

Table des matières

Remerciements	3
Valorisation des travaux	7
Table des matières.....	9
Liste des Abréviations.....	13
Index des figures	15
Index des tables	17
Introduction.....	19
Partie 1. Contexte et environnement	25
1.1 Surveillance et lutte en santé animale	25
1.1.1 Aspects généraux.....	25
1.1.2 Particularités de la surveillance et de la lutte contre les maladies équine	26
1.2 Organisation de la traçabilité des équidés en France	31
1.2.1 L'identification des équidés.....	31
1.2.2 Définitions réglementaires et réglementations en vigueur	31
1.2.3 Bilan du respect de la réglementation et des obligations en France.	34
1.3 Une organisation complexe de la filière équine française et des données dispersées.....	34
1.3.1 Secteur des Courses	35
1.3.2 Secteur sport-loisir-travail	36
1.3.3 Secteur viande chevaline	37
1.3.4 Un acteur transversal : l'Institut français du cheval et de l'équitation	37
1.4 Les différentes sources de données utilisées	38
1.4.1 Le SIRE et les données de contrôle	38
1.4.2 L'EDI-SPAN	39
1.4.3 Les données des sociétés mères des courses	40
1.4.4 Les données d'export.....	40
1.5 Objectif et hypothèses de travail.....	42
Partie 2. Évaluation de la taille de la population équine vivante.....	43
2.1 Matériels et méthodes	45
2.1.1 Données	45
2.1.2 Calcul des taux de mortalité	45
Calcul via un suivi de cohortes à partir du SIRE	45
Calcul via les courbes de survies obtenues à partir des données EDI-SPAN	46
2.1.3 Estimations de la taille de la population.....	47
Estimations via les taux calculés à partir des cohortes	48
Estimations via les taux calculés à partir de la survie	48

2.2	Résultats et discussion.....	49
2.3	Conclusion	51
Partie 3.	Évaluation de la qualité des données SIRE	53
3.1	Préambule	53
3.2	Is the French SIRE equine information system a good basis for epidemiological and modelling research? Quality assessment using two surveys.....	54
3.3	Introduction.....	54
3.4	Materials and Methods	56
3.4.1	Data sources and sample selection.....	56
3.4.2	Data collection and analysis.....	57
3.5	Results and Discussion.....	57
3.5.1	Response rates.....	57
3.5.2	Estimation of sampling and response biases	58
3.5.3	Consistency between the SIRE information and the survey data.....	60
	Updates of castration and death of equines.....	60
	Quality of ownership status data	61
	Quality of personal information on owners.....	62
	Notification and updating of equine premises	63
3.6	Conclusion and Prospects	63
Partie 4.	Estimation de la répartition spatiale des équidés.....	67
4.1	Préambule	67
4.2	Home sweet home: new insights into the location of equine premises in France and keeping habits to inform health prevention and disease surveillance	69
4.2.1	Introduction	69
4.2.2	Materials and Methods.....	70
	Sample.....	70
	Additional information.....	71
	Analysis.....	72
4.2.3	Results	72
	Characterization of respondents.....	72
	Keeping habits	74
	Relative location of equines, owners and keepers	75
4.2.4	Discussion.....	76
4.2.5	Conclusions	79
4.3	How far away do you keep your equines? Estimation of the equine population's spatial distribution in France.....	81
4.3.1	Introduction	81
4.3.2	Materials and Methods.....	83

Data sources and information	83
Modelling	86
Estimation of the parameters	87
Assignment of holding <i>commune(s)</i> to owners and equines.....	87
Estimation of the number of equines per <i>commune</i>	88
4.3.3 Results	88
Characteristics of the samples and datasets.....	88
National estimation of the spatial distribution of equines in France	90
4.3.4 Discussion.....	93
Potential effect of data bias on the density estimates.....	93
Effect of the model, assumption and assignment methods	94
4.3.5 Conclusion and perspective.....	95
Partie 5. Discussion générale	99
5.1 Des hypothèses nombreuses mais nécessaires.....	99
5.2 Des sources de données complémentaires mais complexes à articuler	101
5.3 Le SIRE : une base perfectible mais solide de très bonne qualité et des perspectives d’amélioration 103	
5.4 Des habitudes de détention utiles pour localiser les équidés.....	104
5.5 Une estimation fine de la répartition spatiale des équidés à valider	105
5.6 Une taille de population équine cependant toujours difficile à estimer	107
Conclusion et perspectives	109
Bibliographie	111
Annexes	119
Annexe I : Rapport d’analyse statistique, enquête sur l’évaluation de la qualité des données SIRE	119
Introduction	121
Matériel Et Méthodes	122
Définitions.....	122
Echantillonnage	122
Collecte des données	123
Analyse des données.....	124
Résultats	124
Taux de réponses et taux de réponses exploitables.....	124
Evaluation des biais d’échantillonnage et de réponse	125
Enquête propriétaire.....	128
Enquête détenteurs.....	135
Personnes étant toujours détenteurs actuellement	135
Localisation des lieux de détention d’équidés avec le nombre moyen d’équidés détenus.....	135
Type d’équidés détenus.....	137

Année de début de détention	137
Croisement des données de l'enquête avec la base SIRE	138
Statut de l'équidé de référence	138
Ecart entre date de mort déclarée lors de l'enquête et la date de mort enregistrée dans la base SIRE (date de retour du livret à l'IFCE)	139
Statut de propriétaire d'équidés	139
Statut de propriétaire-détenteur	140
Sexe de l'équidé de référence	141
Communes de résidence des propriétaires	142
Statut Détenteur	142
Conclusion Et Perspectives	143
Annexe II. Sur l'estimation de la répartition spatiale des équidés	145
Annexe III. Pour le manuscrit global	153

Liste des Abréviations

AA : Anglo-arabe

ANSF : Association nationale du Selle-Français

ACA : Association nationale du Cheval Arabe

ADILVA : Association française des directeurs et cadres de laboratoires vétérinaires publics d'analyses

AIE : Anémie infectieuse des équidés

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AQPS : Autre que pur-sang

ATM-équidés-Angée : Association négociant les tarifs d'équarrissage des équidés

AVE : Artérite virale équine

AVEF : Association des vétérinaires équins français

CSCCF : Chambre Syndicale du Commerce des Chevaux de France

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

DGAL : Direction générale de l'alimentation

EDI : Echanges de données informatisées

EDI-SPAN : Echange de données informatisé sur les sous-produits animaux (base de données)

FFE : Fédération française d'équitation

France Galop : Société organisatrice des courses nationales de plat et d'obstacle,

GIS Centaure: Groupement d'intérêt scientifique Centaure recherche équine

IFCE : Institut français du cheval et de l'équitation

Le Trot : Société d'encouragement à l'élevage du cheval français

LNR : Laboratoire national de référence

LR-UE : Laboratoire de référence de l'Union européenne

LSA : Loi de santé animale

MCE : Métrite contagieuse des équidés

OIE : Organisation mondiale de la santé animale

OESC : Observatoire économique et social du cheval

PS : Pur-sang

PTF ESA : Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale

RESPE : Réseau d'épidémiosurveillance en pathologie équine

RESUMEQ : Réseau national de surveillance des causes de mortalité des équidés

SF : Selle français

SHF : Société hippique française

SFET : Société française des équidés de travail

SIRE : Système d'information relatif aux équidés

Studbook : Registre généalogique

TF : Trotteur français

TRACES: Trade Control and Expert System

ValDonEqui : Valorisation combinée des données démographiques et sanitaires équines

