques pour le VIAHP H5N1 dans un contexte européen en l'absence et en présence de différents types d'intervention. La probabilité d'une extinction des premiers foyers est très influencée par la position géographique de l'évènement primaire, surtout quand la transmission de l'agent infectieux est taille- ou densité-dépendante. Cette même étude montre qu'une épizootie durant moins de 14 jours et concernant moins de 20 foyers peut être rapidement contrôlée ; au-delà une intensification des mesures sera nécessaire et rarement suffisante (379).

De façon générale, l'étude des flux et interactions entre les deux secteurs en vue de l'étude de la propagation des VIA peut être extrapolée à d'autres agents pathogènes zoonotiques ou à déclaration obligatoire pour en limiter la diffusion. En effet, les modèles de contact dépendent des caractéristiques épidémiologiques des agents pathogènes, de leurs voies de transmissions et leur persistance chez l'hôte. Il est ainsi possible, sur la base de ces connaissances, de proposer des préconisations adaptées pour limiter les risques de diffusion en tenant compte du contexte géographique, des caractéristiques et contacts spécifiques à l'élevage étudié. Une combinaison de modèles de diffusion (étude de l'interface géographique) et de

²⁵ Se référer à la définition des trois niveaux de biosécurité dans la partie introductive (Partie 3, Chapitre 2)

modélisation des réseaux (SNA) permettrait d'évaluer les caractéristiques des différents contacts au sein de la population (379). Une base de données géoréférencée permettrait de réagir vite, à une échelle locale, en prenant en compte les mouvements d'animaux ainsi que les réservoirs d'oiseaux ou faune sauvage. Pour cela, la considération de l'ensemble des élevages commerciaux et familiaux en une seule et unique filière est indispensable pour permettre l'élaboration de modèles les plus représentatifs des conditions réelles.

Susceptibilité des espèces

Dans un contexte d'élevage familial, l'apparition d'un foyer dépend du potentiel infectieux de l'agent pathogène concerné, de l'âge et de l'immunité des oiseaux, de la sensibilité de l'espèce et de la souche de l'hôte, de l'environnement (et des variations saisonnières) ainsi que des co-infections (201,380). La présence de plusieurs espèces d'oiseaux différentes dans certains élevages comme dans les basses-cours traditionnelles et les élevages de loisir (Article 1, Partie 1) est donc un facteur important à considérer.

Certains agents pathogènes tels que le NDV ou les VIA infectent de façon variable plusieurs espèces de volailles telles que les canards, les oies, les dindes, les colombes, les pintades, les paons et les faisans. Si on considère le NDV, on sait que les canards et les oies sont plus résistants à l'infection, mais peuvent excréter du virus de façon asymptomatique, pouvant ainsi conduire à la transmission du virus aux espèces de volailles les plus sensibles (380). Il en est de même pour le VIA. On sait que celui-ci infecte une grande variété d'oiseaux²⁶ et que les palmipèdes ont été identifiés comme étant des vecteurs importants du virus, conduisant ainsi à l'infection d'espèces de volailles domestiques plus sensibles. Il a également été souligné que l'excrétion asymptomatique chez les palmipèdes n'était probablement pas continue et dépendait d'une introduction par une source extérieure (64,381). Cela montre ainsi que les palmipèdes peuvent jouer le rôle de réservoirs transitoires auprès d'autres espèces plus sensibles²⁷ dans les basses-cours et a été confirmé dans notre étude (Article 4). Considérer l'interface « espèce » Palmipède-Poule au sein même des élevages familiaux et proposer les mesures adéquates de séparation d'espèces et de biosécurité associées peut être un moyen de limiter la présence de ces agents infectieux dans les basses-cours.

Gérer les flux

Burns et al., montrent que la considération des réseaux est primordiale pour toute intervention (37). En effet, dans son étude en Colombie-Britannique, Canada, un tiers des propriétaires de volailles familiales ont déclaré visiter des élevages commerciaux au cours de la dernière année. Bien qu'il ait été montré que cette

²⁶ Ceux vivants en liberté comme les oiseaux de cage ou en captivité comme les canards domestiques, les poulets, les dindes et autres volailles domestiques

²⁷ Poulets, dindes, pintades, cailles, faisans, perdrix

pratique était peu à risque²⁸, les visites des propriétaires de volailles familiales sur les sites commerciaux lors de l'achat de volailles peuvent être à l'origine de transmissions éventuelles d'agents infectieux. Ainsi, il est préférable de sécuriser les visites et les introductions pour limiter toute dissémination de particules infectieuses. Si ce n'est pas possible, l'encadrement par des mesures telles que quarantaine, vide sanitaire et encadrement à l'aide de la vaccination peuvent être des moyens d'enrayer d'éventuelles épizooties.

Le Tableau 17 ci-dessous présente l'évaluation du risque associé aux différents types de production dans l'ensemble de la filière avicole, commerciale comme familiale comme définie par Steenwinkel et al., (35). Le dispositif d'évaluation de la biosécurité a été défini en considérant les groupes de variables suivantes : la susceptibilité des oiseaux, les autres animaux sur site, l'avifaune sauvage, la propreté du site d'élevage, les procédures de biosécurité et les mesures appliquées pour les transports. Cela a conduit à six différents groupes présentant des niveaux de risque différents. Sur la base de la catégorisation réalisée par Steenwinkel et al., les différents groupes d'élevages familiaux identifiés dans le contexte de notre étude²⁹ ont été évalués sur la base de ces mêmes caractéristiques et sont également présentés dans le Tableau 17

²⁸ Cf. supra au paragraphe *Flux et connectivité à proximité des élevages commerciaux* de la discussion générale

²⁹ D'après l'article 1 (Partie 1) distinguant cinq groupes : poulaillers urbains, basses-cours traditionnelles, poulaillers d'étudiants, élevages familiaux de compagnie et élevages amateurs/de loisir et l'article 4 (basses-cours à proximité des élevages commerciaux).

Tableau 17 : Évaluation du risque des différents groupes de basses-cours sur la base de la catégorisation de Steenwinkel et al., (35)

Évaluation du risque ³⁰	Caractéristiques de l'élevage	Groupes identifiés d'après (35)	Répartition des groupes identifiés dans la filière familiale de notre étude
Risque très faible	Absences d'espèces susceptibles ³¹ + isolées des sources d'expositions ³² + peu de biosécurité structurelle + peu d'entrées/sorties sur le site.	Élevages familiaux ayant des espèces non susceptibles, couvoirs petits à moyens	Basses-cours de palmipèdes isolées géographiquement
Risque faible	Absence d'espèces susceptibles + niveau de biosécurité élevé (structurelle et par un haut degré de confinement) + biosécurité faible des transports et nombreux flux	Couvoirs moyens à larges situés dans des zones de forte densité avicole	
Risque mineur	Peu de mesures de confinement et de biosécurité structurelle + peu de mouvements entrées/sorties.	Élevages familiaux ayant des espèces susceptibles	Poulaillers urbains Poulaillers d'étudiants Élevages familiaux de compagnie
Risque modéré	Espèces susceptibles + absence de confinement + peu de mesures de biosécurité structurelles + peu de mouvements d'oiseaux et vecteurs	Élevages de loisirs , élevages professionnels familiaux de petite taille et diversifiés	Élevages de loisir Basses-cours traditionnelles
Risque élevé	Espèces susceptibles + confinement moyen et biosécurité structurelle élevée + fréquence d'introduction de vecteurs et de sorties d'animaux/produits élevés	Élevages commerciaux et couvoirs petits à moyens	Basses-cours mixtes en milieu rural
Risque très élevé	Espèces susceptibles + confinement moyen + faible biosécurité structurelle et fréquence élevée d'entrées/sorties d'oiseaux et vecteurs	Élevages commerciaux, principalement de type poulet de chair.	Basses-cours mixtes sur site d'élevage commercial ou a connexion « forte » à celui-ci

³⁰ En considérant la filière avicole comme un ensemble (filiale commerciale et familiale), les fréquences de mouvements sont comparées aux fréquences des flux observés dans les élevages commerciaux.

³¹ Définies dans l'étude comme étant les espèces suivantes : Poule, Dinde, Faisan, Perdrix et mélanges d'espèces. Canard, Oie, Pigeon et Autruche ont été considéré comme étant des espèces peu susceptibles. Les œufs à couvrir ont été considérés comme étant peu susceptible également.

³² Autres animaux, oiseaux et visiteurs

Rassembler les différents acteurs pour une lutte efficace

L'efficacité des projets de développement de l'aviculture familiale nécessite avant tout une sensibilisation accrue des décideurs, au sein du gouvernement, quant à l'importance de ce secteur en termes de santé animale et santé publique. Le soutien à l'élaboration de politiques nationales, le développement d'un meilleur accès aux services (formation, santé, vaccination, investissements financiers) ainsi que le financement de la recherche adaptative participative sont des points clés dans l'accompagnement de la santé des basses-cours. L'identification de sous-groupes permet de définir les technologies/modèles appropriés aux différentes typologies d'élevage. La création de réseaux de propriétaires et/ou d'éleveurs est une opportunité de partage des connaissances et d'amélioration de la surveillance de la santé humaine et animale (14). La rapidité de l'évolution démographique des élevages familiaux observée aujourd'hui en France conduit à l'urgence de considérer cet enjeu et d'y répondre (382).

Établir la communication entre les différents acteurs

Établir la confiance des propriétaires de volailles (et plus largement de la population) avec les instances gouvernementales et la filière commerciale semble être l'enjeu prioritaire dans le contexte actuel. La mise en place d'incitatifs positifs réglementaires permettrait d'encourager les petits éleveurs à déclarer leurs volailles. De plus, la mise en réseau de la filière commerciale et familiale conduirait à améliorer la communication entre les sous-secteurs de la filière afin d'adapter les mesures de gestion. En outre, en ce qui concerne la vaccination, il pourrait être envisagé des partenariats entre les vétérinaires avicoles et les vétérinaires d'animaux de compagnie ou entre les associations avicoles familiales et des groupements de producteurs commerciaux afin d'offrir des synergies pour le partage des vaccins et de l'expertise technique (12,25).

L'ensemble des travaux présentés ici a permis de définir des profils de risque pour les différents groupes de propriétaires identifiés. Ces résultats peuvent aider les décideurs politiques à orienter les systèmes de surveillance et d'alerte précoce vers les exploitations à plus haut risque et à promouvoir des mesures adaptées. En complément de l'analyse de profil, l'utilisation d'outils d'analyse de réseau (SNA) peut aussi contribuer à renforcer l'infrastructure du réseau de collaboration au sein de la filière et offrir une approche plus ciblée de partage de l'information en facilitant l'échange avec les propriétaires d'élevages familiaux (187,356). Cela permettrait de gagner en réactivité dans des contextes d'épizooties et d'établir des bases de données régulièrement actualisées. La Figure 22 propose une démarche à suivre afin de comprendre, analyser, et gérer la prise en charge d'un cas de façon concrète. Elle permet une évaluation du risque, mais sous-entend une communication rapide et efficace entre les différents acteurs de la filière.

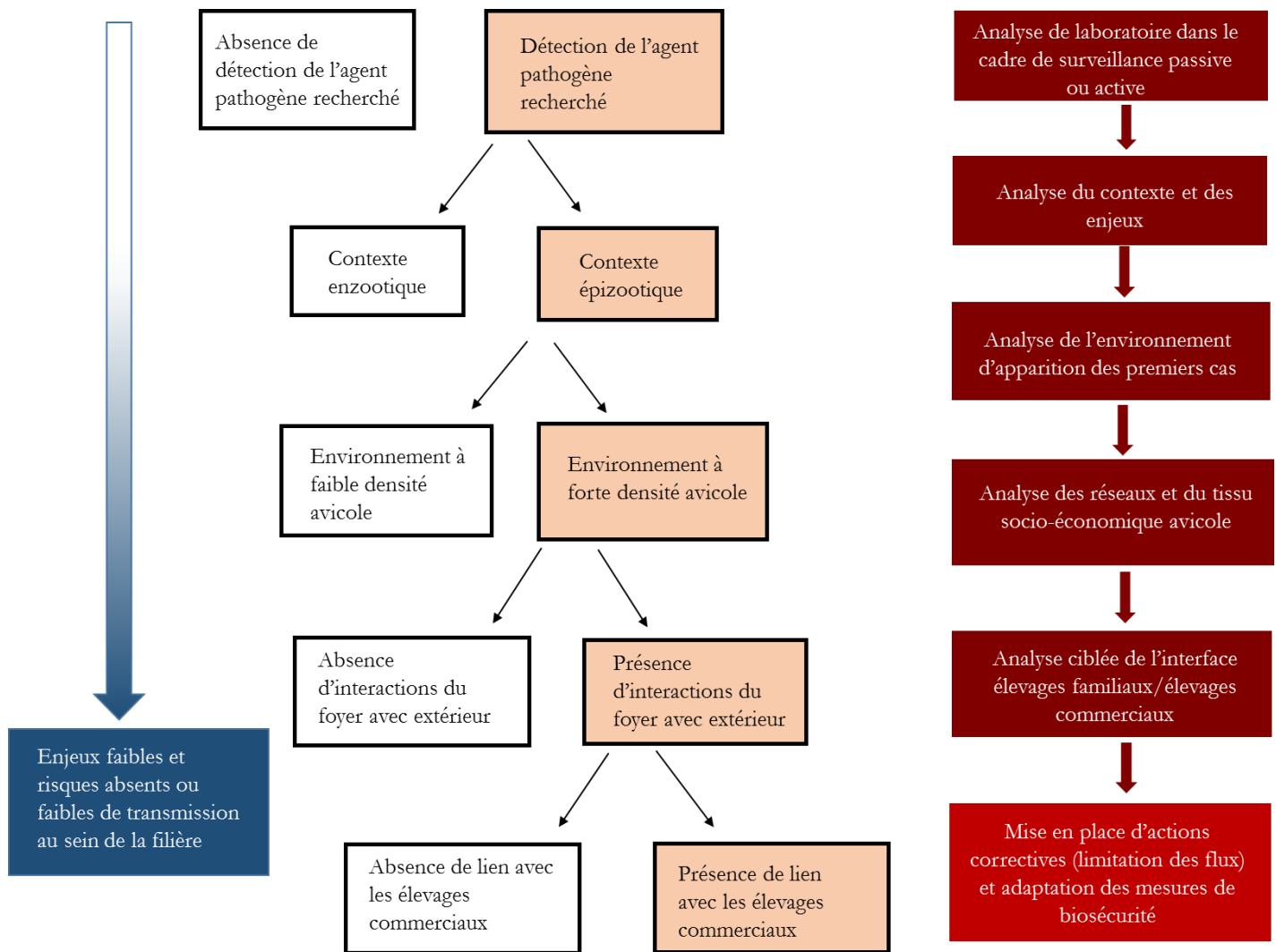


Figure 22 : Hiérarchisation des facteurs à considérer dans la gestion du risque sanitaire adaptée aux élevages familiaux

Pédagogie et prévention

La sensibilisation des propriétaires aux connaissances nécessaires en termes de santé, bien-être animal, alimentation, logement et biosécurité est un levier d'action important pour limiter la diffusion des agents infectieux au sein de la filière avicole. La gestion sanitaire ne doit pas être considérée indépendamment de la gestion technique du site d'élevage, car ce sont les différentes mesures, tant sur le plan technique que sanitaire, qui conduiront à un contrôle efficace de la diffusion des agents pathogènes. Aux États-Unis, certaines villes exigent un permis (renouvelable annuellement) autorisant la détention de volailles et engageant à une formation sanitaire (12,23,73).

Le contexte actuel et l'idéalisation de « la campagne en ville » et du bien-être animal ainsi que le manque de connaissances observé chez les récents propriétaires de poules ne font qu'accroître le risque potentiel de transmission d'agents pathogènes à l'interface homme-animal (7,8). En effet, les manquements aux pratiques de biosécurité et de bioconfinement consécutifs à l'incompréhension ou l'ignorance du risque représentent, à terme, un risque majeur dans la circulation des agents pathogènes. Whitehead et al., proposent une

amélioration du statut sanitaire des élevages familiaux à travers une approche globale : une meilleure gestion, une meilleure biosécurité et des mesures de prophylaxie préventives qui peuvent être introduites en un simple « plan de santé du poulailler » (96) (Annexe 12). En contexte de crise sanitaire, le MAA et l'ENVF proposent des guides de bonnes pratiques à l'usage de tous les propriétaires de poules (Annexe 13 et Annexe 14).

Outre la formation des propriétaires, la formation des vétérinaires étant au plus proche de la population est indispensable pour pouvoir répondre à la demande émergente (358). De plus, la mise à disposition d'infrastructures telles que les laboratoires diagnostiques ou les dispositifs de récupération des carcasses et services d'autopsie devrait être proposés aux vétérinaires et/ou particuliers afin de limiter les risques. Au Canada, par exemple, l'existence de ces services et leur connaissance par les propriétaires sont assez connues (37). La mise en place de l'ensemble de ces propositions pourrait ainsi conduire à l'établissement de plans de surveillance issus de partenariats et permettrait d'en limiter les coûts tout en assurant une actualisation régulière des données basée sur l'initiative des propriétaires d'élevages familiaux.

Conclusion

Unir la filière avicole pour mieux répondre aux enjeux sanitaires de demain ?

Les poulaillers et petits élevages familiaux sont un secteur en développement en France, comme dans d'autres pays industrialisés, et prennent une place de plus en plus importante dans la production avicole. A ce jour, on estime à 2,5 millions le nombre de propriétaires de volailles en France, ce qui correspond à environ 4% de la population. Les travaux menés ici ont étudiés quatorze agents pathogènes et ont montré la forte prévalence de certains d'entre eux tels que *Avibacterium paragallinarum*, *Ornithobacterium rhinotracheale* et *Mycoplasma synoviae* dans le secteur avicole familial.

Dans ce secteur, les difficultés permettant d'améliorer la santé des élevages sont nombreuses. L'absence de base de données existante suite au faible taux de déclaration obligatoire obtenu par méconnaissance de la loi ou par manque de confiance dans les institutions, l'inadéquation réglementaire de la législation sanitaire au secteur familial et l'absence de services de santé spécialisés sont autant de freins à l'accompagnement des propriétaires d'élevages familiaux. En milieu rural, la mise en application de la réglementation sanitaire est perçue comme une forte contrainte auprès des propriétaires de basses-cours, car bien souvent inadaptée à la taille et à la structure de leurs élevages.

Il a été montré que le vecteur humain pouvait jouer un rôle important dans la transmission d'agents infectieux entre les secteurs commerciaux et familiaux. Il est donc nécessaire de considérer la filière avicole dans son ensemble en y intégrant le secteur familial. L'identification de différentes typologies d'élevages familiaux : poulaillers urbains, poulaillers d'étudiants, basses-cours traditionnelles, élevages familiaux de compagnie et élevages de loisir et d'ornement, a permis de mieux comprendre les risques sanitaires associés aux élevages familiaux dans des contextes spécifiques. De façon générale, une faible observance des pratiques de biosécurité a été observée dans le secteur familial. La mise en évidence de contaminations de poules de réforme introduites dans des basses-cours par des agents pathogènes chroniques respiratoires tels que *Avibacterium paragallinarum*, *Ornithobacterium rhinotracheale* et *Mycoplasma synoviae* souligne l'importance de la mise en place de mesures de gestion de l'élevage familial comme la quarantaine.

La connaissance acquise par les propriétaires concernant les soins aux animaux, l'entretien des poulaillers, la gestion des introductions ainsi que leur adhésion à la mise en place de nouvelles pratiques contribueront à réduire les facteurs de nuisances sanitaires et/ou olfactives. Afin de répondre à la demande de formation et d'accompagnement le plus justement possible, il est essentiel d'évaluer les risques sanitaires associés au développement de l'aviculture familiale et la faisabilité des pratiques à mettre en place. Une approche progressiste et ciblée pour chacun des différents groupes identifiés au cours de l'étude permettra d'obtenir des résultats durables. L'introduction de nouvelles technologies et de réseaux numériques peut permettre la mise en réseau et la diffusion de l'information essentielle afin de permettre à tout propriétaire de volailles

d'avoir les connaissances de base pour la préservation de la santé et du bien-être animal. Outre la problématique sanitaire, l'intégration de toutes les composantes du système de production telles que l'alimentation, le logement, la santé ou la sélection génétique est primordiale pour assurer un accompagnement durable du secteur familial en plein essor, soulignant ainsi l'intérêt majeur d'une approche pluridisciplinaire. Créée au début des années 2000, l'approche « One Health » prend ici tout son sens, puisqu'elle promeut une approche intégrée, systémique et unifiée de la santé publique, animale et environnementale aux échelles locale, nationale et planétaire.

Malgré le portage identifié de certains agents pathogènes respiratoires dans le secteur étudié, le risque de transmission d'agents infectieux du secteur étudié au secteur commercial reste faible comme en témoigne l'étude des basses-cours dans le contexte épizootique de 2016-2017 suite à la circulation du virus influenza aviaire H5N8 hautement pathogène. De plus, l'étude du niveau de portage de ces mêmes agents pathogènes dans le secteur commercial et sa comparaison à celui des basses-cours a indiqué une bonne étanchéité entre les deux compartiments en contexte enzootique. *Avibacterium paragallinarum* et *Mycoplasma synoviae* ont été retrouvés dans les deux secteurs à l'interface élevage commercial – élevage familial dans des contextes spécifiques de basses-cours localisées sur les sites d'élevages commerciaux concernés. Ces deux agents pathogènes peuvent être considérés comme des marqueurs pertinents d'infection à l'interface étudiée.

Enfin, de nombreuses études expliquent l'émergence d'agents pathogènes à l'interface faune domestique-faune sauvage par la perte localisée de la biodiversité, conférant aux élevages domestiques le rôle d'hôtes relais entre l'homme et la faune sauvage. Aussi, le développement de modèles de production plein air dits « alternatifs » ne permet plus la mise en place de confinement strict et augmente le risque de propagation d'agents pathogènes par « spillover » aux élevages commerciaux. Par conséquent, il est nécessaire d'adapter les mesures de biosécurité à l'ensemble de la filière en considérant le contexte environnant et les réseaux qui la composent. Le contexte actuel 2021 de circulation du virus IAHP H5N8 dans les élevages commerciaux dans le Sud-Ouest nous incite à mieux maîtriser les interfaces entre compartiments aviaires et à revenir à des unités de production moins propices à une circulation rapide de virus. Des élevages de taille et densité plus faibles, eux-mêmes plus espacés au sein des bassins de production peuvent être une solution pour diminuer la circulation des agents pathogènes entre les sites. En ce qui concerne la santé publique, bien qu'il émerge une littérature récente sur le sujet, certains agents zoonotiques tels que les agents de toxi-infections alimentaires (salmonelles, campylobactéries) méritent une attention toute particulière et des investigations complémentaires dans le secteur familial.

BIBLIOGRAPHIE

1. Childs JE, Mackenzie JS, Richt JA. Wildlife and Emerging Zoonotic Diseases: The Biology, Circumstances and Consequences of Cross-Species Transmission. In: *Infection and Disease in Reservoir and Spillover Hosts: Determinants of Pathogen Emergence*. Springer. Berlin, Heidelberg; 2007. p. 113-31. (Current Topics in Microbiology and Immunology; vol. 315).
2. Dinh PN, Long HT, Tien NTK, Hien NT, Mai LTQ, Phong LH, et al. Risk Factors for Human Infection with Avian Influenza A H5N1, Vietnam, 2004. *Emerg Infect Dis*. déc 2006;12(12):1841-7.
3. Gilbert M, Pfeiffer DU. Risk factor modelling of the spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza (HPAIV) H5N1: A review. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. 1 sept 2012;3(3):173-83.
4. Kerkhove MDV, Mumford E, Mounts AW, Bresee J, Ly S, Bridges CB, et al. Highly Pathogenic Avian Influenza (H5N1): Pathways of Exposure at the Animal-Human Interface, a Systematic Review. *PLOS ONE*. 24 janv 2011;6(1):e14582.
5. Desriers M. L'agriculture française depuis cinquante ans : des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique. *INSEE*. 1 janv 2007;14.
6. Eric Fermet-Quinet, Christine Bussière. Small commercial and family poultry production in France: characteristics, and impact of HPAI regulations [Internet]. Rome; 2010 [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.fao.org/docrep/013/al673e/al673e00.pdf>
7. Elkhoraibi C, Blatchford RA, Pitesky ME, Mench JA. Backyard chickens in the United States: A survey of flock owners. *Poult Sci*. 1 nov 2014;93(11):2920-31.
8. Karabozhilova I, Wieland B, Alonso S, Salonen L, Häsler DB. Backyard chicken keeping in the Greater London Urban Area: welfare status, biosecurity and disease control issues. *British Poultry Science*. 1 août 2012;53(4):421-30.
9. Pohjola L, Tammiranta N, Ek-Kommonen C, Soveri T, Hänninen ML, Fredriksson Ahomaa M, et al. A survey for selected avian viral pathogens in backyard chicken farms in Finland. *Avian Pathology*. 4 mars 2017;46(2):166-72.
10. Blecha J, Leitner H. Reimagining the food system, the economy, and urban life: new urban chicken-keepers in US cities. *Urban Geography*. 2 janv 2014;35(1):86-108.
11. Anderson TC, Nguyen T-A, Adams JK, Garrett NM, Bopp CA, Baker JB, et al. Multistate outbreak of human *Salmonella* Typhimurium infections linked to live poultry from agricultural feed stores and mail-order hatcheries, United States 2013. *One Health*. 1 déc 2016;2:144-9.
12. Brinkley C, Kingsley JS, Mench J. A Method for Guarding Animal Welfare and Public Health: Tracking the Rise of Backyard Poultry Ordinances. *J Community Health*. août 2018;43(4):639-46.
13. Ipsos, Bienvenue à la ferme. Les Français et le consommateur local [Internet]. 2014 févr [cité 18 déc 2020]. Disponible sur: https://www.bienvenue-a-la-ferme.com/files/download/communiqu_e_12022013.pdf

14. Thieme O, Babafunso Sonaiy E, Rota A, Alders RG. Développement de l'aviculture familiale Enjeux, opportunités et contraintes. Rome: FAO; 2014 p. 40.
15. Agreste. Agreste, la statistique agricole [Internet]. 2020 [cité 18 déc 2020]. Disponible sur: <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/>
16. Arrêté du 24 avril 2013 relatif à la lutte contre les infections à salmonelles considérées comme dangers sanitaires de première catégorie dans les troupeaux de poulets de chair et de dindes d'engraissement et fixant les modalités de déclaration des salmonelles considérées comme dangers sanitaires de deuxième catégorie dans ces troupeaux [Internet]. Arrêté du 24 avril 2013 avr 24, 2013. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000027415222/>
17. Anses. Saisine n° 2011-SA-0234 [Internet]. févr 23, 2012. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2011sa0234.pdf>
18. ITAVI. Situation de la production et du marché de la poule pondeuse et de l'oeuf à l'automne 2016. 2016.
19. Directive 1999/74/CE du Conseil du 19 juillet 1999 établissant les normes minimales relatives à la protection des poules pondeuses [Internet]. juill 19, 1999. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=celex%3A31999L0074>
20. Gallot S, Desbois D. Construction d'une typologie des exploitations françaises de production de volailles de chair à partir du recensement agricole 2000. In Saint-Malo, France: ITAVI; 2005 [cité 18 déc 2020]. p. 39-43. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01072823>
21. Copland JW, Alders RG. The Australian village poultry development programme in Asia and Africa. *World's Poultry Science Journal*. 1 mars 2005;61(1):31-8.
22. Mack S, Hoffmann D, Otte J. The contribution of poultry to rural development. *Worlds Poultry Science Journal*. 1 mars 2005;61:7-14.
23. Bouvier J. Illegal Fowl: A Survey of Municipal Laws Relating to Backyard Poultry and a Model Ordinance for Regulating City Chickens. *Environmental Law Reporter* 10888. 27 juill 2012;33.
24. Garber L, Hill G, Rodriguez J, Gregory G, Voelker L. Non-commercial poultry industries: Surveys of backyard and gamefowl breeder flocks in the United States. *Preventive Veterinary Medicine*. juill 2007;80(2-3):120-8.
25. Pollock SL, Stephen C, Skuridina N, Kosatsky T. Raising Chickens in City Backyards: The Public Health Role. *J Community Health*. 1 juin 2012;37(3):734-42.
26. Smith EI, Reif JS, Hill AE, Slota KE, Miller RS, Bjork KE, et al. Epidemiologic Characterization of Colorado Backyard Bird Flocks. *Avian Diseases*. 1 juin 2012;56(2):263-71.
27. Yendell SJ, Rubinoff I, Lauer DC, Bender JB, Scheftel JM. Antibody Prevalence of Low-Pathogenicity Avian Influenza and Evaluation of Management Practices in Minnesota Backyard Poultry Flocks: Antibody Prevalence of Low-Pathogenicity Avian Influenza. *Zoonoses and Public Health*. mars 2012;59(2):139-43.
28. Martin J-C. La poule et l'oeuf. In: *L'origine des races de poules*. Muséum d'Histoire Naturelle; 1998. p. 71-84.

29. SCAF. SCAF [Internet]. 2020 [cité 4 déc 2020]. Disponible sur: <http://scaf-aviculture.com/?cat=8>
30. Cresp X. La poule d'Henri IV retrouve ses titres de noblesse [Internet]. Réussir volailles. 2016 [cité 30 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.reussir.fr/volailles/la-poule-dhenri-iv-retrouve-ses-titres-de-noblesse-0>
31. Chambre d'agriculture des Hautes Pyrénées. Noire d'Astarac [Internet]. 2020 [cité 30 déc 2020]. Disponible sur: <https://hapy.chambre-agriculture.fr/gerer-son-exploitation/diversifier-ses-activites/filieres-qualite/noire-dastarac/>
32. Denis B. Les races de poules: Formation, évolution, présentation générale. Revue d'ethnoécologie [Internet]. 20 oct 2017 [cité 5 déc 2020];(12). Disponible sur: <http://journals.openedition.org/ethnoecologie/3331>
33. Bixio A. Des oiseaux de basse-cour. In: Encyclopédie d'agriculture pratique, T2 (Cultures industrielles et animaux domestiques). Bureau, Quai aux Fleurs. Paris; 1837. p. 553-60. (Maison Rustique du XIXème siècle; vol. 15).
34. Saboureux de la Bonnetrie. L'Economie rurale. In: Traduction d'anciens ouvrages latins relatifs à l'agriculture et à la médecine vétérinaire. F.Didot. Paris; 1772.
35. Steenwinkel S, Ribbens S, Ducheyne E, Goossens E, Dewulf J. 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. 1 mars 2011;98:259-70.
36. Beam A, Garber L, Sakugawa J, Koprál C. Salmonella awareness and related management practices in U.S. urban backyard chicken flocks. Preventive Veterinary Medicine. 1 juill 2013;110(3):481-8.
37. Burns TE, Kelton D, Ribble C, Stephen C. Preliminary Investigation of Bird and Human Movements and Disease-Management Practices in Noncommercial Poultry Flocks in Southwestern British Columbia. Avian Diseases. 1 sept 2011;55(3):350-7.
38. Kauber K, Fowler H, Lipton B, Meschke JS, Rabinowitz P. Salmonella Knowledge, Attitudes and Practices: A Survey of Backyard Poultry Owners Residing in Seattle, Washington and the Surrounding Metropolitan Area. Zoonoses and Public Health. 2017;64(1):21-8.
39. Lockhart C, Stevenson M, Rawdon T. A cross-sectional study of ownership of backyard poultry in two areas of Palmerston North, New Zealand. New Zealand veterinary journal. 1 juin 2010;58:155-9.
40. Madsen JM, Zimmermann NG, Timmons J, Tablante NL. Evaluation of Maryland Backyard Flocks and Biosecurity Practices. Avian Diseases. 2013;57(2):233-7.
41. McBride MD, Hird DW, Carpenter TE, Snipes KP, Danaye-Elmi C, Utterback WW. Health Survey of Backyard Poultry and Other Avian Species Located within One Mile of Commercial California Meat-Turkey Flocks. Avian Diseases. 1991;35(2):403-7.
42. Zheng T, Adlam B, Rawdon T, Stanislawek W, Cork S, Hope V, et al. A cross-sectional survey of influenza A infection, and management practices in small rural backyard poultry flocks in two regions of New Zealand. New Zealand Veterinary Journal. avr 2010;58(2):74-80.
43. Pohjola L. Backyard poultry flocks in finland - an infection risk for commercial poultry and humans? [Helsinki]: University of Helsinki; 2017.

44. Fiebig L, Smieszek T, Saurina J, Hattendorf J, Zinsstag J. Contacts between poultry farms, their spatial dimension and their relevance for avian influenza preparedness. *Geospat Health*. 1 nov 2009;4(1):79.
45. Schelling E, Thur B, Griot C, Audige L. Epidemiological study of Newcastle disease in backyard poultry and wild bird populations in Switzerland. *Avian Pathology*. 1 juin 1999;28(3):263-72.
46. FFV. Fédération Française de la volaille (FFV) [Internet]. FFV - Fédération Française de Volailles. 2020 [cité 4 déc 2020]. Disponible sur: <http://ffv-volaille.fr/>
47. Centre de Sélection avicole de Béchanne - St Etienne du Bois - Bresse [Internet]. Centre de Selection de Bechanne. [cité 20 déc 2020]. Disponible sur: <http://centrebechanne.fr/>
48. McClintock N, Pallana E, Wooten H. Urban Livestock Ownership, Management, and Regulation in the United States: An Exploratory Survey and Research Agenda. *Land Use Policy*. 1 mai 2014;38:426-40.
49. Guinat C, Durand B, Vergne T, Corre T, Rautureau S, Scoizec A, et al. Role of Live-Duck Movement Networks in Transmission of Avian Influenza, France, 2016–2017. *Emerg Infect Dis*. mars 2020;26(3):472-80.
50. Harrison R. *Animal Machines* [Internet]. Vincent Stuart Publishers Ltd. 1964 [cité 23 févr 2021]. Disponible sur: <https://www.nhbs.com/animal-machines-book>
51. Loi n° 2015-177 du 16 février 2015 relative à la modernisation et à la simplification du droit et des procédures dans les domaines de la justice et des affaires intérieures (1). Code ciil, art. 515-14 févr 16, 2015.
52. Farm Animal Welfare Committee (FAWC) [Internet]. GOV.UK. [cité 23 févr 2021]. Disponible sur: <https://www.gov.uk/government/groups/farm-animal-welfare-committee-fawc>
53. Directive 98/58/CE du Conseil du 20 juillet 1998 concernant la protection des animaux dans les élevages [Internet]. 221, 31998L0058 août 8, 1998. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/dir/1998/58/oj/fra>
54. Buller H, Morris C. Farm Animal Welfare: A New Repertoire of Nature-Society Relations or Modernism Re-embedded? *Sociologia Ruralis*. 2003;43(3):216-37.
55. Appleby MC, Mench JA, Hughes BO. *Poultry Behaviour and Welfare*. CABI; 2004. 288 p.
56. Tannenbaum J. Veterinary Medical Ethics: A Focus of Conflicting Interests. *Journal of Social Issues*. 1993;49(1):143-56.
57. Brown KH, Jameton AL. Public Health Implications of Urban Agriculture. *J Public Health Pol*. 1 mars 2000;21(1):20-39.
58. Appleby MC. *What should we do about animal welfare? : by Michael C. Appleby*. Oxford : Blackwell science; 1999.
59. Dumat C, Fournier A, Souvestre M, Guérin J-L, Dupouy D, Feidt C, et al. Les poulaillers familiaux urbains : opportunités et limites de la convergence des usages dans un contexte interdisciplinaire de transition écologique. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Internet]. 5 sept 2018 [cité 22 sept 2020];(Hors-série 31). Disponible sur: <http://journals.openedition.org/vertigo/21077>

60. Boseret G, Losson B, Mainil JG, Thiry E, Saegerman C. Zoonoses in pet birds: review and perspectives. *Veterinary Research*. 20 mai 2013;44(1):36.
61. Harkinezhad T, Geens T, Vanrompay D. Chlamydophila psittaci infections in birds: A review with emphasis on zoonotic consequences. *Veterinary Microbiology*. 16 mars 2009;135(1):68-77.
62. Lai S, Qin Y, Cowling BJ, Ren X, Wardrop NA, Gilbert M, et al. Global epidemiology of avian influenza A H5N1 virus infection in humans, 1997–2015: a systematic review of individual case data. *The Lancet Infectious Diseases*. 1 juill 2016;16(7):e108-18.
63. Abdelwhab EM, Hafez HM. An overview of the epidemic of highly pathogenic H5N1 avian influenza virus in Egypt: epidemiology and control challenges. *Epidemiol Infect*. mai 2011;139(5):647-57.
64. Alexander DJ. An overview of the epidemiology of avian influenza. *Vaccine*. 26 juill 2007;25(30):5637-44.
65. Amat J-P, Cauchard J, Carles S, Dupuy C, Falala S, Gerbier G, et al. Suivi IAHP en Europe : Point au 25/11/2020 inclus [Internet]. Plateforme ESA. 2020 [cité 4 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.plateforme-esa.fr/article/suivi-iahp-en-europe-point-au-25-11-2020-inclus>
66. Anderson J, Horn BJ, Gilpin BJ. The prevalence and genetic diversity of Campylobacter spp. in domestic « backyard » poultry in Canterbury, New Zealand. *Zoonoses Public Health*. févr 2012;59(1):52-60.
67. Donati M, Laroucau K, Guerrini A, Balboni A, Salvatore D, Catelli E, et al. Chlamydiosis in Backyard Chickens (Gallus gallus) in Italy. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2018;18(4):222-5.
68. Li L, Luther M, Macklin K, Pugh D, Li J, Zhang J, et al. Chlamydia gallinacea: a widespread emerging Chlamydia agent with zoonotic potential in backyard poultry. *Epidemiology and Infection*. oct 2017;145(13):2701-3.
69. Hedman HD, Vasco KA, Zhang L. A Review of Antimicrobial Resistance in Poultry Farming within Low-Resource Settings. *Animals*. août 2020;10(8):1264.
70. Samanta I, Joardar SN, Das PK, Sar TK, Bandyopadhyay S, Dutta TK, et al. Prevalence and antibiotic resistance profiles of Salmonella serotypes isolated from backyard poultry flocks in West Bengal, India. *J Appl Poult Res*. 1 sept 2014;23(3):536-45.
71. Xavier J, Pascal D, Crespo E, Schell HL, Trinidad JA, Bueno DJ. Seroprevalence of Salmonella and Mycoplasma infection in backyard chickens in the state of Entre Ríos in Argentina. *Poult Sci*. 1 avr 2011;90(4):746-51.
72. Ornelas-Eusebio E, Garcia-Espinosa G, Vorimore F, Aaziz R, Durand B, Laroucau K, et al. Cross-sectional study on Chlamydiaceae prevalence and associated risk factors on commercial and backyard poultry farms in Mexico. *Preventive Veterinary Medicine*. mars 2020;176:104922.
73. Tobin MR, Goldshear JL, Price LB, Graham JP, Leibler JH. A Framework to Reduce Infectious Disease Risk from Urban Poultry in the United States. *Public Health Rep*. 2015;130(4):380-91.
74. Pohjola L, Nykäsenoja S, Kivistö R, Soveri T, Huovilainen A, Hänninen ML, et al. Zoonotic Public Health Hazards in Backyard Chickens. *Zoonoses Public Health*. août 2016;63(5):420-30.

75. Abdisa T, Tagesu T. Review on Newcastle Disease of Poultry and its Public Health Importance. *J Vet Sci Technol* [Internet]. 2017 [cité 24 juin 2021];08(03). Disponible sur: <https://www.omicsonline.org/open-access/review-on-newcastle-disease-of-poultry-and-its-public-health-importance-2157-7579-1000441.php?aid=89486>
76. Cadmus KJ, Mete A, Harris M, Anderson D, Davison S, Sato Y, et al. Causes of mortality in backyard poultry in eight states in the United States. *J VET Diagn Invest*. mai 2019;31(3):318-26.
77. Coker RJ, Hunter BM, Rudge JW, Liverani M, Hanvoravongchai P. Emerging infectious diseases in southeast Asia: regional challenges to control. *The Lancet*. 12 févr 2011;377(9765):599-609.
78. Wu H, Lu R, Peng X, Xu L, Cheng L, Lu X, et al. Novel reassortant highly pathogenic H5N6 avian influenza viruses in poultry in China. *Infection, Genetics and Evolution*. 1 avr 2015;31:64-7.
79. Zhao G, Gu X, Lu X, Pan J, Duan Z, Zhao K, et al. Novel Reassortant Highly Pathogenic H5N2 Avian Influenza Viruses in Poultry in China. *PLOS ONE*. 25 sept 2012;7(9):e46183.
80. Briand F-X, Schmitz A, Ogor K, Le Prioux A, Guillou-Cloarec C, Guillemoto C, et al. Emerging highly pathogenic H5 avian influenza viruses in France during winter 2015/16: phylogenetic analyses and markers for zoonotic potential. *Euro Surveill*. 2 mars 2017;22(9).
81. Sachse K, Laroucau K, Riege K, Wehner S, Dilcher M, Creasy HH, et al. Evidence for the existence of two new members of the family Chlamydiaceae and proposal of *Chlamydia avium* sp. nov. and *Chlamydia gallinacea* sp. nov. *Syst Appl Microbiol*. mars 2014;37(2):79-88.
82. Laroucau K, Aaziz R, Meurice L, Servas V, Chossat I, Royer H, et al. Outbreak of psittacosis in a group of women exposed to *Chlamydia psittaci*-infected chickens. *Eurosurveillance*. 18 juin 2015;20(24):21155.
83. Gieraltowski L, Higa J, Peralta V, Green A, Schwensohn C, Rosen H, et al. National Outbreak of Multidrug Resistant *Salmonella* Heidelberg Infections Linked to a Single Poultry Company. Cleary PR, éditeur. *PLoS ONE*. 15 sept 2016;11(9):e0162369.
84. Tansawai U, Walsh TR, Niumsup PR. Extended spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli* among backyard poultry farms, farmers, and environments in Thailand. *Poultry Science*. juin 2019;98(6):2622-31.
85. Leibler JH. Industrial Food Animal Production and Global Health Risks: Exploring the Ecosystems and Economics of Avian Influenza. *EcoHealth*. 2009;6(1):58-70.
86. Ben Block. U.S. City Dwellers Flock to Raising Chickens [Internet]. World Watch Institute. 2008 [cité 27 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.enn.com/articles/38339-u.s.-city-dwellers-flock-to-raising-chickens>
87. Grain. Fowl play: The poultry industry's central role in the bird flu crisis [Internet]. 2006 [cité 27 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.grain.org/article/entries/22-fowl-play-the-poultry-industry-s-central-role-in-the-bird-flu-crisis>
88. Greger M. Bird flu: A virus of our own hatching [Internet]. Vol. 117. 2007 [cité 27 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1952640/>
89. The Pew Commission. Putting Meat on the Table: Industrial Farm Animal Production in America [Internet]. Pew Commission on Industrial Farm Animal Production; 2008 avr [cité 27 déc 2020].

(Food & Drug Safety). Disponible sur: https://www.pewtrusts.org/~/media/assets/2008/pcfifap_exec-summary.pdf

90. Donahue JG, Coleman LA, Bender J, Kempf D, Vandermause MF, McGraw PJ, et al. Prospective Study of Avian Influenza Infection in Backyard Poultry Flocks and Flock Handlers in Wisconsin. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. sept 2011;11(9):1293-7.
91. Bravo-Vasquez N, Baumberger C, Jimenez-Bluhm P, Di Pillo F, Lazo A, Sanhueza J, et al. Risk factors and spatial relative risk assessment for influenza A virus in poultry and swine in backyard production systems of central Chile. *Vet Med Sci*. 21 févr 2020;6(3):518-26.
92. Iqbal M. Controlling avian influenza infections: The challenge of the backyard poultry. *J Mol Genet Med*. janv 2009;3(1):119-20.
93. Roos R. Exotic Newcastle disease spreads out of California [Internet]. 2003 [cité 27 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.cidrap.umn.edu/news-perspective/2003/02/exotic-newcastle-disease-spreads-out-california>
94. Grunkemeyer VL. Zoonoses, Public Health, and the Backyard Poultry Flock. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*. 1 sept 2011;14(3):477-90.
95. Harris JM. Zoonotic Diseases of Birds. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 1 nov 1991;21(6):1289-98.
96. Whitehead ML, Roberts V. Backyard poultry: legislation, zoonoses and disease prevention. *Journal of Small Animal Practice*. 2014;55(10):487-96.
97. Code Rural [Internet]. Code Rural L214-1 à L214-25, Ordonnance n° 2000-914 du 18 septembre 2000 art. 11 I, II sept 21, 2000. Disponible sur: http://cun-cbg.com/Les_Docs/Les_Lois/code_rural/L214-1_a_25.htm
98. Règlement sanitaire général [Internet]. nov 23, 1979. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006070308/>
99. Article R1334-31 [Internet]. Code de la santé publique, Décret n°2006-1099 août 31, 2006. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006910538/2006-09-01
100. Arrêté du 13 Juin 1994 [Internet]. Sect. Article 1er, Arrêté juin 13, 1994. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000185386>
101. Dispositions générales relatives à la prévention, à la surveillance et à la lutte contre les dangers sanitaires concernant les animaux, les végétaux et les aliments [Internet]. Code rural et de la pêche maritime. Sect. 1 oct 30, 2019. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000039329258/2019-12-14/>
102. Arrêté du 29 juillet 2013 relatif à la définition des dangers sanitaires de première et deuxième catégorie pour les espèces animales. *JORF* n°0187 du 13 août 2013 juill 29, 2013.
103. Arrêté du 24 février 2006 relatif au recensement des oiseaux détenus par toute personne physique ou morale en vue de la prévention et de la lutte contre l'influenza aviaire. févr 24, 2006.
104. 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. Arrêté du 8 février 2016 févr 8, 2016.

105. Arrêté du 3 juin 2019 modifiant l'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 [Internet]. JORF n° 0129 juin 5, 2019. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=Umhcl7FRrPhCIPom8iGOBSDVJmSgP0WplWCcJ-IYuhQ=>
106. Règlement (CE) no 1069/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine et abrogeant le règlement (CE) no 1774/2002 (règlement relatif aux sous-produits animaux) [Internet]. OJ L 300 oct 21, 2009 p. 33. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1069>
107. Walker RL, Hirsh DC, Maclachlan NJ. Veterinary microbiology [Internet]. 2nd ed. Ames, Iowa: Blackwell Pub; 2004 [cité 20 déc 2020]. Disponible sur: <https://trove.nla.gov.au/work/11250029>
108. Mandeville WF, Cook FK, Jackwood DJ. Heat lability of five strains of infectious bursal disease virus. *Poult Sci.* juin 2000;79(6):838-42.
109. ADEME. Mise en place d'un poulailler communal et opération « J'adopte deux poules » [Internet]. 2020 [cité 30 déc 2020]. Disponible sur: <https://optigede.ademe.fr/fiche/mise-en-place-d-un-poulailler-communal-et-operation-j-adopte-deux-poules>
110. Barbosa EV, Cardoso CV, Silva R de CF, Cerqueira A de MF, Liberal MHT, Castro HC. *Ornithobacterium rhinotracheale*: An Update Review about An Emerging Poultry Pathogen. *Veterinary Sciences.* mars 2020;7(1):3.
111. Blackall PJ, Soriano-Vargas E E. Infectious Coryza and Related Bacterial Infections. In: *Diseases of poultry.* 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 890-900.
112. Bradbury JM. Poultry mycoplasmas: sophisticated pathogens in simple guise. *British Poultry Science.* avr 2005;46(2):125-36.
113. Croville G, Foret C, Heuillard P, Senet A, Delpont M, Mouahid M, et al. Disclosing respiratory co-infections: a broad-range panel assay for avian respiratory pathogens on a nanofluidic PCR platform. *Avian Pathol.* juin 2018;47(3):253-60.
114. De Boeck C. Longitudinal monitoring for respiratory pathogens in broiler chickens reveals co-infection of *Chlamydia psittaci* and *Ornithobacterium rhinotracheale*. *Journal of Medical Microbiology.* mai 2015;64(5):565-74.
115. Jordan FTW. A Review of the Literature on Infectious Laryngotracheitis (ILT). *Avian Diseases.* févr 1966;10(1):1-26.
116. Shamsi H, Mardani K, Ownagh A. Phylogenetic analysis of *Escherichia coli* isolated from broilers with colibacillosis based on *gyrA* gene sequences. *Can J Vet Res.* janv 2017;81(1):28-32.
117. Bettridge JM, Lynch SE, Brena MC, Melese K, Dessie T, Terfa ZG, et al. Infection-interactions in Ethiopian village chickens. *Preventive Veterinary Medicine.* 15 nov 2014;117(2):358-66.
118. Guèye EF. Village egg and fowl meat production in Africa. *Worlds Poultry Science Journal.* 1 mars 1998;54:73-86.