Index des figures

Figure 1. 1. Représentation de l'organisation du dispositif de surveillance événementielle réglementaire de l'AIE et des flux de données (d'après (Amat, 2016)).....	28
Figure 1. 2. Carte du réseau RESUMEQ ANSES (selon (Foucher, 2021))	30
Figure 1. 3. Différents secteurs et acteurs de la filière équine.....	35
Figure 1. 4. Contenu des différentes bases de données (uniquement les informations utilisées, $i \approx j$: les informations notées i et j sont probablement les mêmes)	41
Figure 2. 1. Évolution des estimations de la population totale d'équidés réalisé par l'IFCE (source IFCE-OESC).....	45
Figure 2. 2. Illustration du calcul des taux de mortalité à partir des cohortes de naissances	46
Figure 2. 3. Illustration du calcul des taux de mortalité à partir des survies.....	47
Figure 2. 4. Illustration pour le calcul du nombre d'équidés	49
Figure 3. 1. Spatial distribution by département of the number of owners (1st line) and keepers (2nd line) of the population registered in the SIRE database (left), in the selected sample (middle), and in the respondent population (right).....	59
Figure 3. 2. Consistency between SIRE information and survey data	61
Figure 4. 1. Structure of questionnaires, information, and decision rules	71
Figure 4. 2. Detailed results of repartition the different keeping habits: repartition (percentage) per survey and type of respondent (owner, owner-keeper, and keeper).....	75
Figure 4. 3. Residence and holding communes of respondents when the two communes were located in mainland France (a dot in a commune indicates that there is at least one owner or one keeper or one owner-keeper or one equine in this commune)	76
Figure 4. 4. Distribution of the proportion of owners keeping their equine in their commune of residence according to the urban coverage (A) and distribution of the proportion of owners (B) according to the distance between the residence and holding communes in the live and dead equine samples.....	89
Figure 4. 5. Difference in the average number of equines per commune according to the sample and method used (restricted to values between 100 and -100): (A) live equine sample Method 1 vs. Method 2, (B) dead equine sample Method 1 vs. Method 2, (C) Method 1 live equine sample vs. dead equine sample and (D) Method 2 live equine sample vs. dead equine sample.	91
Figure 4. 6. Spatial distribution of the equine population in France estimated from (A) Method 1 and live equine sample, (B) Method 2 and live equine sample, (C) Method 1 and dead equine sample and (D) Method 2 and dead equine sample (D) after inclusion of racehorse data.	93

Figure A.I 1. Répartition des taux de réponses exploitables (%) par départements des enquêtes a) détenteurs et b) propriétaires	125
Figure A.I 2. Nombre, par département, de propriétaires (A) et détenteurs (D) enregistrés dans la base SIRE, de propriétaires (B) et détenteurs (E) enquêtés et de répondants aux enquêtes propriétaire (C) et détenteur (F).....	127
Figure A.I 3. Répartition des écarts (années) entre date de mort de l'équidé de référence et la date de réponse au questionnaire (178 équidés morts)	129
Figure A.I 4. Répartition (%) des propriétaires selon la structure habituelle d'hébergement de l'équidé de référence.....	132
Figure A.I 5. Proportion (%) de répondants selon le nombre de communes d'hébergement de leurs équidés ..	133
Figure A.I 6. Répartition (%) des détenteurs en fonction du nombre de communes de détention d'équidés	136
Figure A.I 7. Répartition des détenteurs selon le nombre de propriétaires différents dont les équidés sont détenus.....	136
Figure A.I 8. Nombre d'équidés selon l'écart entre date de mort enregistrée dans la base SIRE et celle déclarée dans l'enquête	139
Figure A.I 9. Répartition des propriétaires ayant changé d'adresse selon la distance entre celle enregistrée dans la base SIRE et celle déclarée dans l'enquête (759 propriétaires)	142
Figure A. II. 1. Number of equines per keeper or owner-keeper (supplementary Material).....	145
Figure A. II. 2. Uses/destinations of equines kept by commune (supplementary Material)	145
Figure A. II. 3. Parameter θ estimation	149
Figure A. II. 4. Fitter of distribution of the urban cover to lognormal distribution dead-equines and live-equines samples: estimation of σ and μ	150
Figure A. II. 5. Spatial repartition of race-horses from the race-horses dataset	150
Figure A.III. 1. Évolution par année du pourcentage d'identifiants enregistrés dans EDI-SPAN.....	153
Figure A.III. 2. Évolution par année du pourcentage de correspondances des identifiants entre EDI-SPAN et SIRE	154

Index des tables

<i>Table 1. 1. Catégorisation des maladies équine réglementées selon la LSA (selon la direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt (DRAAF, 2021))</i>	27
<i>Table 2. 1. Estimation du nombre d'équidés vivants en France à partir de l'estimation des taux de mortalité via l'études de cohortes de naissances</i>	50
<i>Table 2. 2. Estimation du nombre d'équidés vivants en France à partir de l'estimation des taux de mortalité via l'étude de survie</i>	50
<i>Table 3. 1. Number of questionnaires sent, received, and included, with the response rate for each survey</i>	58
<i>Table 3. 2. Distribution (percentage) of the group of breeds, sex, age, and status of the equines registered in the SIRE database for the initial population, the selected sample and the respondents</i>	60
<i>Table 3. 3. Owner survey data regarding the updating of ownership and address</i>	62
<i>Table 4. 1. Major characteristics of respondents by type of respondent (owner, owner-keeper or keeper, professional activity and holding duration) and distance between respondent and equines locations.</i>	73
<i>Table 4. 2. Description of the dead equine sample, live equine sample and equine dataset</i>	89
<i>Table 4. 3. Distribution of the average number of equines (among the 100 simulations) per commune depending on the assignment method and sample used to estimate the parameters</i>	90
<i>Table 4. 4. Comparison of the results of the models: distributions of the difference in the average number of equines assigned to each commune according to the samples and models.</i>	92
<i>Figure A.I 1. Répartition des taux de réponses exploitables (%) par départements des enquêtes a) détenteurs et b) propriétaires</i>	125
<i>Figure A.I 2. Nombre, par département, de propriétaires (A) et détenteurs (D) enregistrés dans la base SIRE, de propriétaires (B) et détenteurs (E) enquêtés et de répondants aux enquêtes propriétaire (C) et détenteur (F)</i>	127
<i>Figure A.I 3. Répartition des écarts (années) entre date de mort de l'équidé de référence et la date de réponse au questionnaire (178 équidés morts)</i>	129
<i>Figure A.I 4. Répartition (%) des propriétaires selon la structure habituelle d'hébergement de l'équidé de référence</i>	132
<i>Figure A.I 5. Proportion (%) de répondants selon le nombre de communes d'hébergement de leurs équidés</i>	133

<i>Figure A.I 6. Répartition (%) des détenteurs en fonction du nombre de communes de détention d'équidés</i>	136
<i>Figure A.I 7. Répartition des détenteurs selon le nombre de propriétaires différents dont les équidés sont détenus</i>	136
<i>Figure A.I 8. Nombre d'équidés selon l'écart entre date de mort enregistrée dans la base SIRE et celle déclarée dans l'enquête</i>	139
<i>Figure A.I 9. Répartition des propriétaires ayant changé d'adresse selon la distance entre celle enregistrée dans la base SIRE et celle déclarée dans l'enquête (759 propriétaires)</i>	142
 <i>Table A. II. 1. Uses/destinations of equines kept (supplementary material)</i>	 146

Introduction

On ne peut pas dissocier les santés humaine et animale, en raison de l'existence de nombreuses maladies animales zoonotiques et des contacts importants entre l'Homme et l'animal. Les maladies animales peuvent avoir un impact économique important, en raison des coûts de leur traitement, des pertes économiques liées aux baisses de productivité, mais également du coût des mesures de prévention et de lutte. Enfin, et surtout, les maladies animales peuvent constituer un danger pour l'Homme avec des conséquences parfois dramatiques ([Asia, 2014](#); [Kettle and Wernery, 2016](#)). La situation sanitaire actuelle liée à une épidémie de pneumonie à COVID-19/SARS-CoV-2, qui a émergé dans la ville de Wuhan (province de Hubei, Chine) en décembre 2019, est une nouvelle sonnette d'alarme sur l'importance de mieux prévenir les maladies animales, notamment celles (potentiellement) zoonotiques. La surveillance, la prévention et la lutte sont primordiales pour suivre, contrôler et gérer la propagation des maladies ([Doyle et al., 2002](#); [Heymann and Rodier, 1998](#)). Par ailleurs, outre l'histoire naturelle et biologique de la maladie, une bonne connaissance démographique des populations à risque est primordiale pour déterminer le schéma de propagation des maladies et établir les mesures d'intervention nécessaires à leur contrôle ([House and Keeling, 2008a, b](#); [M.J. Keeling et al., 2010](#)). La surveillance épidémiologique et le suivi sanitaire d'une population nécessitent ainsi de connaître, à minima, sa taille et sa répartition spatiale.

En filière équine, dans la plupart des pays, cette connaissance démographique n'est que partielle. Les équidés, ne sont, en effet, actuellement pas soumis aux mêmes règles de traçabilité que d'autres espèces de rente en raison de leur statut particulier, entre animal de compagnie et animal de rente ([Sluyter, 2001](#)).

En France, les connaissances démographiques de la population équine sont limitées en raison, notamment : i) d'une organisation particulière de la filière composée d'une majorité de non-professionnels, qui conduit à un respect peu rigoureux de la réglementation sur la traçabilité des animaux (obligation d'identification, de déclaration de détention, de déclaration de changement de propriétaire et d'adresse, de déclaration de mort avec retour du livret signalétique), ii) de la diversité des acteurs intervenant auprès de la filière, ce qui aboutit à la coexistence de plusieurs systèmes d'enregistrement des informations, qui ne sont, malheureusement, pas ou peu connectés entre eux, et iii) de la réglementation actuelle, qui n'exige pas la déclaration de la localisation des équidés dans le système d'information relatif aux équidés (SIRE), mais celle du propriétaire et du détenteur. Pour ces raisons, le nombre d'équidés détenus en France et leur localisation ne sont pas connus avec précision. Cette absence de connaissance précise est très limitante pour la mise en place et l'évaluation des dispositifs de surveillance et des programmes de lutte, mais surtout pour le suivi d'événements sanitaires, notamment à propagation rapide. Ainsi, l'épizootie de grippe équine en Australie en 2007, où près de 4 500 établissements hébergeant des équidés ont été infectés en moins de deux mois ([Brendan et al., 2009](#); [Callinan, 2007](#)), a montré l'importance de disposer de connaissances précises sur la localisation des équidés et la

traçabilité de leurs mouvements pour mettre en œuvre rapidement des mesures de contrôle et maîtriser la propagation de la maladie ([Garner et al., 2010](#)). Plus récemment en France, les neuf foyers d'anémie infectieuse équine (EIAV), qui ont touché 26 équidés entre 2017 et 2019 principalement dans le sud du pays, ont nécessité à chaque fois des moyens humains conséquents pour leur gestion ([Amat et al., 2018](#); [Garner et al., 2010](#)). Les enquêtes épidémiologiques menées devaient permettre d'identifier et de localiser tous les équidés dans les structures voisines et les équidés contacts, afin d'identifier tout nouveau foyer et de limiter la propagation de la maladie. Encore plus récemment, en mars 2021, à Valence en Espagne, une épizootie de rhinopneumonie s'est déclarée lors d'une compétition équestre internationale réunissant plusieurs centaines de chevaux. Pour limiter rapidement la propagation de la maladie en France, il a fallu agir très rapidement pour identifier tous les chevaux potentiellement contagieux, afin de les mettre en quarantaine, mais également de tracer tous leurs déplacements et les contacts potentiels avec d'autres équidés. La rapidité d'intervention conditionne la rapidité de circonscription des foyers et permet de limiter la diffusion de la maladie et ses conséquences sanitaires, économiques mais également sociétales. Dans cette course contre la montre, une bonne connaissance de la population, de ses caractéristiques et surtout de sa localisation s'avère un avantage certain. Au-delà de la prévention et de la gestion des maladies, l'affaire des mutilations des chevaux qui a récemment choqué la France a souligné l'importance de disposer d'un référencement géographique précis des équidés en vue de leur protection.

Cette problématique de connaissance de la population équine n'est pas propre à la France et certains pays anglo-saxons, à la culture très équestre, ont mené différentes études, en vue d'estimer la localisation et le nombre d'équidés, mais également de déterminer la qualité des données des bases d'identification et leur potentiel en matière de surveillance ([Boden et al., 2012, 2013](#); [Robin et al., 2012](#); [Rosanowski et al., 2013](#)). En France, l'Institut Français du Cheval et de l'Équitation (IFCE) et son observatoire économique et social du cheval (OESC) réalisent régulièrement des estimations du nombre et de la répartition des équidés en France ([Ecus-Ifce](#)).

Cependant, le nombre exact d'équidés demeure mal connu et une partie de la population équine échappe aux études, du fait que la plupart des propriétaires et des détenteurs sont des particuliers, difficilement accessibles.

C'est dans ce contexte que le projet ValDonEqui (Valorisation combinée des données démographiques et sanitaires équines), dans lequel le travail de thèse s'inscrit, a été lancé en 2016 avec un objectif concerté d'amélioration significative des connaissances démographiques et sanitaires de la population équine française, en valorisant de manière synergique des données déjà collectées en routine. La finalité du projet est d'apporter un appui scientifique et méthodologique aux gestionnaires, aux acteurs sanitaires et aux professionnels de la filière équine et de produire des informations démographiques et sanitaires. En effet, au-delà de la gestion des crises, l'absence de données démographiques précises soulève différents problèmes, notamment en termes de gestion sanitaire. Ainsi, les dispositifs de surveillance des maladies infectieuses

équines fournissent des informations sur le nombre d'animaux infectés, mais le dénominateur n'est pas connu. L'importance réelle des maladies équine en France est ainsi difficile à estimer. En outre, les données sanitaires recueillies par les dispositifs de surveillance sont collectées et gérées séparément, empêchant d'en faire une valorisation globale et d'obtenir une vision nationale de la situation sanitaire de la filière équine. Les informations sanitaires ont ainsi collecté au travers : i) du suivi des suspicions cliniques des maladies réglementées (déclaration obligatoire), ii) de la surveillance événementielle réalisée par le Réseau d'épidémiosurveillance en pathologie équine ([RESPE](#)), iii) de la surveillance des équidés reproducteurs gérée par l'IFCE et les stud-books, iv) du réseau national de surveillance des causes de mortalité ([RESUMEQ](#)), v) des dépistages avant l'export et vi) des dépistages avant certaines ventes (aux enchères ou privées). L'existence de ces diverses sources de données sanitaires est un atout, mais la dispersion de ces données et le défaut de croisement avec des données démographiques ne permettent pas de les exploiter de manière optimale. La coexistence de deux sources de données démographiques non interconnectées, complexifie le problème. Le SIRE (Système d'information relatif aux équidés), géré par l'IFCE, comporte les données individuelles des équidés présents en France, mais les informations relatives à la localisation et à la mort des équidés sont seulement partielles. L'EDI-SPAN (Échange de données informatisé sur les sous-produits animaux), géré par la DGAL (Direction générale de l'alimentation), recense de manière exhaustive les données d'équarrissage des équidés depuis 2011 et regroupe ainsi les données de mortalité hors abattoir.