119. Harrison J, Alders R. An assessment of chicken husbandry including Newcastle disease control in rural areas of Chibuto, Mozambique. *Tropical animal health and production*. 1 nov 2009;42:729-36.
120. Otim MO, Kabagambe EK, Mukiibi GM, Christensen H, Bisgaard M. A study of risk factors associated with Newcastle disease epidemics in village free-range chickens in Uganda. *Trop Anim Health Prod*. 1 janv 2007;39(1):27-35.
121. Serrão E, Meers J, Pym R, Copland R, Eagles D, Henning J. Prevalence and incidence of Newcastle disease and prevalence of Avian Influenza infection of scavenging village chickens in Timor-Lesté. *Prev Vet Med*. 1 mai 2012;104(3-4):301-8.
122. Crespo R, Senties-Cue G. Postmortem Survey of Disease Conditions in Backyard Poultry. *Journal of Exotic Pet Medicine*. avr 2015;24(2):156-63.
123. Helm J. Backyard and Small Production Flocks Disease Survey. USAHA Committee on Transmissible Diseases of Poultry & Other Avian Species; 2014 oct 20.
124. Mete A, Giannitti F, Barr B, Woods L, Anderson M. Causes of Mortality in Backyard Chickens in Northern California: 2007–2011. *Avian Diseases*. juin 2013;57(2):311-5.
125. Pohjola L, Rossow L, Huovilainen A, Soveri T, Hänninen M-L, Fredriksson-Ahomaa M. Questionnaire study and postmortem findings in backyard chicken flocks in Finland. *Acta Vet Scand*. 2015;57(1):3.
126. Madsen JM, Zimmermann NG, Timmons J, Tablante NL. Prevalence and Differentiation of Diseases in Maryland Backyard Flocks. *Avian Diseases*. sept 2013;57(3):587-94.
127. Madsen JM, Zimmermann NG, Timmons J, Tablante NL. Avian Influenza Seroprevalence and Biosecurity Risk Factors in Maryland Backyard Poultry: A Cross-Sectional Study. *Leung FCC, éditeur. PLoS ONE*. 20 févr 2013;8(2):e56851.
128. Brochu NM, Guerin MT, Varga C, Lillie BN, Brash ML, Susta L. A two-year prospective study of small poultry flocks in Ontario, Canada, part 1: prevalence of viral and bacterial pathogens. *J Vet Diagn Invest*. 11 avr 2019;1040638719843577.
129. Brochu NM, Guerin MT, Varga C, Lillie BN, Brash ML, Susta L. A two-year prospective study of small poultry flocks in Ontario, Canada, part 2: causes of morbidity and mortality. *J Vet Diagn Invest*. mai 2019;31(3):336-42.
130. Batista IA, Hoepers PG, Silva MFB, Nunes PLF, Diniz DCA, Freitas AG, et al. Circulation of Major Respiratory Pathogens in Backyard Poultry and their Association with Clinical Disease and Biosecurity. *Brazilian Journal of Poultry Science [Internet]*. 2020 [cité 2 sept 2020];22(1). Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-635X2020000100324&lng=en&nrm=iso&tlng=en
131. Clothier KA, Torain A, Reinl S. Surveillance for *Avibacterium paragallinarum* in autopsy cases of birds from small chicken flocks using a real-time PCR assay. *J VET Diagn Invest*. 1 mai 2019;31(3):364-7.
132. Derksen T, Lampron R, Hauck R, Pitesky M, Gallardo RA. Biosecurity Assessment and Seroprevalence of Respiratory Diseases in Backyard Poultry Flocks Located Close to and Far from Commercial Premises. *Avian Diseases*. mars 2018;62(1):1-5.

133. Dunowska Magda. A survey of avian paramyxovirus type 1 infections among backyard poultry in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*. mars 2013;61(6):316-22.
134. Felice V, Lupini C, Mescolini G, Silveira F, Guerrini A, Catelli E, et al. Molecular detection and characterization of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* strains in backyard poultry in Italy. *Poult Sci*. févr 2020;99(2):719-24.
135. Haesendonck R, Verlinden M, Devos G, Michiels T, Butaye P, Haesebrouck F, et al. High seroprevalence of respiratory pathogens in hobby poultry. *Avian Dis*. déc 2014;58(4):623-7.
136. Hernandez-Divers SM, Villegas P, Prieto F, Unda JC, Stedman N, Ritchie B, et al. A Survey of Selected Avian Pathogens of Backyard Poultry in Northwestern Ecuador. *Journal of Avian Medicine and Surgery*. 1 sept 2006;20(3):147-58.
137. Terregino C, De Nardi R, Guberti V, Scremin M, Raffini E, Moreno Martin A, et al. Active surveillance for avian influenza viruses in wild birds and backyard flocks in Northern Italy during 2004 to 2006. *Avian Pathology*. août 2007;36(4):337-44.
138. Van NTB, Yen NTP, Nhung NT, Cuong NV, Kiet BT, Hoang NV, et al. Characterization of viral, bacterial, and parasitic causes of disease in small-scale chicken flocks in the Mekong Delta of Vietnam. *Poultry Science*. 1 févr 2020;99(2):783-90.
139. Wunderwald C, Hoop RK. Serological monitoring of 40 Swiss fancy breed poultry flocks. *Avian Pathology*. 1 avr 2002;31(2):157-62.
140. Capua I, Marangon S, dalla Pozza M, Terregino C, Cattoli G. Avian Influenza in Italy 1997–2001. *Avian Diseases*. sept 2003;47(s3):839-43.
141. Whiteford A, Shere J. California experience with exotic Newcastle disease: a state and federal regulatory perspective. 2004 janv p. 81 - 4. (Proceedings of the 53rd Western Poultry Disease Conference).
142. Wit JJD, Eck JHHV, Crooijmans RPMA, Pijpers A. A serological survey for pathogens in old fancy chicken breeds in central and eastern part of the Netherlands. *Tijdschr Diergeneeskd*. 15 mai 2004;129(10):324-7.
143. Millar DL, Naqi SA. Ubiquity of Infectious Bursal Disease in East Texas Backyard Flocks. *Poultry Science*. 1 août 1980;59(8):1949-50.
144. Ferguson-Noel N, Armour NK, Noormohammadi. Mycoplasmosis. In: *Diseases of poultry*. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 907-17.
145. Pantin-Jackwood MJ, Spackman E. Multicausal Respiratory Diseases. In: *Diseases of poultry*. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 1386-90.
146. Garcia M, Spatz S. Infectious Laryngotracheitis. In: *Diseases of poultry*. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 189-99.
147. Brochu MDN. Pathogen and Disease Prevalence, and Demographic Characteristics of Ontario Small Poultry Flocks [Internet]. University of Guelph; 2019. Disponible sur: https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/17402/Brochu_Marie_201909_DV_Sc.pdf?sequence=4&isAllowed=y

148. Nair V, Gimeno I, Junn J. Neoplastic Diseases. In: Diseases of poultry. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 530-40.
149. Swayne DE, Suarez DL, Sims LD. Influenza. In: Diseases of poultry. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 210-20.
150. Suarez DL, Miller PJ, Koch G, Mundt E, Rautenschlein S. Newcastle Disease, Other Avian Paramyxoviruses, and Avian Metapneumovirus Infections. In: Diseases of poultry. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 112-43.
151. Haydon DT. Identifying Reservoirs of Infection: A Conceptual and Practical Challenge. *Emerg Infect Dis.* déc 2002;8(12):1468-73.
152. Caron A, Cappelle J, Cumming GS, Garine-Wichatitsky M de, Gaidet N. Bridge hosts, a missing link for disease ecology in multi-host systems. *Veterinary Research [Internet].* 2015 [cité 29 sept 2020];46(1). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4509689/>
153. Viana M, Mancy R, Biek R, Cleaveland S, Cross PC, Lloyd-Smith JO, et al. Assembling evidence for identifying reservoirs of infection. *Trends in Ecology & Evolution.* mai 2014;29(5):270-9.
154. Johnson Y, Colby M, Tablante N, Hegngi F, Salem M, Gedamu N, et al. 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. *International J of Poultry Science.* 2004;3(3):201-5.
155. Koch G, Elbers ARW. Outdoor ranging of poultry: a major risk factor for the introduction and development of High-Pathogenicity Avian Influenza. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences.* 1 janv 2006;54(2):179-94.
156. Biswas PK, Christensen JP, Ahmed SSU, Das A, Rahman MH, Barua H, et al. Risk for Infection with Highly Pathogenic Avian Influenza Virus (H5N1) in Backyard Chickens, Bangladesh. *Emerging Infectious Diseases.* déc 2009;15(12):1931-6.
157. Wang Y, Jiang Z, Jin Z, Tan H, Xu B. Risk Factors for Infectious Diseases in Backyard Poultry Farms in the Poyang Lake Area, China. *PLOS ONE.* 20 juin 2013;8(6):e67366.
158. Singh M, Toribio J-A, Scott AB, Groves P, Barnes B, Glass K, et al. Assessing the probability of introduction and spread of avian influenza (AI) virus in commercial Australian poultry operations using an expert opinion elicitation. *PLOS ONE.* 1 mars 2018;13(3):e0193730.
159. Boender GJ, Hagenaars TJ, Bouma A, Nodelijk G, Elbers ARW, Jong MCM de, et al. Risk Maps for the Spread of Highly Pathogenic Avian Influenza in Poultry. *PLOS Computational Biology.* 20 avr 2007;3(4):e71.
160. Stegeman A, Bouma A, Elbers ARW, de Jong MCM, Nodelijk G, de Klerk F, et al. Avian influenza A virus (H7N7) epidemic in The Netherlands in 2003: course of the epidemic and effectiveness of control measures. *J Infect Dis.* 15 déc 2004;190(12):2088-95.
161. Yupiana Y, de Vlas SJ, Adnan NM, Richardus JH. Risk factors of poultry outbreaks and human cases of H5N1 avian influenza virus infection in West Java Province, Indonesia. *International Journal of Infectious Diseases.* 1 sept 2010;14(9):e800-5.

162. Koster F, Gouveia K, Zhou Y, Lowery K, Russell R, MacInnes H, et al. Exhaled Aerosol Transmission of Pandemic and Seasonal H1N1 Influenza Viruses in the Ferret. *PLOS ONE*. 3 avr 2012;7(4):e33118.
163. Power, C. The source and means of spread of the avian influenza virus in the lower fraser valley of British Columbia during an outbreak in the winter of 2004. 2005; An interim report February 15, 2005. Animal Disease Surveillance Unit Canadian Food Inspection Agency.
164. Tellier R. Review of Aerosol Transmission of Influenza A Virus. *Emerging infectious diseases*. 1 déc 2006;12:1657-62.
165. Tellier R, Li Y, Cowling BJ, Tang JW. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary. *BMC Infectious Diseases*. 31 janv 2019;19(1):101.
166. Scoizec A, Niqueux E, Thomas R, Daniel P, Schmitz A, Le Bouquin S. Airborne Detection of H5N8 Highly Pathogenic Avian Influenza Virus Genome in Poultry Farms, France. *Front Vet Sci* [Internet]. 2018 [cité 24 déc 2020];5. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2018.00015/full>
167. Hudson R, Elwell L. Report on the Canadian Poultry Industry Forum, Avian Influenza lessons-learned and moving forward. In Abbotsford; 2004.
168. Vieira AR, Hofacre CL, Smith JA, Cole D. Human contacts and potential pathways of disease introduction on Georgia poultry farms. *Avian Dis*. mars 2009;53(1):55-62.
169. De Lucia A, Rabie A, Smith RP, Davies R, Ostanello F, Ajayi D, et al. Role of wild birds and environmental contamination in the epidemiology of Salmonella infection in an outdoor pig farm. *Veterinary Microbiology*. déc 2018;227:148-54.
170. Dhondt AA, DeCoste JC, Ley DH, Hochachka WM. Diverse Wild Bird Host Range of *Mycoplasma gallisepticum* in Eastern North America. McGraw K, éditeur. *PLoS ONE*. 25 juill 2014;9(7):e103553.
171. Gaukler SM, Linz GM, Sherwood JS, Dyer NW, Bleier WJ, Wannemuehler YM, et al. *Escherichia coli*, *Salmonella*, and *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* in Wild European Starlings at a Kansas Cattle Feedlot. *Avian Diseases*. déc 2009;53(4):544-51.
172. Jimenez-Bluhm P, Di Pillo F, Bahl J, Osorio J, Schultz-Cherry S, Hamilton-West C. Circulation of influenza in backyard productive systems in central Chile and evidence of spillover from wild birds. *Preventive Veterinary Medicine*. mai 2018;153:1-6.
173. Konicek C, Vodrážka P, Barták P, Knotek Z, Hess C, Račka K, et al. Detection of zoonotic pathogens in wild birds in the cross-border region Austria – Czech Republic. *Journal of Wildlife Diseases*. 1 oct 2016;52(4):850.
174. La Sala LF, Burgos JM, Blanco DE, Stevens KB, Fernández AR, Capobianco G, et al. Spatial modelling for low pathogenicity avian influenza virus at the interface of wild birds and backyard poultry. *Transbound Emerg Dis*. 12 avr 2019;tbed.13136.
175. Marks FS, Rodenbusch CR, Okino CH, Hein HE, Costa EF, Machado G, et al. Targeted survey of Newcastle disease virus in backyard poultry flocks located in wintering site for migratory birds from Southern Brazil. *Preventive Veterinary Medicine*. sept 2014;116(1-2):197-202.

176. Michiels T, Welby S, Vanrobaeys M, Quinet C, Rouffaer L, Lens L, et al. Prevalence of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* in commercial poultry, racing pigeons and wild birds in Belgium. *Avian Pathology*. 3 mars 2016;45(2):244-52.
177. Pennycott T. Diseases of wild birds of the orders Passeriformes and Columbiformes - a review of conditions reported from the United Kingdom and an analysis of results from wild bird disease surveillance in Scotland 1994-2013. 2016.
178. AEEMA [Internet]. [cité 19 févr 2021]. Disponible sur: <http://aeema.vet-alfort.fr/index.php/component/glossary/Glossaire-1/S/SPILLOVER-295/>
179. Pauly M, Snoeck CJ, Phoutana V, Keosengthong A, Sausy A, Khenkha L, et al. Cross-species transmission of poultry pathogens in backyard farms: ducks as carriers of chicken viruses. *Avian Pathology* [Internet]. 24 juill 2019 [cité 14 oct 2019]; Disponible sur: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03079457.2019.1628919>
180. Axtell RC. Poultry Integrated Pest Management: Status and Future. *Integrated Pest Management Reviews*. 1 mars 1999;4(1):53-73.
181. Day MJ, Breitschwerdt E, Cleaveland S, Karkare U, Khanna C, Kirpensteijn J, et al. Surveillance of Zoonotic Infectious Disease Transmitted by Small Companion Animals. *Emerg Infect Dis*. déc 2012;18(12):e1.
182. Velkers FC, Blokhuis SJ, Kroeze EJBV, Burt SA. The role of rodents in avian influenza outbreaks in poultry farms: a review. *Veterinary Quarterly*. 1 janv 2017;37(1):182-94.
183. Wiethoelter AK, Beltrán-Alcrudo D, Kock R, Mor SM. Global trends in infectious diseases at the wildlife–livestock interface. *PNAS*. 4 août 2015;112(31):9662-7.
184. Ayala AJ, Yabsley MJ, Hernandez SM. A Review of Pathogen Transmission at the Backyard Chicken–Wild Bird Interface. *Front Vet Sci*. 24 sept 2020;7:539925.
185. Burns T, Ribble C, Mclaws M, Kelton D, Stephen C. Perspectives of an underrepresented stakeholder group, backyard flock owners, on poultry health and avian influenza control. *Journal of Risk Research*. 1 févr 2013;16.
186. Scott J. Social Network Analysis. *Sociology*. 1 févr 1988;22(1):109-27.
187. Cadena M, Hoffman M, Gallardo RA, Figueroa A, Lubell M, Pitesky M. Using social network analysis to characterize the collaboration network of backyard poultry trainers in California. *Prev Vet Med*. 1 oct 2018;158:129-36.
188. Hafez MH, Arafa A, Abdelwhab EM, Selim A, Khoulosy SG, Hassan MK, et al. Avian influenza H5N1 virus infections in vaccinated commercial and backyard poultry in Egypt. *Poultry Science*. 1 août 2010;89(8):1609-13.
189. Wibawa H, Karo-Karo D, Pribadi ES, Bouma A, Bodewes R, Vernooij H, et al. Exploring contacts facilitating transmission of influenza A(H5N1) virus between poultry farms in West Java, Indonesia: A major role for backyard farms? *Prev Vet Med*. 1 août 2018;156:8-15.
190. Utterback W. Update on avian influenza through February 21, 1984 in Pennsylvania and Virginia. *Proceedings - Western Poultry Disease Conference (USA)* [Internet]. 1984 [cité 27 déc 2020]; Disponible sur: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8726255>

191. Agunos A, Pierson FW, Lungu B, Dunn PA, Tablante N. Review of Nonfoodborne Zoonotic and Potentially Zoonotic Poultry Diseases. *Avian Dis.* 2016;60(3):553-75.
192. Marois C, Picault J-P, Kobisch M, Kempf I. Experimental evidence of indirect transmission of *Mycoplasma synoviae*. *Vet Res.* 1 sept 2005;36(5-6):759-69.
193. Stipkovits L, Kempf I. Mycoplasmoses in poultry. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. 1 déc 1996;15(4):1495-525.
194. Senne DA, Suarez DL, Stallnecht DE, Pedersen JC, Panigrahy B. Ecology and epidemiology of avian influenza in North and South America. *Dev Biol (Basel)*. 2006;124:37-44.
195. Jie H, Liu YP. Breeding for disease resistance in poultry: opportunities with challenges. *World's Poultry Science Journal*. 1 déc 2011;67(4):687-96.
196. Salem E. Bronchopneumonies infectieuses des jeunes bovins: de la complexité du microbiome aux particularités évolutives et cliniques de virus respiratoires encore méconnus. [Toulouse]: Institut National Polytechnique de Toulouse; 2018.
197. Chow J, Tang H, Mazmanian SK. Pathobionts of the gastrointestinal microbiota and inflammatory disease. *Curr Opin Immunol.* août 2011;23(4):473-80.
198. Rogers AB. Gastric *Helicobacter* spp. in Animal Models: Pathogenesis and Modulation by Extragastric Coinfections. In: Houghton J, éditeur. *Helicobacter Species: Methods and Protocols* [Internet]. Totowa, NJ: Humana Press; 2012 [cité 27 déc 2020]. p. 175-88. (Methods in Molecular Biology). Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-1-62703-005-2_21
199. Stecher B, Denzler R, Maier L, Bernet F, Sanders MJ, Pickard DJ, et al. Gut inflammation can boost horizontal gene transfer between pathogenic and commensal Enterobacteriaceae. *PNAS*. 24 janv 2012;109(4):1269-74.
200. Vayssier-Taussat M, Albina E, Citti C, Cosson JF, Jacques M-A, Lebrun M-H, et al. Shifting the paradigm from pathogens to pathobiome: new concepts in the light of meta-omics. *Front Cell Infect Microbiol* [Internet]. 2014 [cité 14 déc 2020];4. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcimb.2014.00029/full>
201. Casadevall A, Pirofski L. Host-Pathogen Interactions: The Attributes of Virulence. *The Journal of Infectious Diseases*. 1 août 2001;184(3):337-44.
202. Guérin J-L, Balloy D, Villate D. *Maladies des volailles*. Paris: Editions France Agricole; 2011.
203. Humphrey DT. Are happy chickens safer chickens? Poultry welfare and disease susceptibility. *British Poultry Science*. 1 août 2006;47(4):379-91.
204. Hoerr FJ. Clinical aspects of immunosuppression in poultry. *Avian Dis.* mars 2010;54(1):2-15.
205. Gabal MA, Azzam AH. Interaction of aflatoxin in the feed and immunization against selected infectious diseases in poultry. II. Effect on one-day-old layer chicks simultaneously vaccinated against Newcastle disease, infectious bronchitis and infectious bursal disease. *Avian Pathol.* 1998;27(3):290-5.
206. Faragher JT, Allan WH, Wyeth PJ. Immunosuppressive effect of infectious bursal agent on vaccination against Newcastle disease. *Vet Rec.* 26 oct 1974;95(17):385-8.