Le projet Valdonequi a pour objectif d'améliorer les connaissances démographiques et sanitaires de la population équine nationale en valorisant de manière synergique des données déjà collectées en routine, pour mieux connaître la situation sanitaire et pouvoir adapter les mesures de lutte contre les maladies infectieuses le cas échéant. Ce projet, porté par l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), a reçu des financements du Fonds Eperon et de l'IFCE. Projet collaboratif, il réunit au sein de son comité de pilotage l'ensemble des acteurs impliqués dans la surveillance et la gestion sanitaire de la filière équine (DGAL, IFCE, RESPE, France Galop, le Trot, Fédération française d'équitation (FFE), Société française des équidés de travail (SFET), Société hippique française (SHF), Association française des directeurs et cadres de laboratoires vétérinaires publics d'analyses (ADILVA), Groupement d'intérêt scientifique (GIS) Centaure recherche équine, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et ANSES). Ce comité a pour objectifs i) de s'assurer de l'adéquation entre le contenu du projet et les attentes et besoins des gestionnaires et des acteurs sanitaires/professionnels de la filière et ii) d'étudier l'articulation avec les travaux menés par ailleurs. Quatre sous-objectifs et six volets de travail ont été définis :

Objectif n°1 : Améliorer la qualité des données démographiques des bases SIRE/EDI-SPAN :

Volet 1 : Remédier au défaut de traçabilité des équidés dans EDI-SPAN, notamment en étudiant la faisabilité et en testant plusieurs pistes d'amélioration du relevé d'identification par les équarrisseurs,

Volet 2 : Actualiser la base SIRE grâce à la mise à jour des équidés morts, par des transmissions régulières des données EDI-SPAN et en étudiant la possible interconnexion des deux bases,

Objectif n°2 : Valoriser de manière combinée les bases SIRE et EDI-SPAN pour mieux estimer la taille de la population et la localisation des équidés :

Volet 3 : Améliorer l'estimation de la taille de la population vivante réalisée chaque année par l'IFCE à partir des différentes sources données disponibles,

Volet 4 : Estimer la répartition géographique des équidés vivants à partir des différentes sources de données disponibles,

Objectif n°3 / *Volet 5* : Définir les modalités d'analyse épidémiologique les plus pertinentes pour la valorisation combinée des données sanitaires des différents dispositifs de surveillance de la filière équine : évaluer la qualité des données de surveillance, définir et tester des indicateurs sanitaires et des indicateurs de fonctionnement de la surveillance, analyser conjointement des données provenant de différents dispositifs,

Objectif n°4 / *Volet 6* : Etablir un cahier des charges pour la mise en place d'un système d'information qui permettrait la gestion, le traitement, l'interprétation, la valorisation et la diffusion sécurisée des diverses données de surveillance.

S'inscrivant dans les volets 2, 3 et 4, les travaux de thèse sont centrés sur l'exploitation combinée des données collectées par les différents acteurs de la filière équine et l'établissement de nouvelles méthodes permettant de mieux estimer la taille de la population équine vivant en France et surtout sa répartition spatiale. Notre approche globale devait également permettre une mise à jour régulière de ces informations.

Plus précisément, notre démarche a consisté à :

- Recenser l'ensemble des données démographiques équines disponibles en France ;
- Évaluer la qualité et la complémentarité des différentes sources de données afin d'en dégager le potentiel pour répondre à la problématique ;
- Définir la manière d'exploiter conjointement ces données ;
- Estimer la taille de la population à partir de ces différentes sources de données ;
- Réaliser une estimation de la répartition spatiale de la population équine.

Le manuscrit est ainsi divisé en cinq parties. La première partie situe l'environnement de travail, en présentant la filière et les données qu'elle collecte et sur lesquelles le travail repose. La seconde partie du manuscrit est consacrée au travail réalisé autour de l'estimation de la taille de la population et aux difficultés rencontrées. La troisième partie présente le travail sur la qualité des données qui nous a permis d'identifier les biais potentiels et de contrôler certaines hypothèses nécessaires à la modélisation. La quatrième partie décrit les habitudes de détention des équidés et présente le travail de modélisation la répartition de la population équine vivante en France, à l'échelle communale via une approche bayésienne. Enfin, une synthèse des

résultats et une discussion générale permettent d'envisager les perspectives de notre travail en dernière partie de ce manuscrit.

Partie 1. Contexte et environnement

1.1 Surveillance et lutte en santé animale

1.1.1 Aspects généraux

Selon le « code sanitaire pour les animaux terrestres » de l'organisation mondiale de la santé animale (OIE), « la surveillance de la santé animale est un outil essentiel pour détecter les maladies ou les infections, suivre leur évolution, faciliter le contrôle des maladies ou des infections, étayer les demandes de statut indemne d'une maladie ou d'une infection, fournir des données destinées aux analyses de risque visant à protéger la santé animale ou la santé publique, et à justifier le bien-fondé des mesures sanitaires retenues ». La surveillance doit permettre de démontrer l'absence d'une maladie, ou d'en établir la présence et sa distribution. Avec la maîtrise d'un certain nombre de maladies et l'augmentation du risque d'émergence et de réémergence, la surveillance doit également permettre de détecter le plus tôt possible l'occurrence, sur un territoire donné, des maladies exotiques ou émergentes.

En santé animale, la surveillance événementielle et la surveillance programmée sont utilisées de manière complémentaire. La surveillance événementielle repose sur la détection de cas cliniques suite aux suspicions remontées à l'initiative des acteurs de terrain (vétérinaire, éleveur). Cette modalité de surveillance est adaptée aux maladies entraînant des signes cliniques facilement observables, ainsi qu'à la surveillance des maladies rares ou à la détection des maladies émergentes pour lesquelles la surveillance programmée est trop onéreuse, ou impossible en raison de l'absence de test de diagnostic adapté (AEEMA, 2016; Dufour and Hendriks, 2011; ICAHS, 2013). Par opposition, la surveillance programmée repose sur l'établissement de plans de dépistage menés sur toute ou partie de la population cible en vue d'établir ou de suivre la prévalence d'une maladie ou de s'assurer de son absence (AEEMA, 2016; Dufour and Hendriks, 2011; ICAHS, 2013). Plus récemment, la surveillance syndromique a été développée comme complément aux modalités traditionnelles de surveillance. Cette stratégie de surveillance repose sur la collecte, l'analyse, mais également l'interprétation et la diffusion en temps réel (ou quasi-réel), d'indicateurs sanitaires permettant d'identifier précocement l'impact (ou l'absence d'impact) de menaces potentielles pour la santé humaine ou animale requérant une intervention publique (TripleS). La surveillance syndromique est encore assez peu développée en santé animale, en raison du volume, mais surtout de l'automatisation de la centralisation des données nécessaires. Elle trouve sa place dans l'identification précoce des émergences, lorsque les signes cliniques ne peuvent pas être connus par définition et que les tests diagnostiques n'existent pas.

Au final, les résultats des activités de surveillance doivent permettre aux gestionnaires de définir les mesures de prévention et lutte, mais également d'évaluer l'efficacité de ces mesures et de les adapter le cas échéant (Dufour and Hendriks, 2011; Häsler et al., 2011; Toma et al., 2010). (Morris, 1991; OIE, 2016).