207. Islam AFMF, Wong CW, Walkden-Brown SW, Colditz IG, Arzey KE, Groves PJ. Immunosuppressive effects of Marek's disease virus (MDV) and herpesvirus of turkeys (HVT) in broiler chickens and the protective effect of HVT vaccination against MDV challenge. *Avian Pathol.* oct 2002;31(5):449-61.
208. Tablante NL, Brunet PY, Odor EM, Salem M, Harter-Dennis JM, Hueston WD. Risk Factors Associated with Early Respiratory Disease Complex in Broiler Chickens. *Avian Diseases.* juill 1999;43(3):424.
209. Fan X, Liu S, Liu G, Zhao J, Jiao H, Wang X, et al. Vitamin A Deficiency Impairs Mucin Expression and Suppresses the Mucosal Immune Function of the Respiratory Tract in Chicks. *PLOS ONE.* 30 sept 2015;10(9):e0139131.
210. Al-Mashhadani EH, Beck MM. Effect of atmospheric ammonia on the surface ultrastructure of the lung and trachea of broiler chicks. *Poult Sci.* nov 1985;64(11):2056-61.
211. David B, Mejdell C, Michel V, Lund V, Moe RO. Air Quality in Alternative Housing Systems may have an Impact on Laying Hen Welfare. Part II-Ammonia. *Animals (Basel).* 3 sept 2015;5(3):886-96.
212. Matsumoto M, Huang HJ. Induction of short-term, nonspecific immunity against *Escherichia coli* infection in chickens is suppressed by cold stress or corticosterone treatment. *Avian Pathol.* juin 2000;29(3):227-32.
213. Hassan KE, Ali A, Shany SAS, El-Kady MF. Experimental co-infection of infectious bronchitis and low pathogenic avian influenza H9N2 viruses in commercial broiler chickens. *Research in Veterinary Science.* 1 déc 2017;115:356-62.
214. Karimi-Madab M, Ansari-Lari M, Asasi K, Nili H. Risk factors for detection of bronchial casts, most frequently seen in endemic H9N2 avian influenza infection, in poultry flocks in Iran. *Preventive Veterinary Medicine.* 1 juill 2010;95(3):275-80.
215. Matthijs MGR, Ariaans MP, Dwars RM, van Eck JHH, Bouma A, Stegeman A, et al. Course of infection and immune responses in the respiratory tract of IBV infected broilers after superinfection with *E. coli*. *Vet Immunol Immunopathol.* 15 janv 2009;127(1-2):77-84.
216. Nakamura K. Effect of mixed live vaccine (newcastle disease and infectious bronchitis) and *Mycoplasma gallisepticum* on the chicken respiratory tract and on *Escherichia coli* infection. *Journal of Comparative Pathology.* 1 juill 1994;111(1):33-42.
217. Chu J, Zhang Q, Zuo Z, El-Ashram S, Guo Y, Zhao P, et al. Co-infection of *Chlamydia psittaci* with H9N2, ORT and *Aspergillus fumigatus* contributes to severe pneumonia and high mortality in SPF chickens. *Sci Rep.* 25 oct 2017;7(1):13997.
218. Nili H, Asasi K. Natural cases and an experimental study of H9N2 avian influenza in commercial broiler chickens of Iran. *Avian Pathology.* 1 juin 2002;31(3):247-52.
219. Adler HE. *Mycoplasma*, the cause of chronic respiratory disease. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 1960;79:703-12.
220. Chu J, Zhang Q, Zhang T. *Chlamydia psittaci* infection increases mortality of avian influenza virus H9N2 by suppressing host immune response | *Scientific Reports.* *Scientific Reports [Internet].* juill 2016 [cité 27 déc 2020];6. Disponible sur: <https://www.nature.com/articles/srep29421>

221. Couto RM, Braga JFV, Gomes SYM, Resende M, Martins NRS, Ecco R. Natural concurrent infections associated with infectious laryngotracheitis in layer chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 1 mars 2016;25(1):113-28.
222. Jirjis FF, Noll SL, Halvorson DA, Nagaraja KV, Martin F, Shaw DP. Effects of Bacterial Coinfection on the Pathogenesis of Avian Pneumovirus Infection in Turkeys. *Avian Diseases*. 1 janv 2004;48(1):34-49.
223. Kato K. Infectious coryza of chickens. V. Influence of *Mycoplasma gallisepticum* infection on chicken infected with *Haemophilus gallinarum*. *Natl Inst Anim Health Q (Tokyo)*. 1965;5(4):183-9.
224. Kishida N, Sakoda Y, Eto M, Sunaga Y, Kida H. Co-infection of *Staphylococcus aureus* or *Haemophilus paragallinarum* exacerbates H9N2 influenza A virus infection in chickens. *Arch Virol*. 1 nov 2004;149(11):2095-104.
225. Pan Q, Liu A, Zhang F, Ling Y, Ou C, Hou N, et al. Co-infection of broilers with *Ornithobacterium rhinotracheale* and H9N2 avian influenza virus. *BMC Vet Res* [Internet]. 2 juill 2012 [cité 12 mai 2020];8. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3424113/>
226. Pu J, Fan YL, Wang Z, Ma B, Brown EG, Liu JH. Pathogenicity of H3N8 Influenza Viruses Isolated from Domestic Ducks in Chickens With or Without *Escherichia coli* Coinfections. *Avian Diseases*. 1 sept 2012;56(3):597-600.
227. Śmietanka K, Minta Z, Świętoń E, Olszewska M, Józwiak M, Domańska-Blicharz K, et al. Avian influenza H9N2 subtype in Poland – characterization of the isolates and evidence of concomitant infections. *Avian Pathology*. 3 sept 2014;43(5):427-36.
228. Van de Zande S, Nauwynck H, Pensaert M. The clinical, pathological and microbiological outcome of an *Escherichia coli* O2:K1 infection in avian pneumovirus infected turkeys. *Veterinary Microbiology*. 20 août 2001;81(4):353-65.
229. OIE. Chapitre 6.4. Biosecurity procedures in poultry production. In: *Terrestrial Animal Health Code*. 28e éd. Paris: World Organisation for Animal Health (OIE); 2019. p. 245-51.
230. ITAVI. Arbre de decision Toutes les fiches relatives aux mesures de biosécurité IA [Internet]. 2016 [cité 28 déc 2020]. Disponible sur: <http://influenza.itavi.asso.fr/>
231. Mainali C, Houston I. Small Poultry Flocks in Alberta: Demographics and Practices. *Avian Diseases*. 16 nov 2016;61(1):46.
232. Nold D. Réglementation sanitaire pour les expositions de basse-cour [Internet]. *Volaille-Poultry*. 2002 [cité 28 déc 2020]. Disponible sur: <https://volaillepoultry.pagesperso-orange.fr/veto.html>
233. Boklund A, Alban L, Mortensen S, Houe H. Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: descriptive results and factor analysis. *Prev Vet Med*. 15 déc 2004;66(1-4):49-62.
234. Niemi JK, Lyytikäinen T, Sahlstrom L, Virtanen T, Lehtonen H. Risk Classification in Animal Disease Prevention: Who Benefits from Differentiated Policy? In: 2009 Annual Meeting, July 26-28, 2009, Milwaukee, Wisconsin [Internet]. Milwaukee, Wisconsin; 2009 [cité 28 déc 2020]. Disponible sur: <https://ideas.repec.org/p/ags/aaca09/49307.html>
235. Nespeca R, Vaillancourt J-P, Morrow WEM. Validation of a poultry biosecurity survey. *Preventive Veterinary Medicine*. juill 1997;31(1-2):73-86.

236. East IJ. Adoption of biosecurity practices in the Australian poultry industries. *Australian Veterinary Journal*. 2007;85(3):107-12.
237. Calavas D, Bugnard F, Ducrot C, Sulpice P. Classification of the clinical types of udder disease affecting nursing ewes. *Small Ruminant Research*. 1998;29:21-31.
238. Solano C, Bernues A, Rojas F, Joaquin N, Fernandez W, Herrero M. Relationships between management intensity and structural and social variables in dairy and dual-purpose systems in Santa Cruz, Bolivia. *Agricultural Systems*. 2000;65(3):159-77.
239. Rose N, Madec F. Occurrence of respiratory disease outbreaks in fattening pigs: Relation with the features of a densely and a sparsely populated pig area in France. *Vet Res*. 1 mars 2002;33(2):179-90.
240. Köbrich C, Rehman T, Khan M. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems*. 1 avr 2003;76(1):141-57.
241. Kristensen SP. Multivariate analysis of landscape changes and farm characteristics in a study area in central Jutland, Denmark. *Ecological Modelling*. 15 oct 2003;168(3):303-18.
242. Milan MJ, Bartolome J, Quintanilla R, Garcia-Cachan MD, Espejo M, Herraiz PL, et al. Structural characterisation and typology of beef cattle farms of Spanish wooded rangelands (dehesas). *Livestock science* [Internet]. 2006 [cité 28 déc 2020]; Disponible sur: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301067675>
243. Ribbens S, Dewulf J, Koenen F, Mintiens K, De Sadeleer L, de Kruif A, et al. A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. *Prev Vet Med*. 17 mars 2008;83(3-4):228-41.
244. Costard S. PV. Multivariate analysis of management and biosecurity practices in smallholder pig farms in Madagascar. *Preventive Veterinary Medicine*. 2009;92(3):199-209.
245. Sarrazin S, Cay AB, Laureyns J, Dewulf J. A survey on biosecurity and management practices in selected Belgian cattle farms. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 nov 2014;117(1):129-39.
246. Wei H, Aengwanich W. Biosecurity Evaluation of Poultry Production Cluster (PPCs) in Thailand. *International J of Poultry Science*. 15 août 2012;11(9):582-8.
247. Alawneh JI, Barnes TS, Parke C, Lapuz E, David E, Basinang V, et al. Description of the pig production systems, biosecurity practices and herd health providers in two provinces with high swine density in the Philippines. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 mai 2014;114(2):73-87.
248. Delpont M, Blondel V, Robertet L, Duret H, Guerin J-L, Vaillancourt J-P, et al. Biosecurity practices on foie gras duck farms, Southwest France. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 oct 2018;158:78-88.
249. National Research Council. *Animals as Sentinels of Environmental Health Hazards* [Internet]. Washington: National Academies Press (US); 1991 [cité 23 févr 2021]. 176 p. Disponible sur: <https://www.nap.edu/catalog/1351/animals-as-sentinels-of-environmental-health-hazards>
250. Behravesh CB, Brinson D, Hopkins BA, Gomez TM. Backyard Poultry Flocks and Salmonellosis: A Recurring, Yet Preventable Public Health Challenge. *Clin Infect Dis*. 15 mai 2014;58(10):1432-8.

251. Morishita TY. Common Infectious Diseases in Backyard Chickens and Turkeys (from a Private Practice Perspective). *Journal of Avian Medicine and Surgery*. 1996;10(1):2-11.
252. Patel JG, Patel BJ, Patel SS, Raval SH, Parmar RS, Joshi DV, et al. Metagenomic of clinically diseased and healthy broiler affected with respiratory disease complex. *Data in Brief*. août 2018;19:82-5.
253. Roussan DA, Haddad R, Khawaldeh G. Molecular survey of avian respiratory pathogens in commercial broiler chicken flocks with respiratory diseases in Jordan. *Poult Sci*. mars 2008;87(3):444-8.
254. Sid H, Benachour K, Rautenschlein S. Co-infection with Multiple Respiratory Pathogens Contributes to Increased Mortality Rates in Algerian Poultry Flocks. *Avian Diseases*. 10 juin 2015;59(3):440-6.
255. Bailey T, Larson J. *Backyard Poultry: Implications for Public Health and Safety*. Food Policy Research Center. 2013;
256. Smith G, Dunipace S. How backyard poultry flocks influence the effort required to curtail avian influenza epidemics in commercial poultry flocks. *Epidemics*. juin 2011;3(2):71-5.
257. Hernández-Jover M, Schemann K, East IJ, Toribio J-ALML. Evaluating the risk of avian influenza introduction and spread among poultry exhibition flocks in Australia. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 janv 2015;118(1):128-41.
258. Dusan F, Toribio J-A, East IJ. Assessment of the risks of communicable disease transmission through the movement of poultry exhibited at agricultural shows in New South Wales. *Australian Veterinary Journal*. 2010;88(9):333-41.
259. Bulaga LL, Garber L, Senne DA, Myers TJ, Good R, Wainwright S, et al. Epidemiologic and Surveillance Studies on Avian Influenza in Live-Bird Markets in New York and New Jersey, 2001. *Avian Diseases*. 1 sept 2003;47(s3):996-1001.
260. Hernández-Jover M, Schemann K, Toribio J-ALML. A cross-sectional study on biosecurity practices and communication networks of poultry exhibition in Australia. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 juill 2013;110(3):497-509.
261. Kleven SH. Mycoplasmas in the etiology of multifactorial respiratory disease. *Poultry Science*. août 1998;77(8):1146-9.
262. Cook JKA, Jackwood M, Jones RC. The long view: 40 years of infectious bronchitis research. *Avian Pathology*. 1 juin 2012;41(3):239-50.
263. Hooper LV, Midtvedt T, Gordon JI. How host-microbial interactions shape the nutrient environment of the mammalian intestine. *Annu Rev Nutr*. 2002;22:283-307.
264. Rogers GB, Shaw D, Marsh RL, Carroll MP, Serisier DJ, Bruce KD. Respiratory microbiota: addressing clinical questions, informing clinical practice. *Thorax*. janv 2015;70(1):74-81.
265. Marchesi JR. The vocabulary of microbiome research: a proposal. 2015;3.
266. Prescott SL. History of medicine: Origin of the term microbiome and why it matters. *Human Microbiome Journal*. juin 2017;4:24-5.

267. Segal LN, Rom WN, Weiden MD. Lung Microbiome for Clinicians. New Discoveries about Bugs in Healthy and Diseased Lungs. 2014;11(1):9.
268. Rosenthal SR, Ostfeld RS, McGarvey ST, Lurie MN, Smith KF. Redefining disease emergence to improve prioritization and macro-ecological analyses. *One Health*. 2015;7.
269. Shabbir MZ, Malys T, Ivanov YV, Park J, Shabbir MAB, Rabbani M, et al. Microbial communities present in the lower respiratory tract of clinically healthy birds in Pakistan. *Poult Sci*. 1 avr 2015;94(4):612-20.
270. Schuster SC. Next-generation sequencing transforms today's biology. *Nat Methods*. janv 2008;5(1):16-8.
271. Hess M. Commensal or pathogen – a challenge to fulfil Koch's Postulates. *British Poultry Science*. 2 janv 2017;58(1):1-12.
272. Bisgaard M, Mutters R. A new facultatively anaerobic gram-negative fermentative rod obtained from different pathological lesions in poultry and tentatively designated taxon 14. *Avian Pathology*. 1 janv 1986;15(1):117-27.
273. Günther, R., Christensen H, Bojesen AM, Bisgaard M. Characterization of taxon 14 isolates involved in upper respiratory tract infections and blepharoconjunctivitis in turkeys. AVMA/AAAP Annual Meeting; 2008 juill 19; New Orleans, LA.
274. Bisgaard M, Christensen JP, Bojesen AM, Christensen H. *Avibacterium endocarditidis* sp. nov., isolated from valvular endocarditis in chickens. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2007;57(8):1729-34.
275. Christensen H, Blackall PJ, Bisgaard M. Phylogenetic relationships of unclassified, satellitic Pasteurellaceae obtained from different species of birds as demonstrated by 16S rRNA gene sequence comparison. *Research in Microbiology*. juin 2009;160(5):315-21.
276. Hess C, Grafl B, Bagheri S, Kaesbohrer A, Zloch A, Hess M. Antimicrobial Resistance Profiling of *Gallibacterium anatis* from Layers Reveals High Number of Multiresistant Strains and Substantial Variability Even Between Isolates from the Same Organ. *Microbial Drug Resistance*. 17 sept 2019;26(2):169-77.
277. Vandamme P, Vancanneyt M, Segers P, Ryll M, Köhler B, Ludwig W, et al. *Coenonia anatina* gen. nov., sp. nov., a novel bacterium associated with respiratory disease in ducks and geese. *Int J Syst Bacteriol*. avr 1999;49 Pt 2:867-74.
278. Vandamme P, Segers P, Vancanneyt M, van Hove K, Mutters R, Hommez J, et al. *Ornithobacterium rhinotracheale* gen. nov., sp. nov., isolated from the avian respiratory tract. *Int J Syst Bacteriol*. janv 1994;44(1):24-37.
279. Register KB, Jackwood MW. Pasteurellosis and Other Respiratory Bacterial Infections. In: *Diseases of poultry*. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 860-71.
280. El-Sukhon SN, Musa A, Al-Attar M. Studies on the Bacterial Etiology of Airsacculitis of Broilers in Northern and Middle Jordan with Special Reference to *Escherichia coli*, *Ornithobacterium rhinotracheale*, and *Bordetella avium*. *Avian Diseases*. 2002;46(3):605-12.

281. Travers AF. Concomitant *Ornithobacterium rhinotracheale* and Newcastle disease infection in broilers in South Africa. *Avian Dis.* juin 1996;40(2):488-90.
282. Erbeck DH, McMurray BL. Isolation of Georgia Variant (Georgia Isolate 1992) Infectious Bronchitis Virus but Not *Ornithobacterium rhinotracheale* from a Kentucky Broiler Complex. *Avian Diseases.* 1998;42(3):613-7.
283. Marien M, Decostere A, Martel A, Chiers K, Froyman R, Nauwynck H. Synergy between avian pneumovirus and *Ornithobacterium rhinotracheale* in turkeys. *Avian Pathology.* 1 juin 2005;34(3):204-11.
284. Bano S, Naeem K, Malik SA. Evaluation of pathogenic potential of avian influenza virus serotype H9N2 in chickens. *Avian Dis.* 2003;47(3 Suppl):817-22.
285. Morales-Erasto V, Falconi-Agapito F, Luna-Galaz GA, Saravia LE, Montalvan-Avalos A, Soriano-Vargas E E, et al. Coinfection of *Avibacterium paragallinarum* and *Ornithobacterium rhinotracheale* in Chickens from Peru. *Avian Dis.* mars 2016;60(1):75-8.
286. Zorman-Rojs O, Zdovc I, Bencina D, Mrzel I. Infection of turkeys with *Ornithobacterium rhinotracheale* and *Mycoplasma synoviae*. *Avian Dis.* déc 2000;44(4):1017-22.
287. Ryll M, Hinz KH, Salisch H, Kruse W. Pathogenicity of *Ornithobacterium rhinotracheale* for turkey poults under experimental conditions. *Vet Rec.* 6 juill 1996;139(1):19.
288. Varga J, Fodor L, Makrai L. Characterisation of some *Ornithobacterium rhinotracheale* strains and examination of their transmission via eggs. *Acta Vet Hung.* 2001;49(2):125-30.
289. Odor EM, Salem M, Pope CR, Sample B, Primm M, Vance K, et al. Isolation and Identification of *Ornithobacterium rhinotracheale* from Commercial Broiler Flocks on the Delmarva Peninsula. *Avian Diseases.* 1997;41(1):257-60.
290. Empel PCM van, Hafez HM. *Ornithobacterium rhinotracheale*: A review. *Avian Pathology.* 1 juin 1999;28(3):217-27.
291. Sprenger SJ, Halvorson DA, Nagaraja KV, Spasojevic R, Dutton RS, Shaw DP. *Ornithobacterium rhinotracheale* Infection in Commercial Laying-Type Chickens. *Avian Diseases.* 2000;44(3):725-9.
292. Wetzel AN, Lefevre KM, Raviv Z. Revised *Mycoplasma synoviae* *vlhA* PCRs. *Avian Diseases.* déc 2010;54(4):1292-7.
293. Feberwee A, Mekkes DR, de Wit JJ, Hartman EG, Pijpers A. Comparison of Culture, PCR, and Different Serologic Tests for Detection of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* Infections. *Avian Diseases.* juin 2005;49(2):260-8.
294. Garcia M, Jackwood MW, Head M, Levisohn S, Kleven SH. Use of Species-Specific Oligonucleotide Probes to Detect *Mycoplasma Gallisepticum*, *M. Synoviae*, and *M. Iowae* PCR Amplification Products. *J VET Diagn Invest.* 1 janv 1996;8(1):56-63.
295. Hammond PP, Ramírez AS, Morrow CJ, Bradbury JM. Development and evaluation of an improved diagnostic PCR for *Mycoplasma synoviae* using primers located in the haemagglutinin encoding gene *vlhA* and its value for strain typing. *Veterinary Microbiology.* avr 2009;136(1-2):61-8.

296. Hong Y, García M, Leiting V, Benčina D, Dufour-Zavala L, Zavala G, et al. Specific Detection and Typing of *Mycoplasma synoviae* Strains in Poultry with PCR and DNA Sequence Analysis Targeting the Hemagglutinin Encoding Gene *hba*. *Avian Diseases*. sept 2004;48(3):606-16.
297. Kahya S, Temelli S, Eyigor A, Carli KT. Real-time PCR culture and serology for the diagnosis of *Mycoplasma gallisepticum* in chicken breeder flocks. *Veterinary Microbiology*. août 2010;144(3-4):319-24.
298. Leigh SA, Evans JD. Detection of *Mycoplasma gallinarum* by Real-Time PCR. *International J of Poultry Science*. 1 févr 2009;8(2):108-11.
299. Altschul SF, Gish W, Miller W, Myers EW, Lipman DJ. Basic local alignment search tool. *J Mol Biol*. 5 oct 1990;215(3):403-10.
300. van Kuppeveld FJ, Johansson KE, Galama JM, Kissing J, Bölske G, van der Logt JT, et al. Detection of mycoplasma contamination in cell cultures by a mycoplasma group-specific PCR. *Applied and Environmental Microbiology*. 1994;60(1):149-52.
301. Jarquin R, Schultz J, Hanning I, Ricke SC. Development of a real-time polymerase chain reaction assay for the simultaneous detection of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* under industry conditions. *Avian Dis*. mars 2009;53(1):73-7.
302. Moretti SA, Boucher CE, Bragg RR. Molecular characterisation of *Mycoplasma gallisepticum* genotypes from chickens in Zimbabwe and South Africa. *SAJS*. 2013;109(11/12):1-4.
303. Stanley D, Geier MS, Chen H, Hughes RJ, Moore RJ. Comparison of fecal and cecal microbiotas reveals qualitative similarities but quantitative differences. *BMC Microbiol* [Internet]. 27 févr 2015 [cité 3 oct 2017];15. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4403768/>
304. Williams SM, Dufour-Zavala L, Jackwood MW, Lee MD, Lupiani B, Reed WM, et al. *A laboratory Manual for the Isolation, Identification, and Characterization of Avian Pathogens*. 6^e éd. American Association of Avian Pathologists; 2016.
305. Devriese LA, Haesebrouck F, Herdt P de, Dom P, Ducatelle R, Desmidt M, et al. *Streptococcus suis* infections in birds. *Avian Pathology*. déc 1994;23(4):721-4.
306. Ma Y, Feng Y, Liu D, Gao GF. Avian influenza virus, *Streptococcus suis* serotype 2, severe acute respiratory syndrome-coronavirus and beyond: molecular epidemiology, ecology and the situation in China. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 27 sept 2009;364(1530):2725-37.
307. Mushin R, Weisman Y, Singer N. *Pasteurella haemolytica* Found in the Respiratory Tract of Fowl. *Avian Diseases*. janv 1980;24(1):162.
308. Neubauer C, De Souza-Pilz M, Bojesen AM, Bisgaard M, Hess M. Tissue distribution of haemolytic *Gallibacterium anatis* isolates in laying birds with reproductive disorders. *Avian Pathol*. févr 2009;38(1):1-7.
309. Zloch A, Kuchling S, Hess M, Hess C. Influence of alternative husbandry systems on postmortem findings and prevalence of important bacteria and parasites in layers monitored from end of rearing until slaughter. *Veterinary Record*. 6 févr 2018;182:vetrec-2017.

310. Jordan FTW, Williams NJ, Wattret A, Jones T. Observations on salpingitis, peritonitis and salpingoperitonitis in a layer breeder flock. *Vet Rec.* 5 nov 2005;157(19):573-7.
311. Jones KH, Thornton JK, Zhang Y, Mauel MJ. A 5-year retrospective report of *Gallibacterium anatis* and *Pasteurella multocida* isolates from chickens in Mississippi. *Poult Sci.* déc 2013;92(12):3166-71.
312. El-Adawy H, Bocklisch H, Neubauer H, Hafez HM, Hotzel H. Identification, differentiation and antibiotic susceptibility of *Gallibacterium* isolates from diseased poultry. *Irish Veterinary Journal.* 5 févr 2018;71(1):5.
313. Elbestawy AR, Ellakany HF, Abd El-Hamid HS, Bekheet AA, Mataried NE, Nasr SM, et al. Isolation, characterization, and antibiotic sensitivity assessment of *Gallibacterium anatis* biovar *haemolytica*, from diseased Egyptian chicken flocks during the years 2013 and 2015. *Poult Sci.* 1 mai 2018;97(5):1519-25.
314. Bojesen AM, Nielsen OL, Christensen JP, Bisgaard M. In vivo studies of *Gallibacterium anatis* infection in chickens. *Avian Pathology.* avr 2004;33(2):145-52.
315. Paudel S, Liebhart D, Hess M, Hess C. Pathogenesis of *Gallibacterium anatis* in a natural infection model fulfils Koch's postulates: 1. Folliculitis and drop in egg production are the predominant effects in specific pathogen free layers. *Avian Pathol.* 2014;43(5):443-9.
316. Bojesen AM, Nielsen SS, Bisgaard M. Prevalence and transmission of haemolytic *Gallibacterium* species in chicken production systems with different biosecurity levels. *Avian Pathology.* 1 oct 2003;32(5):503-10.
317. Blackall PJ. Vaccines against infectious coryza. *World's Poultry Science Journal.* 1 mars 1995;51(1):17-26.
318. Crispo M, Blackall P, Khan A, Shivaprasad HL, Clothier K, Senties-Cué CG, et al. Characterization of an Outbreak of Infectious Coryza (*Avibacterium paragallinarum*) in Commercial Chickens in Central California. *Avian Diseases.* 6 juin 2019;63(3):486.
319. Taylor-Robinson D, Cherry JD. A Non-Pathogenic *Mycoplasma* Inhibiting The Effect Of A Pathogenic *Mycoplasma* In Organ Culture. *Journal of Medical Microbiology.* 1 août 1972;5(3):291-8.
320. Bencina D, Mrzel I, Tadina T, Dorrer D. *Mycoplasma* species in chicken flocks with different management systems. *Avian Pathol.* 1987;16(4):599-608.
321. Adeyemi M, Bwala DG, Abolnik C. Comparative Evaluation of the Pathogenicity of *Mycoplasma gallinaceum* in Chickens. *Avian Dis.* mars 2018;62(1):50-6.
322. Beylefeld A, Wambulawaye P, Bwala DG, Gouws JJ, Lukhele OM, Wandrag DBR, et al. Evidence for Multidrug Resistance in Nonpathogenic *Mycoplasma* Species Isolated from South African Poultry. *Dozois CM, éditeur. Appl Environ Microbiol.* 31 août 2018;84(21):e01660-18, /aem/84/21/e01660-18.atom.
323. Byrum BR, Slemons RD. Detection of Proteolytic Bacteria in the Upper Respiratory Tract Flora of Poultry. *Avian Diseases.* juill 1995;39(3):622.
324. Rosa MD, Droual R, Chin RP, Shivaprasad HL, Walker RL. *Ornithobacterium rhinotracheale* Infection in Turkey Breeders. *Avian Diseases.* oct 1996;40(4):865.

325. Mullis K, Faloona F, Scharf S, Saiki R, Horn G, Erlich H. Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol.* 1986;51 Pt 1:263-73.
326. Woo PCY, Lau SKP, Teng JLL, Tse H, Yuen K-Y. Then and now: use of 16S rDNA gene sequencing for bacterial identification and discovery of novel bacteria in clinical microbiology laboratories. *Clinical Microbiology and Infection.* 1 oct 2008;14(10):908-34.
327. Janda JM, Abbott SL. 16S rRNA Gene Sequencing for Bacterial Identification in the Diagnostic Laboratory: Pluses, Perils, and Pitfalls. *Journal of Clinical Microbiology.* 1 sept 2007;45(9):2761-4.
328. El-Gazzar M, Ghanem M, McDonald K, Ferguson-Noel N, Raviv Z, Slemons RD. Development of Multilocus Sequence Typing (MLST) for *Mycoplasma synoviae*. *Avian Diseases.* 17 oct 2016;61(1):25.
329. Bekő K, Kreizinger Z, Sulyok KM, Kovács ÁB, Gróznér D, Catania S, et al. Genotyping *Mycoplasma gallisepticum* by multilocus sequence typing. *Veterinary Microbiology.* avr 2019;231:191-6.
330. Ghanem M, Wang L, Zhang Y, Edwards S, Lu A, Ley D, et al. Core Genome Multilocus Sequence Typing: a Standardized Approach for Molecular Typing of *Mycoplasma gallisepticum*. Fenwick B, éditeur. *J Clin Microbiol.* 25 oct 2017;56(1):e01145-17.
331. Pillai S, Gopalan V, Lam AK-Y. Review of sequencing platforms and their applications in phaeochromocytoma and paragangliomas. *Crit Rev Oncol Hematol.* août 2017;116:58-67.
332. Escobar-Zepeda A, Vera-Ponce de León A, Sanchez-Flores A. The Road to Metagenomics: From Microbiology to DNA Sequencing Technologies and Bioinformatics. *Front Genet [Internet].* 2015 [cité 20 févr 2021];6. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2015.00348/full>
333. Miyamoto M, Motooka D, Gotoh K, Imai T, Yoshitake K, Goto N, et al. Performance comparison of second- and third-generation sequencers using a bacterial genome with two chromosomes. *BMC Genomics.* 21 août 2014;15:699.
334. Thomas T, Gilbert J, Meyer F. Metagenomics - a guide from sampling to data analysis. *Microb Inform Exp.* 9 févr 2012;2:3.
335. Araujo S, Goulart LR, Truman RW, Goulart IMB, Vissa V, Li W, et al. qPCR-High resolution melt analysis for drug susceptibility testing of *Mycobacterium leprae* directly from clinical specimens of leprosy patients. *PLoS Negl Trop Dis.* juin 2017;11(6):e0005506.
336. Assoumou L, Charpentier C, Recordon-Pinson P, Grudé M, Pallier C, Morand-Joubert L, et al. Prevalence of HIV-1 drug resistance in treated patients with viral load >50 copies/mL: a 2014 French nationwide study. *J Antimicrob Chemother.* 1 juin 2017;72(6):1769-73.
337. FAO. Approaches to controlling, preventing and eliminating H5N1 highly pathogenic avian influenza in endemic countries. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2011. (Animal Production and Health Paper). Report No.: 171.
338. Guinat C, Nicolas G, Vergne T, Bronner A, Durand B, Courcoule A, et al. Spatio-temporal patterns of highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N8 spread, France, 2016 to 2017. *Eurosurveillance.* 28 juin 2018;23(26):1700791.

339. Bavinck V, Bouma A, van Boven M, Bos MEH, Stassen E, Stegeman JA. The role of backyard poultry flocks in the epidemic of highly pathogenic avian influenza virus (H7N7) in the Netherlands in 2003. *Preventive Veterinary Medicine*. avr 2009;88(4):247-54.
340. Thomas ME, Bouma A, Ekker HM, Fonken AJM, Stegeman JA, Nielen M. Risk factors for the introduction of high pathogenicity Avian Influenza virus into poultry farms during the epidemic in the Netherlands in 2003. *Preventive Veterinary Medicine*. juin 2005;69(1-2):1-11.
341. Kim J-K, Negovetich NJ, Forrest HL, Webster RG. Ducks: The “Trojan Horses” of H5N1 influenza. *Influenza and Other Respiratory Viruses*. 2009;3(4):121-8.
342. Canadian Food Inspection Agency. Canada’s Experiences with Avian Influenza (AI) [Internet]. 2005 [cité 27 avr 2018]. Disponible sur: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A5334I/A5334I.PDF>
343. Kermorgant P. Les mycoplasmoses aviaires: enquête sérologique réalisée en Bretagne en 1998 [Thèse de docteur vétérinaire]. [Nantes]: Faculté de Médecine Vétérinaire; 1999.
344. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2020. Disponible sur: <https://www.R-project.org/>
345. Chen X, Miflin JK, Zhang P, Blackall PJ. Development and Application of DNA Probes and PCR Tests for *Haemophilus paragallinarum*. *Avian Diseases*. avr 1996;40(2):398.
346. Benson DA, Karsch-Mizrachi I, Lipman DJ, Ostell J, Sayers EW. GenBank. *Nucleic Acids Res*. janv 2010;38(Database issue):D46-51.
347. Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C, Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. *Mol Biol Evol*. 01 2018;35(6):1547-9.
348. Nei M, Kumar S. *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press. New York, NY; 2000.
349. Corney BG, Diallo IS, Wright L, Hewitson G, De Jong A, Tolosa X, et al. Rapid and sensitive detection of *Avibacterium paragallinarum* in the presence of other bacteria using a 5' Taq nuclease assay: a new tool for diagnosing infectious coryza. *Avian Pathology*. déc 2008;37(6):599-604.
350. Jackwood MW, Wit JJD. Infectious bronchitis. In: *Diseases of poultry*. 14th éd. Wiley Blackwell; 2020. p. 167-77.
351. Bagust TJ. Laryngotracheitis (gallid-1) herpesvirus infection in the chicken 4. latency establishment by wild and vaccine strains of ILT virus. *Avian Pathology*. janv 1986;15(3):581-95.
352. Dereja IA, Hailemichael D. Infectious Coryza in Jimma Backyard Chicken Farms: Clinical and Bacteriological Investigation. *Journal of Veterinary Science & Technology* [Internet]. 2017 [cité 5 déc 2018];08(01). Disponible sur: <https://www.omicsonline.org/open-access/infectious-coryza-in-jimma-backyard-chicken-farms-clinical-andbacteriological-investigation-2157-7579-1000412.php?aid=85200>
353. Messa Júnior A, Taunde P, Zandamela AF, Junior AP, Chilundo A, Costa R, et al. Serological Screening Suggests Extensive Presence of *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* in Backyard Chickens in Southern Mozambique. *J Vet Med*. 2017;2017:2743187.

354. Ahmed MAH. Epidemiological and Diagnostic Studies on *Mycoplasma gallisepticum* and *Mycoplasma synoviae* Originating from Poultry and Non-poultry Birds. [Giessen, Germany]: Justus-Liebig-University; 2016.
355. Bigras-Poulin M, Thompson RA, Chriel M, Mortensen S, Greiner M. Network analysis of Danish cattle industry trade patterns as an evaluation of risk potential for disease spread. *Prev Vet Med.* 15 sept 2006;76(1-2):11-39.
356. Sun X, Kung NY-H, Gao L, Liu Y, Zhan S, Qi X, et al. Social network analysis for poultry HPAI transmission. *Transbound Emerg Dis.* déc 2018;65(6):1909-19.
357. La volaille française. Chiffres clés 2019 [Internet]. 2019 [cité 6 janv 2021]. Disponible sur: <https://www.volaille-francaise.fr/la-filiere-avicole/chiffres-cles/>
358. Pires AFA, Peterson A, Baron JN, Adams R, Moore DA. Assessment of veterinarians' engagement with backyard poultry and small-scale livestock operations in four western states. *Journal of the American Veterinary Medical Association.* juill 2020;257(2):196-209.
359. Nicholson CW, Campagnolo ER, Boktor SW, Butler CL. Zoonotic disease awareness survey of backyard poultry and swine owners in southcentral Pennsylvania. *Zoonoses Public Health.* 4 févr 2020;
360. Statista. Accès Internet à domicile en France 2019 [Internet]. Statista. 2019 [cité 6 janv 2021]. Disponible sur: <https://fr.statista.com/statistiques/471949/equipement-connexion-internet-a-domicile-france/>
361. MAA. Déclarer la détention de volailles [Internet]. 2021 [cité 6 janv 2021]. Disponible sur: https://www.mesdemarches.agriculture.gouv.fr/demarches/particulier/effectuer-une-declaration-55/article/declarer-la-detention-de-volailles?id_rubrique=53&rubrique_all=1
362. McQuiston JH, Garber LP, Porter-Spalding BA, Hahn JW, Pierson FW, Wainwright SH, et al. Evaluation of risk factors for the spread of low pathogenicity H7N2 avian influenza virus among commercial poultry farms. *J Am Vet Med Assoc.* 1 mars 2005;226(5):767-72.
363. Ojkic D, Swinton J, Vallieres M, Martin E, Shapiro J, Sanei B, et al. Characterization of field isolates of infectious laryngotracheitis virus from Ontario. *Avian Pathol.* août 2006;35(4):286-92.
364. MAA. Communiqué de presse - Un foyer d'influenza aviaire hautement pathogène détecté en Haute-Corse. Paris: Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; 2020 nov.
365. MAA. Communiqué de presse - Influenza aviaire hautement pathogène : un foyer détecté dans les Yvelines. Paris: Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; 2020 nov.
366. Islam MZ, Ahmed S, Hossain F, Mahmood A, Ahad A, Chowdhury S, et al. Risk factors for mycoplasma gallisepticum seroprevalence in chickens. *J Anim Plant Sci.* 2015;7.
367. De Glanville W, Idris S, Costard S, Unger F, Pfeiffer D. A quantitative risk assessment for the onward transmission of highly pathogenic avian influenza H5N1 from an infected small-scale broiler farm in Bogor, West Java, Indonesia [Internet]. 2010 oct [cité 7 janv 2021]. Report No.: 23. Disponible sur: <https://www.ifpri.org/publication/quantitative-risk-assessment-onward-transmission-highly-pathogenic-avian-influenza-h5n1>
368. Hooper LV, Littman DR, Macpherson AJ. Interactions Between the Microbiota and the Immune System. *Science.* 8 juin 2012;336(6086):1268-73.

369. Glendinning L, McLachlan G, Vervelde L. Age-related differences in the respiratory microbiota of chickens. *PLOS ONE*. 22 nov 2017;12(11):e0188455.
370. Citti C, Blanchard A. Mycoplasmas and their host: emerging and re-emerging minimal pathogens. *Trends in Microbiology*. avr 2013;21(4):196-203.
371. Jordan FTW. Avian mycoplasma and pathogenicity - A review. *Avian Pathology*. juill 1975;4(3):165-74.
372. Lamont SJ. Impact of genetics on disease resistance. *Poultry Science*. 1 août 1998;77(8):1111-8.
373. Keesing F, Belden LK, Daszak P, Dobson A, Harvell CD, Holt RD, et al. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*. déc 2010;468(7324):647-52.
374. Drew TW. The emergence and evolution of swine viral diseases: to what extent have husbandry systems and global trade contributed to their distribution and diversity? *Rev Sci Tech*. avr 2011;30(1):95-106.
375. Cutler SJ, Fooks AR, van der Poel WHM. Public Health Threat of New, Reemerging, and Neglected Zoonoses in the Industrialized World. *Emerg Infect Dis*. janv 2010;16(1):1-7.
376. Graham JP, Leibler JH, Price LB, Otte JM, Pfeiffer DU, Tiensin T, et al. The Animal-Human Interface and Infectious Disease in Industrial Food Animal Production: Rethinking Biosecurity and Biocontainment. *Public Health Rep*. mai 2008;123(3):282-99.
377. Mannelli A, Ferrè N, Marangon S. Analysis of the 1999-2000 highly pathogenic avian influenza (H7N1) epidemic in the main poultry-production area in northern Italy. *Prev Vet Med*. 16 mars 2006;73(4):273-85.
378. Collectif RURALITE. Enfin produire les vaccins pour volailles en conditionnements adaptés aux petits élevages [Internet]. *Change.org*. 2020 [cité 12 janv 2021]. Disponible sur: <https://www.change.org/p/enfin-produire-les-vaccins-pour-volailles-en-conditionnements-adaptes-aux-petits-elevages>
379. Truscott J, Garske T, Chis-Ster I, Guitian J, Pfeiffer D, Snow L, et al. Control of a highly pathogenic H5N1 avian influenza outbreak in the GB poultry flock. *Proc Biol Sci*. 22 sept 2007;274(1623):2287-95.
380. Awan MA, Otte MJ, James AD. The epidemiology of Newcastle disease in rural poultry: A review. *Avian Pathology*. 1 sept 1994;23(3):405-23.
381. Webster RG, Bean WJ, Gorman OT, Chambers TM, Kawaoka Y. Evolution and ecology of influenza A viruses. *Microbiol Rev*. 3 janv 1992;56(1):152-79.
382. Hafez HM, Attia YA. Challenges to the Poultry Industry: Current Perspectives and Strategic Future After the COVID-19 Outbreak. *Front Vet Sci* [Internet]. 26 août 2020 [cité 24 déc 2020];7. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7479178/>
383. MAA. Influenza aviaire : les mesures de biosécurité pour les opérateurs professionnels et les particuliers [Internet]. 2021 [cité 19 janv 2021]. Disponible sur: <https://agriculture.gouv.fr/influenza-aviaire-les-mesures-de-biosecurite-pour-les-operateurs-professionnels-et-les-particuliers>

ANNEXES

Annexe 1 : Cartographie des races de volailles françaises



Annexe 2 : Exemple de protocole de vaccinations de poulettes futures pondeuses dans le secteur commercial. En gras figurent les vaccins inactivés, les autres étant des vaccins vivants atténués

Jours d'âge	Semaines	Vaccination	Voie d'administration
couvoir	S0	Marek et Gumboro (vaccin congelé)	Sous-cutanée
Couvoir	S0	Bronchite infectieuse (souche classique)	Nébulisation
J7	S1	Pneumovirus	Nébulisation
J15	S2	Bronchite infectieuse variant	Nébulisation
J35	S5	Newcastle + Bronchite infectieuse	Nébulisation
J 56	S8	Newcastle	Eau de boisson ou nébulisation
J 63	S9	Pneumovirus	Nébulisation
J 70	S10	Bronchite infectieuse variant	Nébulisation
J 77	S11	Laryngotrachéite infectieuse	Voie oculaire
J77	S11	salmonelles +réovirose	IM
J84	S12	Encéphalomyélite aviaire	Eau de boisson
J99	S14	Colibacillose (facultatif)	Nébulisation
J105	S17	Newcastle + Bronchite infectieuse + EDS 76 + Pneumovirus + Bronchite variants + Gumboro + Salmonelles	IM
J105	S17	Réovirose	IM



**1 poule à la maison...
2 poules au fond du jardin ?**

Prenez-en soin !

La Poule occitane est un projet en collaboration avec l'École Nationale Vétérinaire et l'École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse qui contribue à faire avancer la recherche publique et à sensibiliser les propriétaires de poules.

Il s'agit d'un projet **participatif et éducatif** pour tous les propriétaires de poules en région toulousaine.

Pour **échanger**, diffuser de l'information, s'assurer de la **bonne santé de nos poulaillers**, et estimer la population de nos bêtes à plumes en zone urbaine.

Vous possédez une ou plusieurs poules dans la région toulousaine ?

Contactez nous !



Vous savez peut-être que ...
Depuis quelques années il existe un véritable **boom des poulaillers urbains**
A l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, on soigne de plus en plus de poules de compagnie

Ainsi ...
Notre projet de recherche vise à étudier la présence et la santé des **poulaillers dans nos villes**

L'axe Transition Écologique du CERTOP et le Réseau-Agriville participent également au projet POC

Vous avez des poules à la maison ?

La poule occitane vous attend nombreux sur notre page Facebook

Pour plus d'informations au sujet de Poc :
<http://blogs.univ-tlse2.fr/agriurba2017/>

 Poc La Poule Occitane  poule.poc@envt.fr





Vous savez peut-être que ... les poules sont de plus en plus à la mode !

Depuis quelques années il existe un véritable boom des poulaillers surtout en ville.

L'École Nationale Vétérinaire de Toulouse soigne de plus en plus de poules de compagnie.

L'École Nationale Vétérinaire et l'École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse collaborent pour estimer la population de nos bêtes à plumes et mieux connaître les pratiques des propriétaires afin de mieux conseiller sur la santé des poulaillers en France.

Aujourd'hui, il n'existe pas encore de moyen de communiquer avec les propriétaires de poules. L'École Nationale Vétérinaire y pallie à l'aide d'un sondage que vous pouvez réaliser en 5 minutes !

Répondez au sondage grâce au QR-code ou en allant directement sur la page ou alors répondez au sondage papier et renvoyez-le dans son enveloppe pré-timbrée



<http://bit.ly/poule poc>



POC La Poule Occitane



poule.poc@envt.fr

Les données de cette étude sont uniquement utilisées à des fins de sensibilisation. Nous sommes une équipe de recherche dont le projet n'est pas là pour renforcer la réglementation mais est uniquement à visée participative et éducative. Les informations personnelles restent confidentielles mais nous aideront, avec les propriétaires, à améliorer la santé des poules.



Etude des pratiques des particuliers propriétaires de poulaillers à l'échelle nationale
V3_ENVT

Description du poulailler

1	Combien avez-vous de poules dans votre poulailler ? Nombre exact : _____
2	a) Avez-vous d'autres espèces d'oiseaux ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
	b) Si oui, précisez lesquelles : _____
3	Depuis quand possédez-vous des volailles ?
	<input type="radio"/> < 2 ans
	<input type="radio"/> Entre 2 et 5 ans
	<input type="radio"/> Entre 5 et 10 ans
	<input type="radio"/> Entre 10 et 30 ans
<input type="radio"/> Plus de 30 ans	
4	Pour quelle(s) raisons possédez-vous des volailles (<i>plusieurs réponses possibles</i>)
	<input type="radio"/> Pour la compagnie et la relation homme-animal
	<input type="radio"/> Pour l'ornement
	<input type="radio"/> Pour consommer les œufs de qualité
	<input type="radio"/> Pour recycler/valoriser les déchets organiques
<input type="radio"/> Pour des raisons éthiques et écologiques (manger local, respect du bien-être animal)	

Description de vos pratiques

5	Combien de fois par jour allez-vous voir vos volailles ?
	<input type="radio"/> Moins d'une fois par jour
	<input type="radio"/> 1 fois par jour
	<input type="radio"/> 2 fois par jour
<input type="radio"/> > 2 fois par jour	
6	Y-a-t-il des chaussures spécifiques au poulailler ? <input type="radio"/> Jamais <input type="radio"/> Parfois <input type="radio"/> Souvent <input type="radio"/> Toujours
7	Vous lavez-vous les mains après être allé voir les poules ? <input type="radio"/> Jamais <input type="radio"/> Parfois <input type="radio"/> Souvent <input type="radio"/> Toujours
8	Alimentation : les volailles mangent-elles en priorité ? (<i>Deux réponses possibles</i>)
	<input type="radio"/> Des restes de repas
	<input type="radio"/> Du blé ou maïs (mêlé par vos soins)
	<input type="radio"/> Un mélange de céréales acheté dans le commerce
<input type="radio"/> Un aliment complet du commerce (granulés)	
9	Donnez-vous ou vendez-vous des œufs à vos voisins/famille/amis/collègues ?
	<input type="radio"/> Jamais
	<input type="radio"/> Parfois
	<input type="radio"/> Souvent
<input type="radio"/> Toujours	
10	a) Lavez-vous les œufs issus de vos poules ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
	b) Quand ? <input type="radio"/> Avant la consommation <input type="radio"/> Après le ramassage
11	Mettez-vous en place des mangeoires ou de l'alimentation dans le jardin pour les oiseaux sauvages ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
12	Avez-vous fait visiter votre poulailler à des possesseurs de volailles ces trois derniers mois ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
13	Avez-vous visité d'autres basses-cours ces trois derniers mois ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non
14	Etes-vous en contact avec une personne qui possède des volailles ?
	<input type="radio"/> Jamais <input type="radio"/> Parfois

	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Souvent <input type="radio"/> Toujours
15	<p>A quelle fréquence nettoyez-vous le poulailler ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Chaque jour <input type="radio"/> Chaque semaine <input type="radio"/> Une fois par mois ou plus et moins d'une fois par semaine <input type="radio"/> 1 fois par an ou moins

Mouvements, origine et devenir des poules

16	<p>Sur la dernière année, avez-vous ? <i>(Plusieurs réponses possibles)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Introduit une nouvelle poule dans votre poulailler <input type="radio"/> Vendu ou donné des poules <input type="radio"/> Déplacé et mélangé avec d'autres oiseaux une ou plusieurs poules avec un retour chez vous ensuite
17	<p>Quel âge ont (en général) les oiseaux à l'introduction dans le poulailler ? <i>(Une réponse)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Poussins (<3 semaines) <input type="radio"/> Poule prête à pondre (18-20 semaines environ) <input type="radio"/> Poules > 1 an (ex : poule de réforme) <input type="radio"/> Œufs fécondés
18	<p>Où achetez-vous préférentiellement vos volailles ? <i>(Une réponse)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Professionnel en direct <input type="radio"/> Eleveur amateur ou particulier en direct (via internet, amis, voisins, famille) <input type="radio"/> Marchés de volailles ou regroupement d'oiseaux (foire, exposition) <input type="radio"/> Magasins spécialisés : jardinerie, animaleries
19	<p>Précisez le lieu d'achat (ou provenance) de la dernière poule de votre poulailler ? _____</p>
20	<p>Quelle est la destination des oiseaux quittant le poulailler ? <i>(Une réponse)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> A des voisins, amis ou collègues de proximité <input type="radio"/> Vendus sur des marchés ou foires <input type="radio"/> Vendus sur internet à des particuliers <input type="radio"/> Mes oiseaux ne quittent pas le poulailler
21	<p>Lors de mortalité, que faites-vous de l'animal décédé ? <i>(Une réponse)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Enterré dans le jardin <input type="radio"/> Brulé <input type="radio"/> Amené chez le vétérinaire en urgence et laissé sur place <input type="radio"/> Mis dans les déchets ménagers

Santé du poulailler

22	<p>a) Avez-vous remarqué des signes cliniques sur la dernière année ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non</p> <p>b) Si oui, quelles sont leurs caractéristiques ? <i>(Plusieurs choix possibles)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Respiratoire <input type="radio"/> Digestive <input type="radio"/> Nerveuse <input type="radio"/> Locomotrice <input type="radio"/> Cutané <input type="radio"/> Je ne sais pas
23	<p>Avez-vous consulté un vétérinaire au cours de la dernière année pour vos poules ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non</p>
24	<p>Avez-vous effectué des traitements au cours de la dernière année ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non</p>
25	<p>a) Traitez-vous habituellement vos animaux avec ? <i>(Une ou plusieurs réponses possibles)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Vitamines ou compléments minéraux

	<input type="radio"/> Antibiotiques <input type="radio"/> Vermifuges <input type="radio"/> Antiparasitaire externe <input type="radio"/> Produits alternatifs ou à base de plantes
	b) Où vous approvisionnez-vous en priorité ? (Une réponse) <input type="radio"/> Cabinet vétérinaire <input type="radio"/> Animalerie <input type="radio"/> Internet <input type="radio"/> Pharmacie <input type="radio"/> Autre, précisez :
26	Avez-vous déjà entendu parlé des maladies suivantes chez les volailles ? (Cochez le nom des maladies que vous connaissez) <input type="radio"/> Salmonellose <input type="radio"/> Grippe Aviaire <input type="radio"/> Campylobacteriose <input type="radio"/> Maladie de Newcastle

Descriptif du propriétaire du poulailler

27	Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ? <input type="radio"/> De 16 à 29 ans <input type="radio"/> De 30 à 49 ans <input type="radio"/> De 50 à 64 ans <input type="radio"/> 65 ans et plus
28	Quelle est votre catégorie socio-professionnelle ? <input type="radio"/> Agriculteurs exploitants <input type="radio"/> Artisans, commerçants, chefs d'entreprise <input type="radio"/> Cadres et professions intellectuelles supérieures <input type="radio"/> Professions intermédiaires <input type="radio"/> Employés <input type="radio"/> Ouvriers <input type="radio"/> Retraités <input type="radio"/> Autres personnes sans activité professionnelle <input type="radio"/> Etudiants
29	Où avez-vous entendu parler du projet ? _____

Contact et localisation du poulailler (c'est important pour notre étude)

Mail ou téléphone	
Code Postal	
Adresse	

Merci pour votre participation au questionnaire. N'hésitez pas à parler de POC autour de vous !