1.1.2 Particularités de la surveillance et de la lutte contre les maladies équine

En France, les maladies équine sont surveillées au moyen de différents dispositifs (événementiel, programmé, syndromique, etc.). L'ensemble des acteurs publics et privés concernés sont fortement impliqués dans la surveillance, la prévention et la lutte contre les maladies animales, plus particulièrement celles pouvant nuire à la santé publique et/ou provoquer des pertes économiques conséquentes de façon directe ou indirecte pour la filière. Selon leur impact sur la santé publique, l'économie de l'élevage ou le commerce international, certaines maladies sont réglementées au niveau mondial, européen ou national. En 2012, suite aux États généraux du sanitaire de 2010, un dispositif de catégorisation des dangers sanitaires a été adopté en France en les classant par ordre d'importance (Code rural et pêche maritime art. L.201-1). Trois catégories ont été définies :

- Les dangers sanitaires de catégorie 1 sont de nature à porter une atteinte grave à la santé publique ou à la santé des végétaux et des animaux, ou à mettre gravement en cause les capacités de production. Ces maladies requièrent, pour l'intérêt général, des mesures de prévention, de surveillance et de lutte obligatoires,
- Les dangers sanitaires de catégorie 2 pour lesquels il peut être nécessaire, pour l'intérêt collectif, de mettre en œuvre des mesures de prévention, de surveillance ou de lutte,
- Les dangers sanitaires de catégorie 3 pour lesquels les mesures de prévention, de surveillance ou de lutte relèvent de l'initiative privée.

Concernant les maladies équine, l'anémie infectieuse des équidés, les encéphalites (encéphalites japonaise, de l'Ouest et de l'Est, du Venezuela, encéphalite West Nile), la fièvre charbonneuse, la peste équine, la rage ou encore la stomatite vésiculeuse ont été classées en catégorie 1. L'artérite virale équine, la morve ou encore la métrite contagieuse des équidés ont été classées en catégorie 2.

À cette classification nationale, vient s'ajouter depuis avril 2021, la classification européenne de la Loi de Santé Animale (LSA ([Anonyme, 2016](#))). La principale nouveauté de ce texte est une nouvelle classification des maladies animales transmissibles, ne reposant plus sur la responsabilité de l'autorité administrative et des opérateurs, mais sur les mesures de gestion à appliquer ([DRAAF, 2020](#)).

Une nouvelle classification des maladies animales a ainsi vu le jour avec quatre catégories :

- Catégorie A : maladie normalement absente de l'Union européenne, nécessitant une éradication immédiate,
- Catégorie B : maladie devant être contrôlée par tous les États membres, nécessitant une éradication obligatoire,
- Catégorie C : maladie soumise à contrôle volontaire des États membres, nécessitant une éradication volontaire,

- Catégorie D : maladie pour laquelle des restrictions aux mouvements entre Etats membres s'appliquent,
- Catégorie E : maladie soumise à une surveillance.
- Catégorie D : maladie pour laquelle des restrictions aux mouvements entre Etats membres s'appliquent,
- Catégorie E : maladie soumise à une surveillance.

Une maladie pourra ainsi dépendre d'une combinaison de catégories (ADE, BDE, CDE, DE ou simplement E) (Table 1. 1). Cette nouvelle classification ne permet pas une transposition exacte des mesures de la précédente catégorisation. En effet, certaines maladies historiquement classées ne le sont plus, d'autres sont sujettes à de plus importantes exigences de gestion qu'autrefois ou inversement. En outre, toutes les maladies listées dans cette LSA sont à déclaration obligatoire et sont d'abord de *catégorie E*. En filière équine, selon cette nouvelle catégorisation, les maladies sont ainsi reclassées selon la Table 1. 1.

TABLE 1. 1. Catégorisation des maladies équines réglementées selon la LSA (selon la direction régionale de l'alimentation de l'agriculture et de la forêt (DRAAF, 2021))

Catégorisation	Maladies	Différentes obligations et actions à mener
E	Encéphalite japonaise, Fièvre de West Nile, Encéphalomyélite équine (de l'Est ou de l'Ouest), Infection à <i>Brucella abortus</i> , <i>melitensis</i> , <i>suis</i> , Infection par le complexe <i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Déclaration, surveillance
DE	Anémie infectieuse des équidés (AIE), Dourine, Encéphalomyélite équine vénézuélienne, Métrite contagieuse équine, Fièvre charbonneuse, Surra, Artérite virale équine	Déclaration, surveillance et certification obligatoire
CDE		Déclaration, surveillance, prévention, certification obligatoire, éradication facultative
BDE	Rage	Déclaration, surveillance, prévention, certification, éradication obligatoire
ADE	Peste équine, Morve, Fièvre de la Vallée de Rift	Déclaration, surveillance, prévention, certification, éradication immédiatement obligatoire + plans d'intervention sanitaire d'urgence

Les Etats membres ont cependant la possibilité d'être « mieux disant » que la LSA en termes de réglementation nationale. En France, la question se pose notamment pour l'AIE, maladie qui était catégorisée comme danger sanitaire de catégorie 1 et pour laquelle l'euthanasie était obligatoire jusqu'à présent en cas de maladie confirmée. À ce jour, pour la période transitoire en l'absence de décision au niveau national, c'est la réglementation antérieure (danger sanitaire de catégorie 1) qui s'applique pour la gestion des maladies réglementées et notamment de l'AIE.

En France, les données sanitaires équine sont collectées par plusieurs dispositifs de surveillance épidémiologique. Il existe une surveillance événementielle des suspicions cliniques, obligatoire et encadrée par l'Etat, pour les maladies réglementées. Cette surveillance a une organisation bien particulière et fait notamment intervenir la DGAL et les laboratoires nationaux de référence (LNR) pour des maladies équine réglementées comme l'AIE (Figure 1. 1).

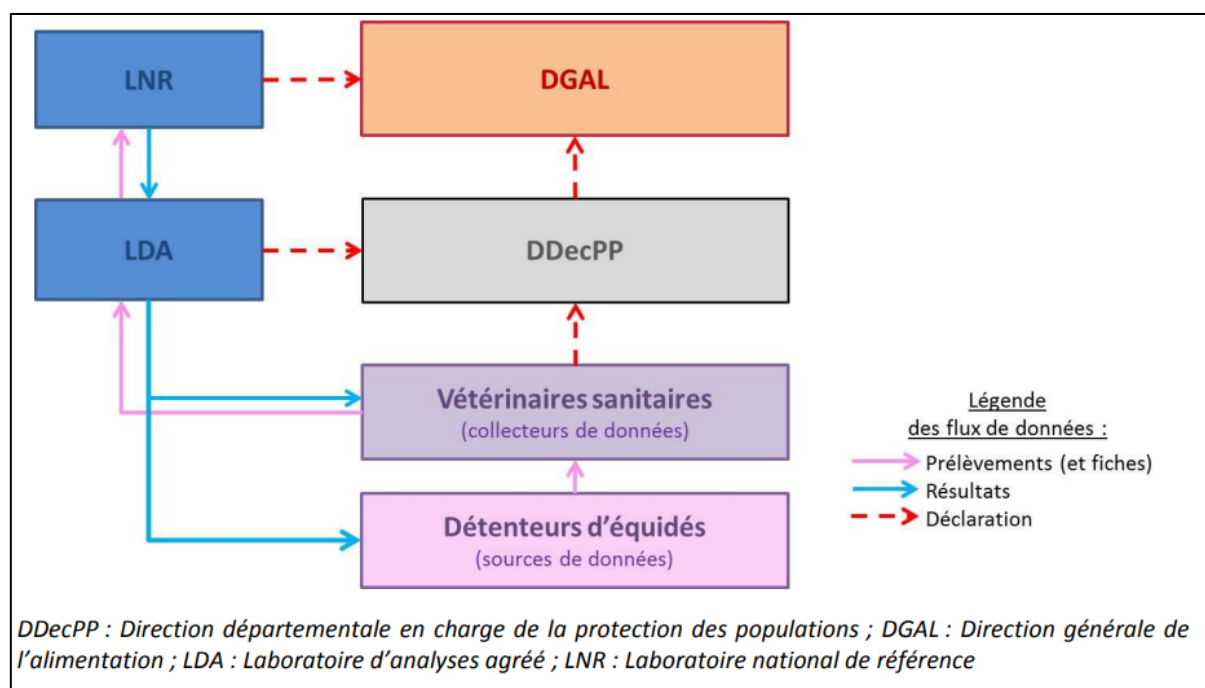


FIGURE 1. 1. Représentation de l'organisation du dispositif de surveillance événementielle réglementaire de l'AIE et des flux de données (d'après (Amat, 2016)).