L'Ecole Vétérinaire de Toulouse vous propose également de participer à la suite du projet.
 Le but est d'étudier la présence de certaines maladies d'intérêt sur vos poules. Les analyses sont réalisées
 GRATUITEMENT et les résultats sont envoyés par e-mail aux participants.

Seriez-vous d'accord pour participer à la suite de l'étude ?	<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Non
--	---------------------------	---------------------------


Pour plus d'information, nous contacter par e-mail à poule.poc@envt.fr

*Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique destiné à : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse pour la ou les finalité(s) suivante(s) : Etude du statut sanitaire des poulaillers urbains de Toulouse et agglomérations. Le ou les destinataire(s) des données sont : clinique aviaire de l'ENVT.
 Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant en vous adressant à : Clinique Aviaire - Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Vous pouvez également, pour des motifs légitimes, vous opposer au traitement des données vous concernant. Pour en savoir plus, consultez vos droits sur le site de la CNIL. L'intégralité des données sera traitée de façon anonyme.*

Annexe 6 : Liste des couples d'amorces utilisés au cours des différentes études(*)

Pathogens	Targeted genes	Forward primers (5'-3')	Reverse primers (5'-3')	Amplicons length (bp)	Reference
Influenza A virus	M	M52C: CTTCTAACCGAGGTGCGAAACG	M253R: AGGGCATTTTGGACAAAKCGTCTA	250	Fouchier et al. 2000
H5 Influenza virus	HA	H5_kha1: CCTCCAGARTATGCMTAYAAAAATTGTC	H5_kha3: TACCAACCGTCTACCATKCCYTG	300	Perez et al. 2012
H6 Influenza virus	HA	H6-928F: CCACATGCCAGACTATTGCAGG	H6-1251R: CGACAGCTTCGAATGTGTGTTC	351	In-house primers
H7 Influenza virus	HA	GK7.3: ATGTCCGAGATATGTTAAGCA	GK7.4: TTTGTAATCTGCAGCAGTTC	201	Slomka et al. 2007
H9 Influenza virus	HA	H9-Shabat-Fm: GGAAGAATTAATTATTATGGTTCRGATC	H9-Shabat-R: GCCACCTTTTTTCAGTCTGACATT	185	Shabat et al. 2010
Metapneumovirus subtypes A & B	SH	SH-f: TAGTTTTGATCTTCCTTGTTC	SH-r: GTAGTTGTGCTCAGCTCTGATA	200	Cecchinato et al. 2013
Paramyxovirus-1 (NDV)	Fusion (cleavage site)	FIP1: TACTTTGCTCACCCCTT	FIP2: CATCTTCCCAACTGCCACT	280	Kho et al. 2000
BI-N	N	N791: GTGATGACAAGATGAATGAGGA	N1129: CAGCTGAGGTCAATGCTTTATC	380	Farsang et al. 2002
BI-GU	UTR	GU391 : GCTTTTGAGCCTAGCGTT	GL533 : GCCATGTTGTCAGTGC TATTG	142	Callison et al., 2006
ILT-UL	UL15a	UL15aF: TTGCTGTGCTATTTTCGCGTG	UL15aR: GTAATCGTTTAGTGCAGCAT	113	Mahmoudian et al. 2011
ILT-gB	gB	PF : CAATGGCTTCGGAGAAAGAG	PR : GGCAATCCTGATCCCATCTA	116	Zhang et al. 2018
MG-16S	16S	MG14F: GAGCTAATCTGTAAGTTGGTC	MG13R: GCTTCCTTGCAGTTAGCAAC	186	Jarquín et al. 2009
MG-mgc2	Mgc2	Mgc2 F : CGCAATTTGGTCCTAATCCCAACA	Mgc2 R : TAAACCCACCTCCAGCTTTATTTC	300	Moretti et al. 2013
MS-16S	16S	MSLF: GAGAAGCAAAATAGTGATATCA	MSLR: CAGTCGTCTCCGAAGTTAACAA	214	Jarquín et al. 2009
MS-vlha	vlha	Vlha F : CCATTGCTCCTGCTGTTAT	Vlha R : KMTKCTGTTGTAGTTGCTTCAA	295	Wetzel et al. 2010
Bordetella avium	recA	BaREC2f: CGGAATCGTCGGGTAACACG	BaREC2r: TGGAAGCGTACTGGACATCG	200	In-house primers
Ornithobacterium rhinotracheale	gyrA	ORT101F: TGGGCAAGGGAACCTTGGTT	ORT101R: TGTCGGCAAGCATTTCTCA	101	In-house primers
Pasteurella multocida	gyrB	gyrBPMF: GCCCTTCCGATAAAATTGCAA	gyrBPMR: ATCGCGGCTAATGGTGCTT	100	Boyce et al. 2002
Riemerella anatipestifer	gyrB	gyrBP1: AGAGCGAGAAGAAAAACCT	gyrBP2: CTCCATAAGCATAGAGAAGA	194	Wang et al. 2012
Chlamydia psittaci	ompA	Cp2fbis: CTCGCCCTGTCTTACAGATTG	Cp2r: GCATCAAAAGTTGCTCGTGACC	74	In-house primers
Chlamydia spp.	16S	Ch23S F : CTGAAACCAGTAGCTTATAAGCGGT	Ch23S R : ACCTCGCCGTTAACTTAACTCC	110	Ehricht 2006
Chlamydia gallinacea	EnoA	Eno A F : CAATGGCTTACAATCCAAAGAGT	Eno A R : CATGCGTACAGCTTCCGTAAC	72	Laroucau 2015
AP-hp2	Hp2	HP2F: TGAGGGTAGTCTTGCACGCGAAT	HP2R: CAAGGTATCGATCGTCTCTACT	500	Chen et al. 1996
AP-infB	infB	Inf B-F : GCCAGTTGCTACCATTTGG	Inf B-R : AGCCTAGCACTTCCACAGGA	155	Wen et al. 2016
Aspergillus fumigatus	18S rDNA	Asp-fw: CTTGGATTTGCTGAAGACTAAC	Asp-rv: CTAACCTTTCGTTCCCTGATTAATG	76	Johnson et al. 2012
Archaea	16S rDNA	A751F: CCGACGGTGAGRGRYGAA	A976R: YCCGGCGTTGAMTCCAATT	225	Just et al. 2013
Escherichia coli (4 subtypes)	gadA	GadA.F: GCGTTGCGTAAATATGTTTGCCGA	GadA.R: CGTCACAGGCTCAATCATGCGTT		
Escherichia coli (4 subtypes)	chuA	ChuA.1: GACGAACCAACGGTCAGGAT	ChuA.2: TGCCGCCAGTACCAAAGACA	279	Clermont et al. 2000
Escherichia coli (4 subtypes)	yjaA	YjaA.1: TGAAGTGTGACGAGACGCTG	YjaA.2: ATGGAGATGCGTTCCTCAAC	211	Clermont et al. 2000
Escherichia coli (4 sous-types)	TspE4C2	TspE4C2.1: GAGTAATGTCGGGGCATTCA	TspE4C2.2: CGCGCCAACAAAGTATTACG	152	Clermont et al. 2000
16S RNA	16S rDNA	Univ 16S-3: AGAGTTTGATCCTGGCTCAG	Univ 16S-4: GCGGCTGCTGGCAGG	300	Register and Yersin 2005

(*) En bleu figurent les couples d'amorces ayant été rajoutés aux agents pathogènes initiaux figurant dans la publication (113) et en gris ceux n'ayant pas été utilisés dans l'étude.

	Préparation des milieux de culture SP4 liquide et solide pour isolement de mycoplasmes de terrain.	Référence : MO-PRO-MYCO-009 (bis) Version 1 Date : 01.09.2016 Page 1 sur 4
---	--	---

I- Objet :

Préparation des milieux liquides et solides, pour l'isolement de *M. bovis* / *M. agal*, à partir de prélèvements de terrain. (Milieu SP4 SVF, avec acétate de thallium et cobactan)

II- Matériel et réactifs nécessaires :

1- Matériel : Récipient type becher ou erlen


Balance de précision
 Flacons pyrex : 1litre
 Eprouvette graduée : 500ml.

Agitateur magnétique
 pH mètre
 Autoclave
 Cabine à flux laminaire
 Filtres Milex 0,22µm, Millipore
 Tubes 5 ml stériles (Falcon, réf : 35205)
 Tubes 50 ml (Falcon, réf : 352070)

2- Réactifs :

- PPLO broth (Difco, réf: 255420. Lot: 0011228)
- Tryptone peptone (Difco, réf: 211705. Lot: 3039221)
- Bacto peptone (Difco, réf: 211677. Lot: 1269920)
- SVF (Fetal Bovine Serum) (Gibco, réf: 10270-106. Lot: 41Q4740K). Conditionné stérilement
- CMRL 1066 (10X), (Gibco, réf: 21540-026. Lot: 1658279. Conditionné stérilement
- TC yeastolate (Difco, réf: 255772. Lot: 1321227)
- Extrait de levure 15% (Gibco, réf: 18180-059. Lot: 00488 K11). Conditionné stérilement
- D-(+)-Glucose (Sigma, réf: G6152. Lot: 129K00511V)
- Cobactan (sol. stock à 4.5%). Conditionné stérilement
- Acétate de thalium (Sigma, réf : T8266)
- Rouge de phénol 0,5% (Sigma, réf: P0290. Lot: RNBC0657). Conditionné stérilement
- Select agar (Invitrogen, réf : 30391-023. Lot : 15110047)
- H2O bi-distillée

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom :			
Fonction :			
Visa :			

	Préparation des milieux de culture SP4 liquide et solide pour isolement de mycoplasmes de terrain.	Référence : MO-PRO-MYCO-009 (bis) Version 1 Date : 01.09.2016 Page 2 sur 4
---	--	---

III- Contraintes spécifiques :

La préparation des milieux se fait en deux temps :

- préparation des bases et suppléments pour milieux liquides et solides
- puis ajout de tous les suppléments pour obtenir les milieux liquides et solides complets.

Travailler stérilement sous cabine à flux laminaire, une fois le milieu autoclavé.

IV- Méthode :

A- Préparation des milieux de base, suppléments et conditionnements :

1- *Préparation du milieu de base* qsp 500ml:

- PPLO broth : 1,75g
- Tryptone peptone : 5g
- Bacto peptone : 2,66g
- H2O bi-distillée : 347ml

Peser tous les ingrédients, les verser dans le récipient, ajouter l'eau et mettre en agitation avec un barreau aimanté, jusqu'à dissolution totale des poudres.

Prendre le pH de la solution et l'ajuster jusqu'à **pH = 7,8** (avec du NaOH 10N ou 0,5N).

Répartir la base comme suit : (afin de prévoir la réalisation du milieu liquide et solide)

a) Préparation du milieu liquide, base :

1 flacon de 500 ml avec 347 ml de base.
Autoclaver à 125° pendant 15mn et conserver à - 20°C.


b) Préparation du milieu solide, base agar qsp 100 ml.

1 flacon de 200 ml avec 70 ml de base.

Rajouter 0,9g d'agar dans chaque flacon.

Autoclaver à 125° pendant 15mn, puis conserver à température ambiante.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom :			
Fonction :			
Visa :			

 <p>Unité National de la Recherche Agronomique UMR 1225 - MAM</p>	<p>Préparation des milieux de culture SP4 liquide et solide pour isolement de mycoplasmes de terrain.</p>	<p>Référence : MO-PRO-MYCO-009 (bis) Version 1 Date : 01.09.2016 Page 3 sur 4</p>
--	---	---

2- Préparation et conditionnement des suppléments :

- a) Sérum de veau fœtal : Laisser décongeler le sérum à température ambiante et décomplémenter au bain-marie à 56°C, 30mn.
Conditionner en cornings de 50 ml et conserver à - 20°C.
- b) CMRL 1066 (10X): (flacon de 500 ml). Fractionné en cornings de 50 ml et Conservé à -20°C.
- c) Extrait de levure solution 15% : conservée à 4° C (flacon de 50 ml)
- d) Solution de TC yeastolate 4%: peser 4g de TC yeastolate et les dissoudre dans 100 ml d'eau bi-distillée.
Stériliser par filtration (sous la hotte) avec des filtres millipores 0,22 µm (à raison d'un filtre pour 50 ml).
Conditionner en cornings de 50ml et conserver à 4°C.
- e) Solution de glucose à 50% : peser 25g de D-Glucose et le dissoudre dans 50ml d'eau bi-distillée, en agitation sur une plaque magnétique chauffante (entre 50 et 100°C).
Stériliser par filtration (sous hotte) avec des filtres millipores 0,22 µm (à raison d'un filtre pour 15ml). Conditionnement : un corning de 50 ml.
Conserver à 4°C.
- f) Cobactan : solution stock à 4,5 % . Ajouter 1µl de la solution stock pour 1 ml de milieu complet.
Conditionner en eppendorf de 1,5 ml et conserver à - 20°C.
- g) Rouge de phénol 0,5% : conservé à température ambiante (flacon de 100 ml).
- h) Acétate de thallium 1% : Dissoudre 0,5g dans 50 ml d'eau bi-distillée.
Stériliser par filtration avec un filtre millipore 0,22 µm. Conditionner en corning de 50 ml et conserver à 4°C.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom :			
Fonction :			
Visa :			

B- Milieux de base avec ajout des suppléments :

1 - Milieu SP4 liquide complet : **qsp 500 ml**

Préparer le **milieu SP4 liquide complet** (base + suppléments) **qsp 500 ml**.
Le fractionner en cornings de 50 ml et congeler à -20°C.
Travailler stérilement sous la hotte à flux laminaire.

Ajouter à la base liquide (347ml) :

- Sérum de veau fœtal inactivé : 85ml
- CMRL 1066 (10X) 25 ml
- TC yeastolate (4%) 25 ml
- Extrait de levure (15%) 12,5 ml
- Glucose (50%) 5 ml
- Cobactan (4,5%) 500 µl
- Rouge de phénol (0,5%) 2 ml

Ajouter extemporanément : (dil. finale au 1/100 pour les deux ; soit : 1ml pour 100ml de milieu complet).

- Acétate de thallium (1%)
- Pyruvate de Na (500 mM)

Volumes choisis, en fonction de la quantité de milieu nécessaire pour les ensemencements et repiquages.

2 - Milieu SP4 solide complet : **qsp = 100ml**

Préparer le **milieu SP4 solide complet** (base + supplément) **qsp 100 ml** ;
c'est à dire **5 boîtes de pétri rondes** (20 ml par boîte).
Travailler stérilement sous la cabine à flux laminaire.

Faire fondre au micro-onde un flacon avec 70 ml de base agar.

- Réserver en surfusion au bain Marie à 47° C.

- Dans un flacon, mettre tous les suppléments :

- Sérum de veau fœtal inactivé : 17 ml
- CMRL 1066 (10X): 5 ml
- TC yeastolate 4% : 5 ml
- Extrait de levure à 15% : 2,5 ml
- Glucose à 50% : 1 ml

Préchauffer ce mélange 10mn à 47°C

- Ajouter :
- Cobactan (4,5%) : 100 µl
 - Acétate de thallium : 1 ml

- Additionner le mélange des suppléments à la base et répartir 20 ml par boîte.

- Faire sécher les boîtes sous la cabine et conserver à 4° C.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom :			
Fonction :			
Visa :			

Notice pour kit de prélèvement 2019

Rédaction : Décembre 2018

Cette notice contient les informations nécessaires pour réaliser les prélèvements biologiques sur vos poules de basse-cour.

Contenu des kits :

Vous disposez d'un sac de conservation annoté contenant :

- 2 paires de gants
- Entre 1 et 20 écouvillons « E-swab » avec un milieu de culture approprié pour la survie des micro-organismes.

« Casser » l'écouvillon dans son tube :

Après avoir introduit l'écouvillon dans la trachée d'une poule, ouvrez le tube fourni avec l'écouvillon et trempez le coton dans le liquide. Quand le coton est correctement enfoncé, tordez la tige qui doit rompre au niveau de l'anneau de couleur. Vissez le bouchon du tube.

Technique de prélèvement :

Veillez à vous laver correctement les mains au savon doux avant et après prélèvement. Mettez une paire de gants pour la réalisation des prélèvements. Prélevez toutes les poules de votre basse-cour jusqu'à un maximum de 20 poules.

Faire tenir l'animal par une aide, les mains entourant fermement le corps (bien tenir les ailes et les pattes) pour éviter qu'il ne bouge lors de la réalisation des prélèvements (Fig.1)

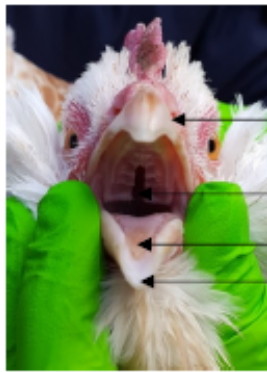


Figure 1 : Contention de la poule pour écouvillon oro-pharyngé

Écouvillon pour le bec ou écouvillon oro-pharyngé

Objectif : Prélever en profondeur dans la cavité buccale : sur la fente palatine.

1. Déboucher l'écouvillon sans le sortir de son tube
2. Ouvrir le bec de l'animal avec le pouce et l'index de la main qui ne tient pas l'écouvillon en exerçant d'abord une légère pression à la commissure du bec
3. Sortir l'écouvillon du tube stérile et frotter l'extrémité en coton plusieurs fois dans la fente palatine
4. Retirer l'écouvillon de la cavité buccale sans que le coton ne rentre en contact avec la moindre surface
5. Ranger l'écouvillon dans son tube et fermer correctement
6. Identifiez l'écouvillon de la façon suivante :
N°Basse-cour - N°ou Nom individu (Exemple : BC 21 – 1)



Mandibule supérieure du bec
Fente palatine
Langue
Mandibule inférieure du bec

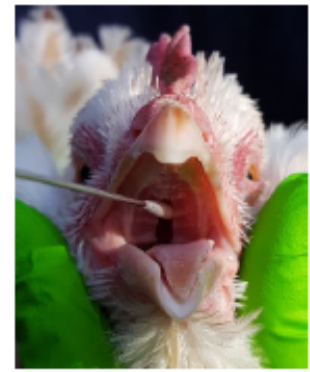


Figure 2 a) : Anatomie de la cavité buccale

Figure 3 b) Avec écouvillon

Une fois les prélèvements réalisés, disposez les écouvillons dans le sac de conservation plastique avec la feuille d'identification des animaux jointe.

**Le retour des écouvillons s'effectue le lundi 7 janvier au laboratoire de virologie de l'ENVT (bâtiment 10.1).
Demandez Marie SOUVESTRE du service de virologie – TEL : 06.84.69.60.41.**

En complément d'information, une vidéo montrant les différentes techniques de prélèvement :

<https://www.youtube.com/watch?v=1Qor9HsakDM>

Pour toute question, problème ou remarque concernant les prélèvements, merci de contacter Marie Souvestre.

Marie Souvestre : m.souvestre@envt.fr
Tel : 0684696041.

Protocole de préparation des échantillons en vue d'identification bactérienne et fongique (levures) par analyse MALDI-TOF

Version 09/06/2014

Rédaction : Jean-Luc GUERIN
(ENVY - IHAP)

Vérification : Damien DUBOIS (CHU
Toulouse - Purpan)

Adapté d'après : Manuel d'utilisation IVD MALDI biotyper version 1.8. 26/11/2013

Principes et précautions générales

- Travailler sur un plan de travail très propre, pour éviter toute pollution des échantillons
- Utiliser des gants nitrile non poudrés, car la poudre peut modifier les spectres
- Respecter les temps de manipulation : ne pas laisser les colonies non traitées sur la cible d'analyse MALDI-TOF avant ajout de la matrice (dégradation du spectre de protéines). Après ajout de la matrice, la cible peut attendre l'analyse plusieurs heures sans problème.

Protocole de préparation des échantillons pré- analyse MALDI-TOF

1. Identifier les colonies à analyser sur les boîtes de gélose (numéro d'analyse associé à : couleur de la colonie, aspect muqueux ou rugueux de la colonie, hémolyse)
2. Prélever sur la gélose quelques mg de chaque colonie à analyser à l'aide d'un cône plastique à usage unique et l'étaler directement sur un puits de la cible MALDI-TOF (attention : la lecture du spectre se fait au centre de chaque puits) : faire le dépôt le plus fin et homogène possible

(Etapas 3 et 4 optionnelles)

3. Déposer sans délai sur chaque puits 1 µl d'acide formique 70%
4. Laisser sécher (± 5 minutes)
5. Déposer 1 µl de solution de matrice HCCA prête à l'emploi (diluée en solution standard OS)
6. Laisser sécher au moins 5 minutes. La cible peut attendre l'analyse conditionnée dans une boîte à +4°C
7. Prendre rendez-vous (possible à partir de 16h) avec le laboratoire de bactériologie - hygiène du CHU Purpan : Institut Fédératif de Biologie 2^{ème} étage. Contact Dr Damien DUBOIS, Tel: 05 67 69 03 94 / 06 72 82 53 10 / dubois.d@chu-toulouse.fr
8. Transporter la cible vers le laboratoire de bactériologie - hygiène et la récupérer après l'analyse.

NB : ce protocole est adapté au typage des bactéries et **champignons non filamenteux** (levures). Pour les champignons filamenteux, un protocole d'extraction plus adapté est disponible.

Milieu SP4 liquide -

POULES BASSE-COURS - RECHERCHE MYCOPLASMES

Prélèvements : 06.01.2019

Lectures : 8-1-19
9-1-19
10-1-19

Lecture des R1.

Ensemencements: 07.01.2019

N° basse-cours	pools poule	Primo-culture (P0)		Repiquage (R1)		Q PCR <i>M. gallis.</i>
		-1	-2	-1	-2	Marie S.
BC 9	pool 1 1 à 5 (5)	++ +++ (F)	+ ++(+)	x F	x +++	+
	pool 2 6 à 10 (5)	+++ (F)	+ +++	x F	x +++	+
	pool 3 10 à 13 (3)	+++ (F)	+ ++(+)	x F	x +++	+
BC 10	pool 1 1 à 5 (5)	+ +++ (F)	+ ++	x +	x +++	+
	pool 2 6 à 9 (4)	+++ (F)	+ +++	x +	x +++	+
BC 26	pool 1 1 à 6 (6)	- - ++	- +++	x +++	x +++	+
	pool 2 6 à 10 (5)	- -(+)	- +++	x -(+)	x +++	+
	pool 3 10 à 15 (5)	- +++ (F)	- +++	x +	x +++	-
	pool 4 16 à 20 (5)	- - -	- ++	x -	x +++	-
BC 29	pool 1 1 à 5 (5)	- -(+) ad.	- +++	x -	x +++	-
	pool 2 6 à 10 (5)	- -(+) -(+)	- +++	x -	x +++	-
	pool 3 10 à 15 (5)	- -(+) (+)	- +++	x -	x +++	-
	pool 4 16 à 20 (5)	- -(+) ad.	- +++	x -	x +++	-
BC 36	pool 1 1 à 2 (2)	- - -	- - -	x -	x -	-
BC 41	pool 1 1 à 2 (2)	+ +++	- +++	x +++	x +++	-

-2R1
-80°C

R1
tout
-80°C

-2R1
-80°C

-2R1
-80°C

Virages du milieu : jaune citron : ++ → filtré qd bulot 0,45 µm → R1
jaune orangé : ++ (F)
orangé : +
rouge - 0 : 0 (-)

Gélos SP4.