Par ailleurs, une surveillance active propre aux équidés reproducteurs est assurée par un dispositif spécifique géré par l'IFCE et les stud-books. Ce dispositif a été mis en place avec un objectif à la fois individuel et collectif. Il vise en effet à vérifier le statut sanitaire individuel des équidés reproducteurs et à éviter la dissémination des maladies contagieuses lors de la monte (anémie infectieuse des équidés, artérite virale équine, métrite contagieuse des équidés, rhinopneumonie et grippe équine). Ce dispositif a été mis en place pour plusieurs races d'équidés (en particulier Pur-sang (Devun, 2021)) et l'IFCE est chargé par les stud-books concernés de l'enregistrement, de la vérification et de la mise à disposition, sous certaines conditions, des informations collectées dans le cadre de cette surveillance. Ces données sanitaires sont enregistrées dans le SIRE.

Parallèlement, une surveillance événementielle volontaire a été mise en place dès 1999 par le Réseau d'épidémiosurveillance en pathologie équine (RESPE) vis-à-vis des maladies ayant une contagiosité et/ou un impact économique important. Le RESPE a été créé sur proposition de la commission « Maladies infectieuses » de l'AVEF et animé par l'ANSES, puis il est devenu en 2008 une association loi 1901, constituée par des

vétérinaires, des acteurs professionnels et non-professionnels de la filière équine et des acteurs publics (Dufour and Hendriks, 2011; RESPE, 2016 ; Valon et al., 2012). Ses objectifs sont la détection des foyers, l'alerte et le suivi de la situation sanitaire. Outre ses missions de surveillance, le RESPE contribue aussi à la gestion de certaines crises sanitaires et participe à des programmes d'étude et de recherche (RESPE, 2010). Le RESPE a mis en place différents sous-réseaux spécialisés en vue de collecter des informations sur certaines maladies ou ensemble de maladies identifiées par des vétérinaires volontaires appelés vétérinaires sentinelles (environ 500 vétérinaires sentinelles à ce jour). Ces sous-réseaux surveillent, pour chacun d'eux, des maladies ou des syndromes :

- « Syndrome Respiratoire Aigu » surveille les maladies virales respiratoires aiguës (Grippe, Herpès virus, Artérite virale équine ainsi que la Gourme),
- « Syndrome Nerveux » surveille les syndromes nerveux chez les équidés, en particulier l'herpès virose de type 1 et la fièvre de West Nile,
- « Avortement » surveille les avortements infectieux contagieux,
- « Myopathie Atypique » surveille la myopathie atypique en collaboration avec l'Université de Liège et le réseau européen,
- « Syndrome Piro-Like » surveille les piroplasmoses, l'anaplasmose et l'anémie infectieuse équine,
- « Anomalies Génétiques » surveille les anomalies chez les équidés en collaboration avec l'IFCE (Heydemann et al., 2011),
- « Diarrhée du Poulain » surveille les diarrhées infectieuses chez les poulains (RESPE, 2014).

En termes de surveillance évènementielle, un réseau de surveillance très complémentaire du RESPE, le réseau national de surveillance des causes de mortalité des équidés (RESUMEQ) (Tapprest et al., 2016) a été créé en 2015 à des fins de surveillance qualitative de la mortalité des équidés. Cette surveillance particulière est permise par la centralisation de l'ensemble des données relatives aux autopsies d'équidés réalisées en France par différents acteurs, dans une base de données nationale et à leur valorisation épidémiologique. RESUMEQ est actuellement coordonné par l'ANSES (Laboratoire de santé animale – site Normandie). Il a pour objectif de qualifier les causes de mortalité et de suivre leur évolution dans le temps et dans l'espace d'une part, et détecter précocement des maladies exotiques ou émergentes mortelles, d'autre part. RESUMEQ doit permettre *in fine* de fournir aux principaux acteurs du sanitaire de la filière équine des informations épidémiologiques fiables sur les maladies équines mortelles. Le réseau s'est beaucoup développé en quelques années et il compte actuellement 45 acteurs répartis sur l'ensemble du territoire national. Ces acteurs sont représentés par les quatre écoles nationales vétérinaires, vingt-huit laboratoires d'analyse et treize cliniques vétérinaires (Figure 1. 2).

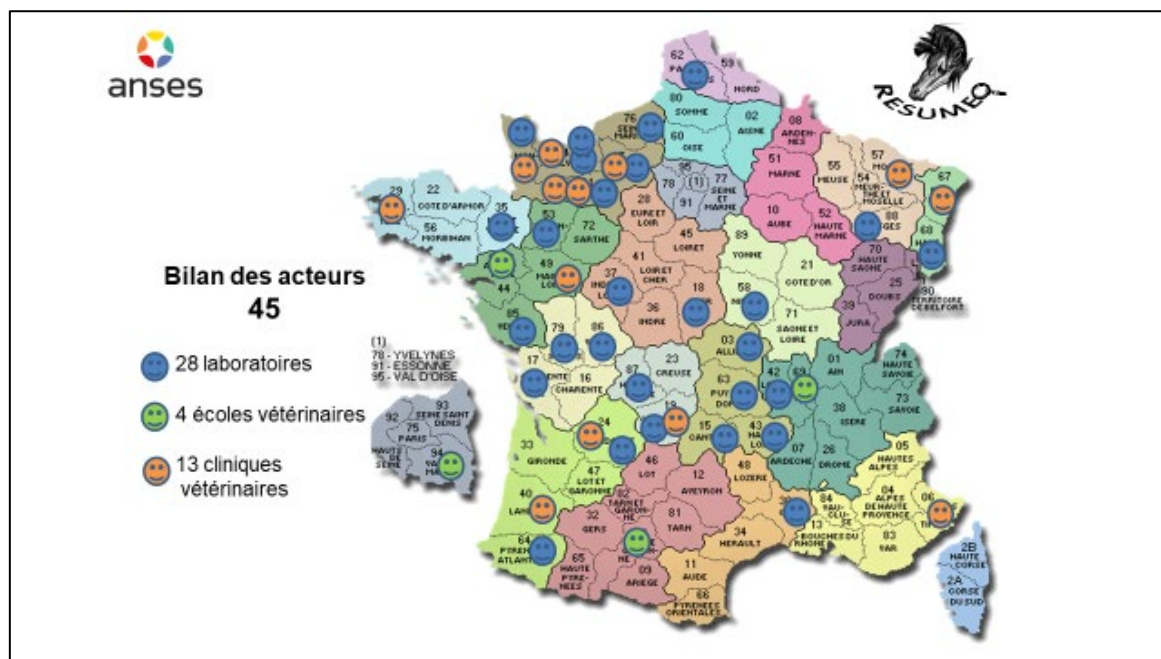


FIGURE 1. 2. Carte du réseau RESUMEQ ANSES (selon (Foucher, 2021))

Enfin, un dépistage est mis en place pour certaines maladies avant export et avant certaines ventes (aux enchères ou privées).