POULES BASSE-COURS - RECHERCHE MYCOPLASMES

Prélèvements : 06.01.2019

Ensemencements: 07.01.2019

sur pool
223 uillors

N° basse-cours	pools poule	Primo-culture (P0)		Repiquage (R1)		Q PCR <i>M. gallisepticum</i> Marie S. ↔	TS - Nollicutes
		-1	-2	-1	-2		
BC 9	pool 1 1 à 5 (5)	+	+ mélange? 5 colonies			+	+
	pool 2 6 à 10 (5)		+ mélange? 6 col.			+	1 à 3 grosse 4 à 6 petites
	pool 3 11 à 13 (3)		S + Myco. mélange? 3 col.			+	+
BC 10	pool 1 1 à 5 (5)	+ (4 col.)	+ 3 colonies			+	+
	pool 2 5 à 9 (4)	-	S + myco.			+	+
BC 26	pool 1 1 à 5 (5)	+ S	+ S ± Romogène? 5 col.			+	+
	pool 2 6 à 10 (5)	+ 99 S.	+ Romogène 5 colonies			+	+
	pool 3 10 à 15 (5)	-	S + myco. 5 colonies à voir.				+
	pool 4 16 à 20 (5)	+ S	+ S				+
BC 29	pool 1 1 à 5 (5)	-	+ (pur) 5 colonies				+
	pool 2 6 à 10 (5)	-	+ (pur) 5 colonies				+
	pool 3 10 à 15 (5)	-	+ (pur) 5 colonies				+
	pool 4 16 à 20 (5)	-	S + Myco. 5 colonies				+
BC 36	pool 1 1 à 2 (2)	+ à faire	+				+
BC 41	pool 1 1 à 2 (2)	S + myco.	+ S 5 colonies				+

blaver →

autres
Romogène
p. 4

M. Gallinarum

M. Gallinarum

M. Gallinarum

M. Gallinarum

S = souillé, contaminants autres que mycoplasmes

Éléments d'un plan sanitaire simple à mettre en place dans les poulaillers familiaux

A. Mesures de biosécurité et d'hygiène

- Évitez de mélanger des oiseaux de différentes sources.
- Traitez les nouveaux oiseaux contre les ectoparasites et les vers (et / ou effectuez un dépistage des parasites fécaux) à l'arrivée.
- Mettre en quarantaine les oiseaux nouveaux (ou de retour, par exemple d'une exposition) pendant 2 semaines.
- Jetez la vieille litière avant d'introduire de nouveaux oiseaux, en particulier les poussins.
- Changez de vêtements et de chaussures avant et après avoir visité d'autres sites, expositions ou ventes de volaille.
- Ne partagez pas l'équipement avec d'autres propriétaires de volaille.
- Restreignez l'accès des visiteurs à vos oiseaux, surtout s'ils élèvent également des volailles.
- Si les visiteurs élèvent des oiseaux, assurez-vous qu'ils portent des vêtements et des chaussures qui n'ont pas été en contact avec leurs oiseaux.
- Ayez une paire de bottes dédiée pour entrer dans la zone de volaille, et gardez un désinfectant frais pour tremper les chaussures à l'entrée de la zone.
- Se laver les mains avant et après avoir manipulé de la volaille.
- Si vous avez d'autres oiseaux de compagnie, par ex. oiseaux en cage et en volière, faites preuve d'une hygiène minutieuse lorsque vous vous déplacez entre eux et vos volailles.
- Ne nourrissez pas les oiseaux sauvages à proximité de votre volaille.
- Minimisez les points de perchoir pour les oiseaux sauvages au-dessus de votre zone de volaille.
- Réduire au minimum l'accès des oiseaux sauvages au logement et à l'alimentation (garder les aliments à l'abri pour minimiser l'attraction pour les oiseaux sauvages).
- Contrôlez les animaux nuisibles à proximité du poulailler (ex. : les rongeurs).
- Donnez une alimentation équilibrée sur le plan nutritionnel (et ne donnez pas de restes de cuisine). • Gardez l'eau fraîche et les mangeoires et abreuvoirs exempts d'excréments.
- Nettoyez les mangeoires et les abreuvoirs tous les jours. À noter que les assainisseurs d'eau acidifiants (pas dans les abreuvoirs métalliques) réduisent les bactéries dans l'eau.
- Assurer un logement bien ventilé et sans courant d'air avec un espace approprié pour le nombre d'oiseaux.
- Nettoyez et désinfectez soigneusement le poulailler au moins une fois par semaine.
- Si possible, déplacez fréquemment le poulailler.
- Assurer une protection adéquate contre les prédateurs.
- Éliminez correctement les oiseaux morts.

B. Mesures supplémentaires liées à la médecine préventive et aux maladies

- Vermifuger le troupeau avec un anthelminthique adapté tous les 3 à 4 mois ou sur la base d'un examen coproscopique.
- Surveiller régulièrement les ectoparasites (à la fois pendant la journée et, pour le pou rouge, la nuit) et traiter si nécessaire.
- Sachez si vos oiseaux ont été vaccinés et, si oui, contre quelles maladies.
- Si votre troupeau n'est pas « fermé » ou indemne de maladie, envisagez la vaccination des poussins de race locale et des poussins et poulettes entrants contre les maladies.
- Connaître les maladies les plus courantes et les signes de mauvaise santé.
- Surveiller quotidiennement tout signe de maladie ou changement de comportement.
- Pour les petits troupeaux, manipulez les oiseaux régulièrement pour évaluer l'état corporel.
- Séparez les oiseaux malades du reste du troupeau.
- En cas d'épidémie, contacter un vétérinaire afin d'établir un diagnostic le plus rapidement possible.
- Si un oiseau malade ou sain meurt de façon inattendue, faire autopsier l'animal pour déterminer la cause du décès.

Les mesures de biosécurité à appliquer dans les basses cours

À DESTINATION DES DÉTENTEURS DE VOLAILLES OU AUTRES OISEAUX CAPTIFS DESTINÉS UNIQUEMENT À UNE UTILISATION PERSONNELLE, NON COMMERCIALE

- Exercer une **surveillance quotidienne** de vos oiseaux.
- Aucune volaille (palmipèdes et gallinacés) de la basse cour **ne doit entrer en contact direct** ou avoir accès à des volailles d'un élevage professionnel.
- **Limiter l'accès de la basse cour** (l'endroit où vous détenez vos oiseaux) aux personnes indispensables à son entretien.
- **Protéger votre stock d'aliments des oiseaux sauvages** ainsi que l'accès à l'approvisionnement en aliments et en eau de boisson de vos volailles.
- **Protéger et entreposer la litière neuve** à l'abri de l'humidité et de toute contamination, sans contact possible avec des cadavres.
- **Ne jamais utiliser d'eaux de surface** : eaux de mare, de ruisseau, de pluie collectée... pour le nettoyage de votre élevage.
- Si les fientes et fumiers sont compostés à proximité de la basse cour, ils ne doivent pas être transportés en dehors de l'exploitation avant une **période de stockage de 2 mois**. Au-delà de cette période, l'épandage est possible.
- **Réaliser un nettoyage régulier** des bâtiments et du matériel utilisé pour la basse cour.

RECOMMANDATIONS POUR L'ÉLEVEUR

- Portez des bottes, une blouse dédiée et éventuellement des gants pour soigner vos oiseaux.
- Lorsque vous quittez votre basse cour, laissez vos équipements (bottes, blouse, gants...) dédiés à l'entrée de cette dernière.
- Dans tous les cas, lavez régulièrement vos bottes, blouses et gants à l'eau chaude et au

détergent ou désinfectez-les. Aucune souillure ne doit persister. Lavez aussi régulièrement le matériel d'élevage (fourches, mangeoires...).

- Lavez soigneusement vos mains à l'eau chaude et au savon après avoir été en contact avec des oiseaux.
- Ne pas vous rendre dans d'autres élevages sans précautions particulières.

**SI UNE MORTALITÉ ANORMALE EST CONSTATÉE :
CONSERVER LES CADAVRES EN LES ISOLANT ET EN LES PROTÉGEANT
ET CONTACTEZ VOTRE VÉTÉRINAIRE OU LA DIRECTION DÉPARTEMENTALE
EN CHARGE DE LA PROTECTION DES POPULATIONS.**

Basses-cours & poulaillers urbains face à l'influenza aviaire : quels risques ? quelles précautions à prendre ?

Mis à jour le 20.11.2020

Vous êtes propriétaires de poules de compagnie, en milieu urbain ou rural : vos oiseaux ont besoin de vous pour rester en bonne santé.

Voici quelques suggestions pour mieux maîtriser la biosécurité dans vos poulaillers.



Symptômes associés à l'influenza aviaire (H5N8) qui circule actuellement en Europe :

- Prostration, plumes ébouriffées, arrêt alimentation
- Possible coloration bleutée de la peau et des muqueuses (cyanose)
- Œdème de la tête, hémorragies et petites taches de sang sous la peau
- Possible diarrhée verdâtre
- Mortalité soudaine de 1 ou plusieurs individus dans le poulailler



Qu'est-ce que l'influenza aviaire et quels sont les risques ?

L'influenza aviaire est une maladie virale très contagieuse des oiseaux, domestiques ou sauvages. Elle représente un risque important pour la santé des volailles, mais les souches virales qui circulent actuellement en Europe ne sont pas « zoonotiques », c'est-à-dire que cette maladie aviaire ne présente aucun danger pour la santé humaine.

Le virus de l'influenza aviaire peut être introduit dans une basse-cour :

- (1) de façon directe : par l'introduction d'une poule malade (qui peut ne pas encore montrer de signes cliniques).
- (2) de façon indirecte : par les fientes, les aérosols, les débris de plumes de poules ou d'oiseaux sauvages contaminés. Les personnes en contact avec des oiseaux contaminés peuvent être des vecteurs indirects du virus auprès d'autres oiseaux.

Que dois-je faire pour protéger mes oiseaux ?

- 1) Limiter les introductions de poules dans le poulailler et en cas d'introduction**
 - Assurer une quarantaine d'une quinzaine de jours minimum
 - Assurer une surveillance spécifique de l'animal introduit
- 2) Augmenter la surveillance de la santé des oiseaux**
 - Connaître les principaux signes évocateurs de l'influenza aviaire (voir encadré à gauche)
 - En cas de mortalité ou de symptômes : contacter son vétérinaire sans délai
- 3) Limiter les contacts humains avec vos oiseaux**
 - Limiter les visites de personnes qui pourraient être des vecteurs passifs du virus
 - Limiter les visites aux soins de base (nourrissage et récupération des œufs), éviter de manipuler les poules
- 4) Limiter les contacts avec d'autres oiseaux**
 - Limiter le contact et les échanges de volailles avec d'autres basses-cours
 - Si votre élevage est en lien étroit (géographique ou par les relations familiales) avec un élevage commercial de volailles, renforcer les mesures de biosécurité et de surveillance
 - Protéger vos poules des oiseaux sauvages : les maintenir dans un parcours/enclos couvert d'un filet, protéger les mangeoires de l'accès aux oiseaux sauvages
- 4) Renforcer l'hygiène de votre poulailler**
 - Se laver les mains avant et après être allé voir les animaux
 - Mettre une tenue spécifique (blouse) pour visiter et/ou nettoyer le poulailler
 - Mettre des chaussures spécifiques au poulailler ou des sur-chaussures



Focus : comment réaliser le nettoyage et la désinfection ?

Le nettoyage et la désinfection (N&D) sont des points clés pour vous assurer de ne pas faire entrer le virus dans votre poulailler. Pour cela, il faut être sûr de son efficacité.

Le N&D concerne :

- 1) Le poulailler et tout le petit matériel accessoire. Le poulailler doit être nettoyé régulièrement et la fréquence dépend du nombre d'animaux
- 2) Les chaussures utilisées pour la visite du poulailler/de l'enclos si elles ne sont pas spécifiques à celui-ci ou lors de visite d'autres poulaillers ou de regroupements d'animaux
- 3) Le matériel et/ou l'environnement ayant servi à transporter un animal malade (caisse de transport, cage de quarantaine...)

En pratique :

- 1) Nettoyer les surfaces avec un détergent pour enlever toute matière organique avant de passer à la désinfection. Les désinfectants ne sont efficaces que si le nettoyage préalable a été complet, en éliminant notamment la poussière, les débris et la matière organique
- 2) Appliquer des désinfectants à l'aide de brosses, éponges ou sprays en laissant agir le temps recommandé par le fabricant pour une efficacité optimale. Utiliser des équipements de protection personnelle (lunettes, gants...)
- 3) Utiliser des détergents et désinfectants homologués virucides, aux doses recommandées par le fabricant

NB : l'eau de javel peut être utilisée, MAIS sous réserve que le nettoyage préalable ait totalement éliminé la matière organique

La gestion de la litière

En cas de contamination de vos animaux, le virus influenza aviaire peut rester infectieux pendant plusieurs semaines dans l'environnement et notamment dans la litière.

Ainsi, pour éviter toute propagation du virus par les matières fécales, il est recommandé :

- 1) De conserver les fientes sur place et, si possible, de les composter
- 2) D'enfouir les fientes dans le jardin (hors de portée des volailles !)

En cas de mortalité

- 1) **Ne pas éliminer les fientes ou animaux morts avec les déchets ménagers !**
- 2) Si une mortalité anormale touche vos animaux, il est recommandé de **prendre contact sans délai auprès de votre vétérinaire** pour vérifier la cause de la mortalité et sécuriser la prise en charge du cadavre

La consommation des œufs

Le virus influenza aviaire H5N8 ne représente **AUCUN** risque pour la santé humaine : ni par contact avec les oiseaux, ni par la consommation des œufs.

Rappel : afin d'éviter tout risque de transmission d'autres maladies (salmonelloses notamment), il est obligatoire de consommer les œufs dans le strict cadre familial.

UN POINT SUR LES TRAVAUX EN COURS, AVEC UN FOCUS SUR LES BASSES-COURS

Pratiques d'élevage et **risques de propagation** des virus IA

La biosécurité en élevage est un levier essentiel permettant de maîtriser l'introduction et la propagation des agents infectieux, notamment des virus IA. Autres points à maîtriser : les transports d'animaux qui constituent un facteur de risques majeurs de dissémination et les basses-cours avec présence de palmipèdes et de « liens humains » avec la filière avicole commerciale.



La séroprévalence au niveau des basses-cours a été estimée à 25 % pour l'influenza aviaire et 11 % pour le sous-type H5.

L'influenza Aviaire Hautement Pathogène a émergé en France en 2015 et 2016 en deux épisodes différents. Cette émergence de virus influenza aviaires à virus H5Nx (1,2,8.g) hautement pathogènes questionne donc (i) les pratiques de biosécurité dans les élevages,

(ii) la biosécurité des transports, (iii) le rôle épidémiologique éventuel de l'avifaune sauvage et (iv) le statut sanitaire des élevages non commerciaux (basses-cours). Ces deux crises sanitaires successives représentent un changement de paradigme et imposent de repenser complètement la maîtrise sanitaire en aviculture, pour sécuriser durablement le statut sanitaire de l'aviculture française.

UNE PRIORITÉ : L'AMÉLIORATION DES PRATIQUES DE BIOSÉCURITÉ

La biosécurité en élevage, définie comme l'ensemble des mesures nécessaires pour protéger les élevages des menaces sanitaires, est un levier essentiel permettant de maîtriser l'introduction et la propagation des agents infectieux. Son importance stratégique dans la gestion du risque influenza s'est déclinée de manière opérationnelle par la publication d'arrêtés ministériels successifs consacrés à la biosécurité des élevages avicoles, imposant à chaque éleveur de définir son propre plan de biosécurité à partir d'une analyse de risques basée sur les éléments d'organisation et d'environnement de son site d'exploitation et sur les pratiques quotidiennes liées à l'élevage de ses animaux (Itavi, 2016).

Pour être efficaces, les mesures de biosécurité doivent toutefois être appliquées de manière constante et uniforme. Plusieurs raisons sont avancées pour expliquer le manque d'observance de ces mesures en élevage, dont notamment un manque de connaissance ou de com-

préhension de ces mesures (Racicot et Vaillancourt, 2009). L'observance des mesures de biosécurité est multifactorielle, mais il a été montré que des facteurs en lien avec la personnalité des employés –notamment responsabilité et appréhension de la complexité– sont déterminants (Racicot et al., 2011).

Les filières avicoles dites « longues » nécessitent des transports d'animaux : volailles de chair vers l'abattoir évidemment, mais aussi canards prêts-à-gaver vers les salles de gavage, poulettes futures pondeuses vers les fermes de ponte, etc.

LA BIOSÉCURITÉ DES TRANSPORTS D'ANIMAUX RENFORCÉE

Tous ces transports sont des facteurs de risques majeurs de dissémination d'agents pathogènes vers l'élevage de destination, ou le long des voies de transport (rejets de fientes, plumes etc.). Au-delà de ces éléments techniques, c'est le modèle de production lui-même qui est questionné : les producteurs dits « autarciques » reprochant aux professionnels en filières longues de disséminer les virus à grande distance. Malheureusement, des faits ont validé ces craintes et amené les responsables professionnels et les pouvoirs publics à sécuriser les transports par le renforcement des procédés de nettoyage-désinfection des cages et camions de transport d'animaux, à former les professionnels du transport à la biosécurité et à renforcer les contrôles. Un travail considérable a été effectué conjointement par les respon-

sables professionnels, les organismes de formation et les pouvoirs publics. Cette dichotomie entre filières avicoles courtes et longues rappelle celle qui existe en production porcine entre les schémas naisseur-engraisseur versus naisseurs (ou naisseurs post-seveurs) et engraisseurs, dichotomie, très commune dans les pays du Nord de l'Europe ou encore en Espagne. On sait très bien les risques que représentent les réseaux de transports d'animaux pour la dissémination des pestes porcines par exemple. La chaire de biosécurité porte des études visant à mieux identifier les réseaux de mouvements et les risques de diffusion de virus qu'ils représentent.

LES ENJEUX DE BIOSÉCURITÉ DANS LES ÉLEVAGES EN PLEIN AIR

Les productions avicoles avec accès à un parcours plein air (volailles de chair ou pondueuses sous signes officiels de qualité label ou bio, canards prêts à gaver) connaissent une forte croissance, car elles répondent à une attente sociétale. Dans le même temps, le risque représenté par certains virus influenza aviaire hautement pathogènes oblige à sécuriser le risque de contact entre avifaune sauvage et volailles, en particulier pendant des périodes à risque élevé de circulation virale chez les oiseaux sauvages. Le retour sur les deux épisodes récents montre une différence très marquée dans l'analyse de risque: à ce jour, aucun argument scientifique ne démontre un rôle de l'avifaune dans l'introduction et

la diffusion des virus influenza aviaires dans les élevages au cours de l'épisode influenza hautement pathogène H5 (N1,2,9) en 2015-2016.

Par contre, l'émergence du virus H5N8 en 2016-2017 a considérablement changé la donne car ce virus circule activement dans le compartiment sauvage depuis des années et il est à l'origine des foyers index dans le compartiment domestique et ce, dans les différents pays européens affectés.

LES RISQUES SANITAIRES LIÉS AUX BASSES-COURS

Les élevages familiaux ou basses-cours se développent constamment depuis plusieurs années en France, et les sollicitations pour l'appui sanitaire de ces « élevages » deviennent très significatives. Les travaux conduits à l'échelle internationale ont montré que les basses-cours représentent des enjeux et des risques sanitaires réels pour la maîtrise de grands dangers sanitaires (influenza aviaire évidemment, mais aussi maladie de Newcastle, salmonelles, mycoplasmes...).

L'application de la notion de « biosécurité » pose problème pour ces élevages de petite taille et amateurs. Pour autant, il est probable que les pratiques de ces élevages les rendent particulièrement vulnérables à certains agents pathogènes. Le suivi sanitaire de ces élevages est par ailleurs compliqué en raison de la difficulté à les identifier. L'évaluation de la circulation d'agents pathogènes dans

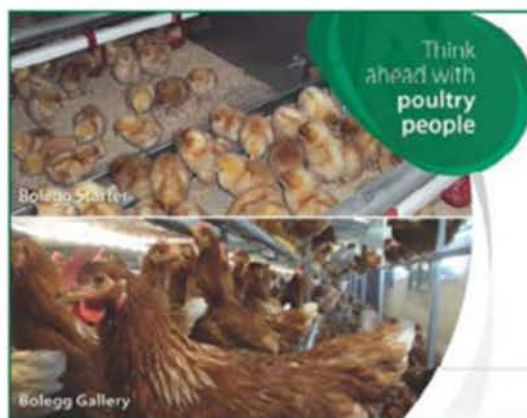
cette catégorie d'élevages permettra plus largement d'éclairer l'analyse des risques sanitaires liés aux élevages avicoles en France.

UNE ÉTUDE SPÉCIFIQUE SUR LA CONTRIBUTION DES BASSES-COURS

La chaire de biosécurité aviaire de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse a réalisé une étude du statut sanitaire des basses-cours localisées dans un rayon de 1 km autour des foyers H5NB (HP) dans 39 communes du Gers (cf. encadré). 169 basses-cours ont été identifiées et 70 d'entre elles ont été enquêtées et prélevées de mars à mai 2017. Toutes les basses-cours possédant des palmipèdes ont été intégrées à l'étude.

La biosécurité, les statuts virologique et sérologique vis-à-vis de l'influenza A et du sous-type H5 ont été étudiés par le remplissage d'un questionnaire de 28 questions et par la réalisation d'écouvillons trachéaux et cloacaux ainsi que de prises de sang. Les statuts sérologiques ont été déterminés à l'aide de kits Elisa commerciaux et de tests d'inhibition d'hémagglutination (IHA, réalisés au >>

« LE RENFORCEMENT DE LA BIOSÉCURITÉ PERMETTRA DANS UN PREMIER TEMPS DE SÉCURISER LE RISQUE VIS-À-VIS DES VIA, MAIS À PLUS LONG TERME, LE BÉNÉFICE DEVRAIT CONCERNER ÉGALEMENT D'AUTRES AGENTS PATHOGÈNES », Marie Souvestre



Vencomatic Group est un fournisseur mondial de solutions de logement innovantes et durables, et de systèmes de ramassage d'œufs pour le secteur avicole. Avec de nombreuses années d'expérience, nous sommes l'expert dans ce domaine et un partenaire fiable pour vous. Vencomatic Group regroupe trois marques fortes dans le secteur de la volaille:

- Vencomatic - Équipement d'hébergement
- Agro Supply - Contrôle du climat
- Prinzen - Manutention d'œuf

Pour plus d'informations: www.vencomaticgroup.com

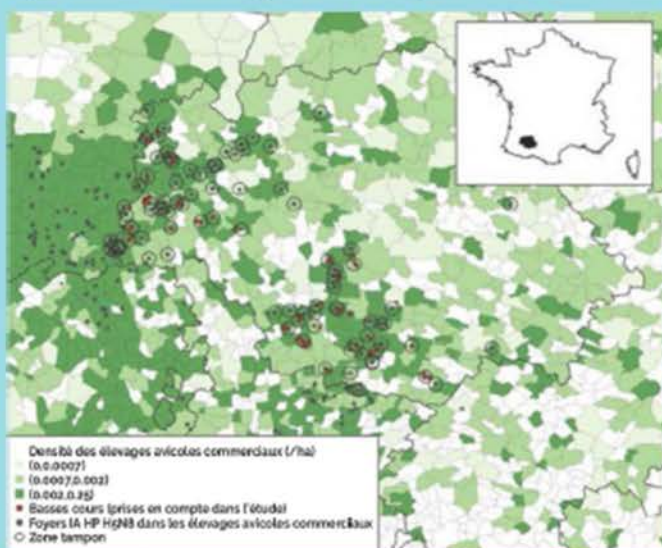
Vencomatic Group France
24 rue de Saint Brieuc - 35590 SAINT GILLES
Tel. : 02 23 61 87 64 - info@vencomaticgroupfrance.com



>>

Élevages, basses-cours, foyers CARTOGRAPHIE « AVICOLE » DU GERS

Département du Gers, cartographie des communes présentant des densités avicoles variables (coloration verte) et localisation des foyers (en gris). En rouge figurent toutes les basses-cours prélevées dans le rayon de 1 km autour des foyers (matérialisé par un cercle).