Les données sanitaires produites par ces six « dispositifs » sont recueillies séparément et enregistrées dans diverses bases de données : le SIRE (IFCE), les bases de données locales des laboratoires d'analyses agréés (LDA), la base du RESPE, la base du réseau RESUMEQ, les bases de données de laboratoires nationaux de référence (LNR) et les bases de données des directions départementales en charge de la protection des populations (exports, investigations épidémiologiques en cas de foyer). L'existence de diverses sources de données sanitaires est un atout, mais la dispersion de ces données handicape aujourd'hui la consolidation nationale de ces données et leur analyse épidémiologique globale. D'autre part, le défaut de croisement des données sanitaires avec les données démographiques ne permet pas de les exploiter de manière optimale.

Dans ce contexte et dans le cadre du mandat du projet ValDonEqui, il est envisagé de mettre en place à court terme (fin 2021 ou début 2022) un groupe de travail « GT sanitaire filière équine » sur la plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale (ESA) pour permettre aux différents organismes impliqués d'échanger et d'étudier les possibilités de centralisation de l'ensemble des données sanitaires et de leur valorisation optimale. Ces évolutions permettront d'obtenir une vision nationale et évolutive des maladies réglementées et de répondre aux besoins d'informations des différentes parties prenantes du sanitaire (DGAL, RESPE, IFCE, ANSES, vétérinaires, socioprofessionnels, laboratoires d'analyses et LNR, stud-books et sociétés mères, partenaires sanitaires et économiques étrangers, etc.).

Dans l'optique d'une centralisation des données sanitaires, le SIRE pourrait être un candidat de choix compte tenu du fait que i) les données relatives à l'identification, la traçabilité, la démographie et de nombreuses

données sanitaires sont déjà présentes dans SIRE (plus de 80 % des données sanitaires sur les dangers sanitaires de 1^{ère} et 2^{ème} catégories), ii) des flux d'échanges de données informatisés existent entre les laboratoires d'analyse et SIRE et iii) la DGAL et les studbooks confient déjà à l'IFCE cette mission de centralisation des données pour la monte (suivi sanitaire de reproducteurs).

De ce rapide tour d'horizon des systèmes de surveillance, on peut affirmer que la collecte des données est l'étape clé de la surveillance. De plus, son efficacité est conditionnée par une meilleure traçabilité et une bonne connaissance démographique (taille et localisation) de la population cible. La traçabilité est donc un élément essentiel pour une surveillance efficace. Il permet une réponse d'urgence précise et rapide pour protéger la population animale contre les maladies (McKean, 2001).

1.2 Organisation de la traçabilité des équidés en France

1.2.1 L'identification des équidés

Actuellement, la traçabilité des équidés repose sur leur identification généralisée, l'émission d'un document d'identification, la pose de transpondeurs (puce électronique) et la gestion des propriétaires, des détenteurs et des lieux de détention. Le SIRE enregistre et centralise depuis 1976 et de façon exhaustive actuellement, ces informations. Un numéro d'identification unique, (numéro SIRE), est attribué à chaque équidé déclaré et enregistré dans SIRE. Dès sa déclaration, un livret d'identification (passeport), comportant un relevé de toutes les marques naturelles et de toutes les informations (sexe, race, âge, etc.) permettant la reconnaissance de l'équidé, est émis et l'accompagne, individuellement, tout au long de sa vie (lors de déplacements par exemple). En complément, un numéro du transpondeur permet de confirmer l'identité de l'équidé. Le propriétaire de l'équidé est également enregistré dans le fichier central SIRE. En cas de changement de propriétaire, la déclaration de ce changement doit être faite par le nouveau propriétaire. Par ailleurs, tout détenteur d'équidés doit se déclarer en tant que tel, mais aussi déclarer son (ses) lieu(x) de détention dans SIRE.

1.2.2 Définitions réglementaires et réglementations en vigueur

Dans la réglementation européenne, on entend par « équidés » les mammifères solipèdes sauvages ou domestiqués de toute espèce du genre *Equus* de la famille des équidés ainsi que leurs hybrides (Anonyme, 2015). Il s'agit en pratique essentiellement des chevaux, des poneys, des ânes et des zèbres. En Europe, fournir aux équidés un statut universel d'animaux de rente ou de compagnie ou sauvages est ambigu, car cela dépend de la catégorie d'équidés concernée, de l'utilisation de l'équidé, mais aussi du pays (Engelsen, 2017). Néanmoins, en France, il a été confirmé par le Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (MAAF) que le cheval est considéré comme un animal de rente (Engelsen, 2017). Par ailleurs, est défini comme « détenteur », toute personne physique ou morale qui est en possession d'un équidé ou qui est chargée de pourvoir à son entretien, à titre onéreux ou non, permanent ou temporaire, y compris durant le transport de l'équidé, sur un marché ou lors de concours, de courses ou d'événements culturels (Anonyme, 2015). Est défini

comme « propriétaire » la ou les personnes physiques ou morales qui ont la propriété de l'équidé (Anonyme, 2015).

En France, est considéré comme propriétaire, toute personne physique ou morale enregistrée, dans la base SIRE, comme propriétaire d'équidé sur une ou plusieurs cartes d'immatriculation d'équidé. Un « *lieu de détention* » (*exploitation*) est un établissement agricole ou d'entraînement, une écurie ou tout local ou toute installation dans lesquels des équidés sont détenus ou élevés de façon habituelle, quelle que soit leur utilisation. Les réserves naturelles dans lesquelles les équidés vivent en liberté y sont assimilées (Anonyme, 2015).

On définit « *la race* » d'un équidé en utilisant l'aspect phénotypique par le standard de la race (morphologique ou utilisation) ou en utilisant l'aspect génotypique, prenant en considération l'appartenance à une famille ou une lignée généalogique. Actuellement, on enregistre 75 stud-books (registre où est inscrite la généalogie de tous les équidés d'une race) d'origine française ou étrangère, qui sont reconnues et gérées en France (Anonyme, 2015). En regroupant les races par famille, on distingue les chevaux de sang (25 races), les poneys (11 races), les chevaux de trait (10 races), les ânes (7 races) et les races étrangères (22 races). Est considéré d'origine non constatée tout équidé non inscrit à un stud-book et ne pouvant porter aucune appellation précitée par manque d'un pedigree.

Depuis 2001, l'identification de tout équidé né dans l'Union européenne doit obligatoirement se faire au moyen d'un document d'identification unique (aussi appelé passeport ou livret), délivré, pour toute la durée de leur vie, par l'organisme émetteur (Anonyme, 2001) et doit obligatoirement être enregistré dans une base de données. Ce passeport doit contenir plusieurs identifiants uniques à savoir, un numéro national et un identifiant unique européen UELN (numéro universel d'identification des équidés ou en anglais Universal Equine Life Number). Il doit en outre contenir le(s) nom(s), le(s) prénom(s) et le(s) adresse(s) du dernier(s) propriétaire(s) déclaré(s) et tout élément permettant d'identifier l'équidé (sexe, âge, race, robe, etc.) (Anonyme, 2015). Depuis 2008, en plus de son passeport, tout équidé doit être équipé d'un transpondeur (Anonyme, 2004, 2008, 2015), d'où la présence obligatoire d'un code de transpondeur électronique unique dans le livret. Depuis 2016, l'établissement d'une base de données centralisant toutes informations liées aux équidés a été rendu obligatoire pour tous les États membres de l'Union Européenne (article 39-1 et l'article 44 du Règlement d'Exécution (UE) 2015/262 (Anonyme, 2015)).