AUTEURS

Marie Souvestre,
Mathilde Paul, Matthias
Delpont, Claire Guinat,
Jean-Pierre
Vaillancourt et
Jean-Luc Guérin

Chaire partenariale de
biosécurité aviaire,
École Nationale Vétéri-
naire de Toulouse

LNR Influenza Aviaire, Anses Ploufragan), les statuts virologiques par PCR en temps réel. Des statistiques descriptives ont ensuite été réalisées afin d'estimer les séroprévalences, de définir les pratiques et d'identifier les facteurs de risques.

La séroprévalence au niveau des basses-cours a été estimée à 25 % pour l'influenza aviaire et 11 % pour le sous-type H5. Toutefois, des volailles séropositives vis-à-vis du virus H5N8 ont été détectées par la méthode IHA dans une seule basse-cour sur les 70 prélevées. Si l'on considère l'ensemble des virus influenza aviaires, les basses-cours possédant des palmipèdes étaient deux fois plus à risque d'être séropositives. De la même

façon, pour l'ensemble des virus de sous-type H5, une basse-cour avec palmipèdes était 5 fois plus à risque d'avoir un statut séropositif. Surtout, l'existence d'un lien entre la basse-cour et les élevages commerciaux constitue un risque très significatif : ce risque de séropositivité a été évalué comme 6 fois plus élevé pour l'influenza aviaire et 20 fois plus élevé vis-à-vis du sous-type H5.

Ces résultats indiquent que si les basses-cours semblent avoir joué un rôle très limité dans la dissémination des virus IAHP H5N8 entre les élevages commerciaux de volailles lors de l'épidémie 2016-2017, la présence de palmipèdes et surtout, les « liens humains » avec la filière

avicole commerciale semblent être des facteurs de risques déterminants. La proximité géographique des basses-cours n'a pas été considérée comme un facteur de risque en tant que tel, malgré une possible transmission aérienne. Par ailleurs, ces volailles ont été testées vis-à-vis d'autres agents pathogènes d'intérêt médical et économique pour les filières avicoles. Ces investigations sont encore en cours, mais elles suggèrent d'ores et déjà, à titre d'exemple, une forte prévalence de mycoplasmes et du virus de la laryngotrachéite infectieuse (LTI), ce qui suggère qu'elles pourraient constituer des réservoirs majeurs de résurgence de foyers dans le compartiment commercial.

Ces travaux se poursuivent dans le cadre d'un projet de thèse d'Université, pour mieux évaluer le risque sanitaire et proposer des mesures de biosécurité ciblées, basées sur une connaissance fine des agents présents dans les basses-cours et des liens avec les élevages commerciaux.

QUELS LEVIERS DE MAÎTRISE DU RISQUE SANITAIRE ?

L'expérience des deux crises sanitaires successives a très durement affecté l'économie des filières avicoles, en particulier dans le grand Sud-Ouest. Ces crises ont entraîné des changements très profonds et rapides, rendus possibles par une forte mobilisation des professionnels et des services de l'État. Un dispositif réglementaire renforcé encadre désormais la biosécurité des élevages, des transports, la surveillance etc. Plus largement, le renforcement de la biosécurité permettra dans un premier temps de sécuriser le risque vis-à-vis des VIA, mais à plus long terme, le bénéfice devrait concerner également d'autres agents pathogènes, réglementés ou non, à l'origine d'un manque à gagner important pour la filière. L'amélioration de la performance et de la rentabilité des exploitations passera donc aussi par la maîtrise de la biosécurité. Il faudra plus de recul pour tirer tous les enseignements de ces crises, qui vaudront pour l'ensemble des filières animales. ●

Références

- Itavi, 2016. Fiches pédagogiques Influenza Aviaire : <http://influenza.itaviasso.fr/index.php?mailon-palmipede&niveau2=CirLong&niveau3=PGelevageur>
- Racicot et Vaillancourt, 2009. Évaluation des mesures de biosécurité dans les fermes avicoles au Québec par vidéosurveillance et principales erreurs commises. *Bull. Acad. Vet. France* (162, 3) : P265-272.
- Racicot et al., 2011. Evaluation of the relationship between personality traits, experience, education and biosecurity compliance on poultry farms in Québec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine* (103) : P201-207.



Rôle des basses-cours dans la dissémination du virus IAHP H5N8

Durant l'épizootie d'influenza aviaire (IA) de 2016-2017, sur un total de 484 foyers déclarés, 20 concernaient des basses-cours¹. Or, ces derniers sont généralement identifiés comme à risque vis-à-vis de la circulation du virus de l'influenza. Dans ce cadre, au printemps 2017, une étude² a été menée dans le département du Gers. 70 basses-cours situées à 1 km de distance de plusieurs élevages commerciaux touchés (foyers) ont fait l'objet d'analyses : prises de sang, écouvillons trachéaux et cloacaux. Les basses-cours détenant uniquement des volailles étaient majoritaires (48, soit 68 % des basses-cours), suivies de celles associant palmipèdes et volailles (20, soit 29 %) et de celles avec uniquement des palmipèdes (2, soit 3 %). De plus, 7 basses-cours comprenaient des oies (10 %). En moyenne, une basse-cour "type" du Gers était constituée de 17 animaux, dont 14 poules ou poulets, 2 canards et 1 oie.

PRATIQUES DE BIOSÉCURITÉ AU SEIN DES BASSES-COURS (DONNÉES PRÉSENTÉES LORS DU SALON INTERNATIONAL DE L'ÉLEVAGE 2018)

DESCRIPTION DE LA VARIABLE	PROPORTION DE BASSES-COURS	POURCENTAGE DE BASSES-COURS (%)
Accès à un parcours extérieur délimité	53/70	76
Couverture du poulailler et du parcours	13/70	19
Distribution eau/aliment dans un endroit couvert	40/70	57
Modification des pratiques de biosécurité à la suite des premiers cas d'influenza aviaire dans le Sud-Ouest	26/70	37
Absence de tenue spécifique pour l'entretien de la basse-cour	68/70	97
Absence de chaussures spécifiques à l'entretien de la basse-cour	58/70	83
Absence de lavage des mains avant ou après la visite de la basse-cour	23/70	33

Une séroprévalence faible

À l'échelle des basses-cours, la séroprévalence³ associée à la circulation du virus de l'IA était de 25,7 %. À l'échelle individuelle, celle-ci était de 13,1 % pour les canards et de 4,1 % pour les poulets. À l'échelle des basses-cours, la séroprévalence associée à la circulation du sous-type H5 était de 11,4 % et, à l'échelle individuelle, de 9 % pour les canards et de

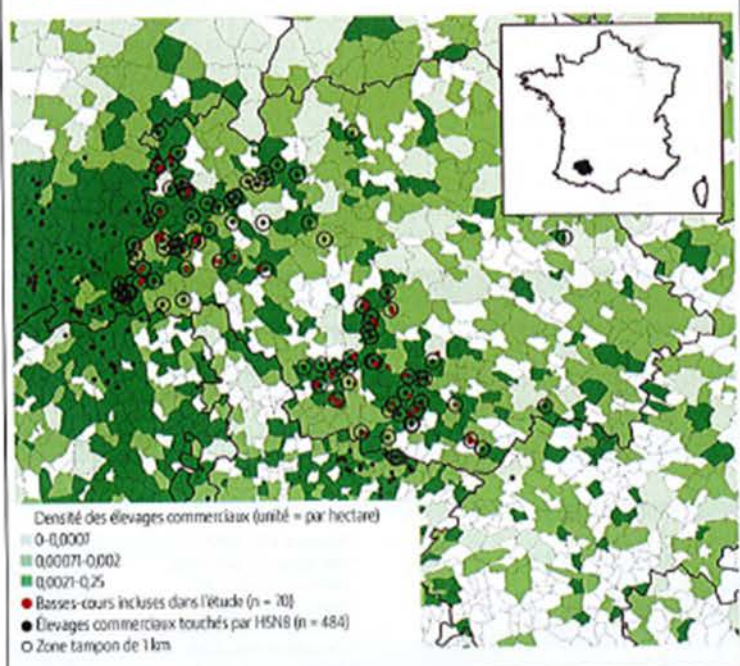
1,9 % pour les poulets. Si on considère la totalité des oiseaux (n = 608), la séroprévalence était de 5,9 % vis-à-vis de l'IA et de 3,3 % pour le sous-type H5. Parmi les échantillons positifs pour H5, seuls trois oiseaux de la même basse-cour ont montré un résultat positif pour le clade 2.3.4.4 du virus hautement pathogène H5N8. Les autres échantillons étaient principalement positifs vis-à-vis d'autres lignées H5.

Des basses-cours avec canards plus à risque

De plus, les basses-cours possédant des canards étaient deux fois plus à risque d'être séropositives vis-à-vis de l'IA et cinq fois plus pour son sous-type H5. Ces résultats sont en phase avec de précédentes études montrant le rôle des canards dans le portage, l'excrétion et la transmission du virus. De la même manière, les basses-cours les plus proches ou situées sur des élevages commerciaux étaient six fois plus à risque d'être séropositives vis-à-vis de l'IA et 20 fois plus vis-à-vis du sous-type H5. Ces résultats suggèrent ainsi un rôle limité des basses-cours dans la transmission du virus H5N8 lors de l'épizootie de 2016-2017. Néanmoins, dans le cadre de la surveillance épidémiologique, les auteurs recommandent tout de même de cibler les basses-cours comportant des canards et en lien avec les élevages commerciaux avicoles. ●

TANIT HALFON

Localisation des élevages commerciaux touchés par le virus de l'influenza aviaire hautement pathogène H5N8 et des basses-cours de l'étude (département du Gers)



¹ Ce nombre pourrait être sous-évalué, les basses-cours étant moins suivies que les élevages commerciaux.

² Souvestre M., Guinat C., Niqueux E. et coll. Role of Backyard Flocks in Transmission Dynamics of Highly Pathogenic Avian Influenza A (H5N8) Clade 2.3.4.4, France, 2016-2017. *Emerg. Infect. Dis.* 2019;25(3):551-554.

³ Une basse-cour positive = au moins un oiseau détecté positif dans la basse-cour.

Les basses-cours, un risque influenza faible à négligeable

Par le biais d'une enquête dans les élevages familiaux, la chaire de biosécurité aviaire montre que les basses-cours ont fait courir peu de risques aux élevages professionnels pendant l'épisode influenza 2016-2017.

Il y a quelques mois, certains se demandaient pourquoi les volailles de basse-cour détenues par des particuliers ne faisaient pas partie du plan préventif d'abattage. Hormis l'émotion sociale et médiatique que cette décision aurait provoqué⁽¹⁾, l'intérêt sanitaire de cette mesure n'était pas clairement identifié. Quelle était donc la responsabilité épidémiologique des volailles de

basse-cour dans la propagation des virus influenza H5N8 hautement pathogène ? C'est pour y répondre que la chaire de biosécurité aviaire de Toulouse a réalisé une enquête dans le Gers, laquelle a été présentée au salon Space. Entre janvier et mars 2017, Marie Souvestre, docteur vétérinaire, a visité 70 des 169 élevages familiaux répertoriés dans le périmètre d'un kilomètre autour de 69 foyers de

H5N8 notifiés dans 39 communes. La basse-cour gersoise enquêtée comporte en moyenne quatorze poules ou poulets, deux canards et une oie. La vétérinaire a pratiqué des prélèvements sanguins pour témoigner du passage de virus influenza. Elle a interrogé les propriétaires pour évaluer leurs pratiques de biosécurité et les risques épidémiologiques.

Le lien humain est primordial

Ses conclusions ? Avec cinq fois plus de chance de détecter le passage d'un virus de sous-type H5, la présence de palmipèdes est un risque majeur, mais ce n'est pas le seul. Une activité avicole professionnelle, exercée par le proprié-

SÉROLOGIE DES 70 BASSES-COURS ENQUÊTÉES

La présence de palmipèdes multiplie deux fois le risque d'influenza et cinq fois le risque d'un sous-type H5

	Ensemble	Gallus seuls	Gallus et palmipèdes
Nombre	70	48	22
Passage d'un virus IA	26 %	19 %	41 %
Passage d'un virus H5	11 %	4 %	27 %

Source : Marie Souvestre - chaire de biosécurité aviaire

FLUX ASSOCIÉS AUX BASSES-COURS

Un quart des élevages familiaux du Gers sont « connectés » aux élevages commerciaux

	Pourcentage de basses-cours
Lien du détenteur avec l'industrie avicole	17 %
Entraide avec aviculteur	7 %
Chasseur	31 %
Basse-cour à proximité	74 %

Source : Marie Souvestre - chaire de biosécurité aviaire

20 NOVEMBRE 2018
Maison de la Chimie - 75007 PARIS

13^e ÉDITION
AGROfinance
Le colloque des entreprises de l'Agroalimentaire
#AgroFinance2018

Infos & inscription sur www.agrofinance.fr

LES CLÉS POUR
**ANTICIPER & REUSSIR
SA TRANSMISSION**



Organisé par Agra Alimentation avec le soutien de :

AGAlimentation
Le média des experts de l'industrie agroalimentaire

FEED **HEC** **ALUMNI** **AgroTech**

taire ou une personne de son entourage, multiplie ce risque par vingt. Environ 20 % des détenteurs ont un lien avec l'aviculture professionnelle au sein de leur foyer (17 %) ou via l'entraide à des éleveurs (4 %). Et dans la majorité des basses-cours retrouvées positives en H5, le propriétaire ou son fils est éleveur de volailles ou gaveur avec son élevage à proximité. Le sous-type H5N8 a été détecté une seule fois dans une basse-cour dont un détenteur travaillait dans une conserverie de produits de volailles. C'est donc plutôt le secteur commercial qui contaminerait les élevages familiaux via le lien humain que le contraire.

La conclusion indirecte de cette enquête est « les volailles de basse-cour ne constitueraient pas de bonnes sentinelles pour alerter de la présence des virus hautement pathogènes, estime le professeur Jean-Luc Guérin. Sinon les basses-cours enquêtées l'auraient indiqué. Dans le périmètre du premier kilomètre, la dissémination du virus par voie aérosol n'est somme toute pas facile ».

Sensibiliser les particuliers au sanitaire

À l'avenir, Marie Souvestre envisage de préciser les flux d'animaux et les liens épidémiologiques des élevages familiaux ruraux et urbains avec le secteur commercial, en utilisant d'autres marqueurs biologiques, notamment les mycoplasmes et la laryngotrachéite. Face au boom des petits élevages familiaux en milieu urbain, l'École vétérinaire de Toulouse étudie la prévalence des maladies et sensibilise les particuliers et les vétérinaires urbains à travers le projet collaboratif et participatif. « Cela permet d'apporter des bénéfices réciproques aux deux secteurs, commerciaux et non commerciaux, mais il n'est pas simple d'enquêter sur la santé des poules urbaines » conclut Marie Souvestre. ■ Pascal Le Douarin

(1) Des éleveurs professionnels se sont aussi opposés à l'euthanasie de leurs cheptels.

L'Europe adapte sa biosécurité

La Commission européenne a réévalué ses mesures d'atténuation des risques de transmission des virus influenza hautement pathogène (IAHP) des oiseaux sauvages vers les volailles, ainsi que les mesures de biosécurité attachées. Annoncée le 10 août, cette décision d'exécution (UE 2018/1136) remplace celle qui était applicable jusqu'au 30 juin (UE 2917/263). Elle tient compte d'un avis scientifique de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (Efsa) adopté en septembre 2017. La principale nouveauté réside en la plus grande flexibilité du cadre réglementaire. Des dérogations qui permettent aux États membres d'appliquer des mesures adaptées à leur propre situation épidémiologique. Pour qui concerne la France, l'arrêté ministériel sur la biosécurité correspond aux dérogations européennes possibles sur la protection des volailles vis-à-vis de l'avifaune. ■ P. L. D.

MONTREZ-NOUS LEURS PATTES ET NOUS VOUS DIRONS COMMENT LES NOURRIR !



Les pododermatites sont un véritable indicateur de pertes économiques des élevages de volailles.

Bien que les causes de litière humide soient multifactorielles, le bon état des coussinets est fortement lié à une bonne santé intestinale.

Avec le CLOSTAT®, Kemin peut vous aider à gérer la santé intestinale de vos volailles pour un élevage sain et un maximum de revenus.

Pour en savoir plus, contactez KEMIN France au 0806 800 860



© Kemin Industries, Inc. est its group of companies 2018. All rights reserved. ® Trademarks of Kemin Industries, Inc. USA.

MALADIES RESPIRATOIRES

PENSER À LA MYCOPLASMOSE AVIAIRE ET AU CORYZA INFECTIEUX

Article rédigé d'après des présentations faites lors du congrès sur les mycoplasmoses aviaires et le coryza infectieux à Leusden (Pays-Bas), du 13 au 15 novembre 2019.

En cas de troubles respiratoires chez la volaille, et surtout chez la poule de compagnie, le diagnostic différentiel doit quasi systématiquement inclure les mycoplasmes aviaires et le coryza infectieux, afin de mieux adapter la conduite à tenir et d'éviter les récurrences.

Des similitudes dans les signes cliniques

Chez la poule, *Mycoplasma gallisepticum* (MG) est responsable d'une maladie respiratoire légère à sévère, d'une diminution de la croissance, de chutes de ponte et de taux d'éclosion altérés. *Mycoplasma synoviae* (MS)¹ peut également être une cause de maladie respiratoire et induire des anomalies de l'apex de la coquille d'œuf, des chutes de pontes et de l'arthrite. Ces deux espèces agissent parfois en synergie avec d'autres agents pathogènes des voies respiratoires. Le coryza infectieux est causé par *Avibacterium paragallinarum* (APG), bactérie Gram -, de la famille des Pasteurellacées. Il ne doit pas être confondu avec ce que l'on appelle communément le syndrome coryza, qui s'apparente à la maladie respiratoire chronique de la volaille et qui a généralement une origine pluri-infectieuse et multifactorielle, dont font souvent partie les mycoplasmes ou l'APG. Les signes cliniques majeurs du coryza infectieux sont une inflammation aiguë des voies respiratoires supérieures avec une atteinte des sinus et un écoulement nasal séreux à mucoïde, accompagné le plus souvent d'un œdème facial et/ou d'une conjonctivite. La maladie se caractérise par de faibles performances de croissance et une réduction marquée de la ponte.

Miser sur la biosécurité

Les mesures de contrôle pour ces agents pathogènes respiratoires sont avant tout fondées sur la prévention et la réduction de la transmission horizontale (et verticale pour les mycoplasmes). Dans une situation de forte prévalence, les programmes de traitement antibiotique et de vaccination peuvent contribuer à la réduction de l'impact clinique et économique de la mycoplasmoses. Les antibiotiques ont un effet à court terme. Des traitements répétés sont souvent nécessaires, mais ils n'agissent que temporairement sur la réduction des signes cliniques, les transmissions



En élevage de volaille, pour prévenir les mycoplasmoses aviaires et le coryza infectieux, les mesures les plus efficaces et économes sur le long terme semblent être les mesures de biosécurité.

© WDM - iStock

LES OUTILS DIAGNOSTIQUES

Ces agents infectieux sont difficiles à isoler par bactériologie classique, car ils nécessitent des milieux de croissance spécifiques. La recherche par Elisa (*enzyme-linked immunosorbent assay*) est possible, mais reste compliquée pour APG et son usage est limité pour MG et MS en cas de vaccination. Désormais, la biologie moléculaire apparaît comme l'outil incontournable pour diagnostiquer ces maladies.

verticale et horizontale. Des vaccins vivants et atténués contre MG et MS sont utilisés en élevage commercial. Toutefois, ils n'empêchent pas la circulation de souches sauvages et nécessitent une bonne maîtrise de la technique et de l'environnement. Pour le coryza infectieux, des traitements antibiotiques peuvent cependant limiter les symptômes. Dans tous les cas, les mesures les plus efficaces et les moins coûteuses sur le long terme semblent être celles de biosécurité. En général, la survie de MG et de MS sur divers matériaux est relativement courte. Il a été cependant observé que les mycoplasmes pouvaient survivre pendant des mois dans l'œuf et sur les débris. Un nettoyage régulier est donc crucial pour empêcher la propagation des mycoplasmes. ●

MARIE SOUVESTRE

1 Sur les 25 espèces de mycoplasmes d'oiseaux isolées, quatre sont réglementées du fait de l'impact économique, dont MG et MS chez la poule.

Résumé

Les élevages avicoles familiaux tels que les basses-cours rurales, les poulaillers urbains et les élevages de volailles de loisir sont un secteur important de la production avicole française. Estimés à 2,5 millions de propriétaires à ce jour, ces élevages sont suspectés de pouvoir transmettre des agents pathogènes aux élevages avicoles commerciaux. Dans cette étude, nous avons étudié le rôle des élevages avicoles familiaux dans la circulation et la transmission d'agents pathogènes aux élevages avicoles commerciaux. Afin de mieux caractériser les acteurs de la filière avicole familiale, une enquête participative nationale a été réalisée afin d'analyser les pratiques d'élevage et d'identifier différentes sous-populations. En parallèle, les prévalences de 14 agents infectieux à tropisme majoritairement respiratoire ayant un intérêt en santé publique et/ou animale ont été estimées. L'identification d'agents pathogènes comme marqueurs d'infection et de transmission a été effectuée en comparant les prévalences entre secteurs familial et commercial. Dans le secteur familial, cinq sous-populations ont été mises en évidence : les poulaillers urbains, les basses-cours traditionnelles, les poulaillers d'étudiants, les élevages familiaux « de compagnie », et les élevages de poules de race et de loisir. Des agents pathogènes comme *Mycoplasma synoviae* et *Avibacterium paragallinarum*, présentent une prévalence élevée dans les basses-cours, mais sont rarement identifiés dans les élevages commerciaux, ce qui pourrait en faire des marqueurs pertinents de transmission du secteur familial au secteur commercial. D'une manière générale, les résultats suggèrent un rôle limité des basses-cours dans la contamination des élevages commerciaux. A l'inverse, dans un contexte épizootique d'influenza aviaire, il a été montré que les liens humains entre secteur familial et secteur commercial représentaient un risque de contamination des basses-cours, conduisant ainsi à privilégier l'hypothèse inverse d'une possible contamination des élevages familiaux par les élevages commerciaux.

Abstract

Backyard poultry farming involving for example traditional family flocks and hobby poultry flocks is an important sector of the French poultry production. Today, it is estimated that they represent 2.5 million owners, and they are suspected of transmitting pathogens to commercial poultry farms (and/or humans). In this study, we investigated the role of backyard poultry flocks in the circulation and transmission of pathogens to commercial poultry farms. In order to better characterize the stakeholders in the backyard poultry sector, a national participatory survey was conducted to analyze owners' practices and identify different sub-populations. Simultaneously, the prevalence of 14 pathogens of interest in human and/or animal health and predominantly presenting a respiratory tropism were studied. The identification of pathogens as markers of infection and transmission was carried out by comparing their prevalence levels in the familial and commercial poultry sectors. In the familial poultry sector, five sub-populations were identified: urban poultry, traditional poultry, student poultry, "pet" family poultry, and hobby poultry. Pathogens such as *Mycoplasma synoviae* and *Avibacterium paragallinarum* are highly prevalent in French family poultry flocks but are rarely identified in commercial farms. Consequently, they could be considered as relevant markers of transmission from backyard to commercial flocks. In general, the results indicate the limited role of backyard poultry flocks in the contamination of commercial poultry farms. On the contrary, human links existing between backyard and commercial premises were identified as a risk factor for backyard flocks in an epizootic avian influenza context. These results lead us to consider the reverse hypothesis of a possible pathogens transmission from commercial to backyard poultry flocks during epidemics.