En France, en vertu de l'article D.212-46 du Code rural de la pêche maritime, le SIRE centralise toutes les informations liées aux équidés. Jusqu'en 2013, l'IFCE était le seul organisme autorisé à émettre un document d'identification en France. Cependant, en 2013, le Code rural a été modifié (Anonyme, 2012) pour que les équidés associés à une race non gérée et non conventionnée en France puissent être identifiés dans le pays adéquat. Leurs détenteurs ont la possibilité de faire leur démarche d'identification auprès de Stud-book étrangers depuis 2016 (Anonyme, 2015).

Les équidés nés dans l'Union européenne doivent être identifiés au plus tard 12 mois après leur date de naissance et en tout état de cause, avant qu'ils ne quittent définitivement pas leur exploitation de naissances (Article 12- 1 ([Anonyme, 2015](#))). Par dérogation, les États membres peuvent décider de limiter à six mois ou à l'année civile de naissance la période maximale autorisée pour l'identification de l'équidé (Article 12- 21 ([Anonyme, 2015](#))). Ainsi, en France, tout équidé né sur le territoire national doit être identifié avant le sevrage et au plus tard le 31 décembre de leur année de naissance. Tout équidé importé en France doit être enregistré dans les deux mois suivant l'introduction. Les détenteurs d'équidés nés dans l'Union doivent introduire la demande du document d'identification auprès de l'organisme émetteur approprié, mais lorsque le détenteur n'est pas l'un des propriétaires, il agit au nom du propriétaire tout en ayant son accord (Règlement d'Exécution (UE) 2015/262 ([Anonyme, 2015](#))). En France, c'est toujours le détenteur qui effectue la demande, cependant les frais liés à cette demande sont à la charge du propriétaire. Par ailleurs, concernant la mort ou la perte (y compris par vol) d'un équidé, le détenteur a l'obligation de renvoyer le document d'identification à l'organisme émetteur approprié, dans les trente jours suivant la mort ou de la perte de l'animal (Article 35-1 ([Anonyme, 2015](#))), afin de mettre à jour la base de données centrale (Article 35-1 ([Anonyme, 2015](#))). En France, la traçabilité des équidés morts repose sur les détenteurs pour les animaux équarris et sur les DDPPs (Directions départementale de la protection des populations) pour les animaux abattus. Les livrets doivent être retournés à l'IFCE dans les 30 jours à compter de la mort des individus. Le non-respect de ces règles donne lieu à une amende, due par le propriétaire reconnu au moment du contrôle.

En France, d'autres obligations s'appliquent aux détenteurs et aux propriétaires d'équidés. Depuis 2010, tout détenteur d'équidés (professionnel ou particulier) doit obligatoirement se déclarer dans les 6 mois suivant l'ouverture du lieu de détention auprès de l'IFCE et s'enregistrer comme détenteur dans SIRE ([article D212-47](#) du code rural relatif à l'identification des équidés). Il a en outre l'obligation de tenir à jour un registre d'élevage comportant la liste des équidés présents ainsi que le suivi chronologique de leurs mouvements, des soins apportés et des interventions vétérinaires ([article L214-9](#) du Code rural complété par l'article [L234-1 II](#)). Cependant, si le détenteur a l'obligation de déclarer à l'IFCE les lieux de détention dont il est responsable sous peine d'une amende ([Article D212-47](#) du Code rural), il n'a pas l'obligation de préciser ni le nombre ni les identifiants des équidés effectivement détenus. Enfin, lorsqu'il détient 3 équidés et plus, il a également l'obligation de déclarer un vétérinaire sanitaire ([Arrêté du 23 juillet 2012](#) relatif aux conditions d'exercice du vétérinaire sanitaire). Par ailleurs, toute modification des informations liées à la déclaration d'un lieu de détention doit être notifiée à l'IFCE dans un délai de 30 jours (Article D212-48 et Article D212-49 du code rural). Lors des contrôles mis en place depuis 2015 pour accompagner et encadrer les détenteurs et effectués par des agents de l'IFCE conformément aux dispositions de la loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 (loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt), un non-respect de ces obligations est soumis à une amende. Concernant le propriétaire, lors du changement de propriété (suite à une vente ou une cession), le nouveau propriétaire doit notifier ce changement à l'IFCE. Tout changement d'adresse de résidence du propriétaire et/ou détenteur doit également être notifié l'IFCE pour mettre à jour SIRE.

1.2.3 Bilan du respect de la réglementation et des obligations en France.

La base de données d'identification nationale SIRE existe depuis 1976, ce qui place la France parmi les pays ayant l'une des meilleures traçabilités des équidés. En effet, on estime qu'un faible nombre d'équidés (50 000 équidés) ne sont pas identifiés (Dornier, 2010; IFCE, 2015b). Par ailleurs, la notification au SIRE des équidés abattus est systématiquement communiquée par les services déconcentrés de l'Etat (DDPPs), contrairement à ceux qui sont équarris. En effet, malgré le renforcement de la traçabilité des équidés morts après le scandale de la viande de cheval survenu en France en 2013 (viande de cheval non déclarée trouvée dans les lasagnes de bœuf congelées), 30 à 40 % des propriétaires ne retournent pas le passeport de leur équidé mort à l'IFCE et le délai de retour est souvent long (IFCE, communication personnelle). Il faut noter également que certains cadavres sont enfouis illégalement et que les sorties définitives du territoire national ne sont pas forcément toutes recensées. Ces différents éléments expliquent la difficulté à connaître la taille exacte de la population équine qui ne peut, actuellement, qu'être estimée. En outre, en l'absence d'une obligation de déclaration individuelle du lieu de détention de chaque équidé dans la base SIRE, la répartition géographique des lieux de détention n'est que partiellement connue et la localisation individuelle des équidés ne l'est quasiment pas. En effet, si on connaît le volume d'équidés détenus dans certaines structures agricoles (élevages, écuries de course et établissements équestres) (environ 70 % du cheptel national, (IFCE, 2015a)), seuls les chevaux de course à l'entraînement (15 % de la population équine) et certains reproducteurs sont localisés au niveau individuel. De manière plus anecdotique, les contrôles réalisés par l'IFCE sont également une source d'information pour identifier le lieu exact de vie de certains équidés contrôlés.

On peut supposer que le respect peu rigoureux de la réglementation trouve en partie son origine dans l'organisation complexe d'une filière équine très diverse et qui englobe différents types de professionnels, mais également un grand nombre de particuliers.

1.3 Une organisation complexe de la filière équine française et des données dispersées

Le cheptel équin français était estimé, fin 2019, à environ 1 051 000 d'équidés (IFCE, 2020). Les deux tiers (67 %) sont des chevaux de selle et des poneys, illustrant la prédominance des activités de sport et de loisir. Les chevaux de course à l'entraînement constituent environ 10-15 % de la population, tandis que les chevaux de trait et les ânes sont minoritaires (18 % pour les deux cumulés) (IFCE, 2020). La filière équine française est ainsi très diversifiée et compte une multiplicité d'acteurs et autant de sources de données peu ou pas connectées.

En France, trois grands secteurs distincts et interdépendants coexistent: les courses, le sport-loisir-travail et le secteur viande (Figure 1. 3). En parallèle, l'IFCE est l'organisme transversal de la filière.

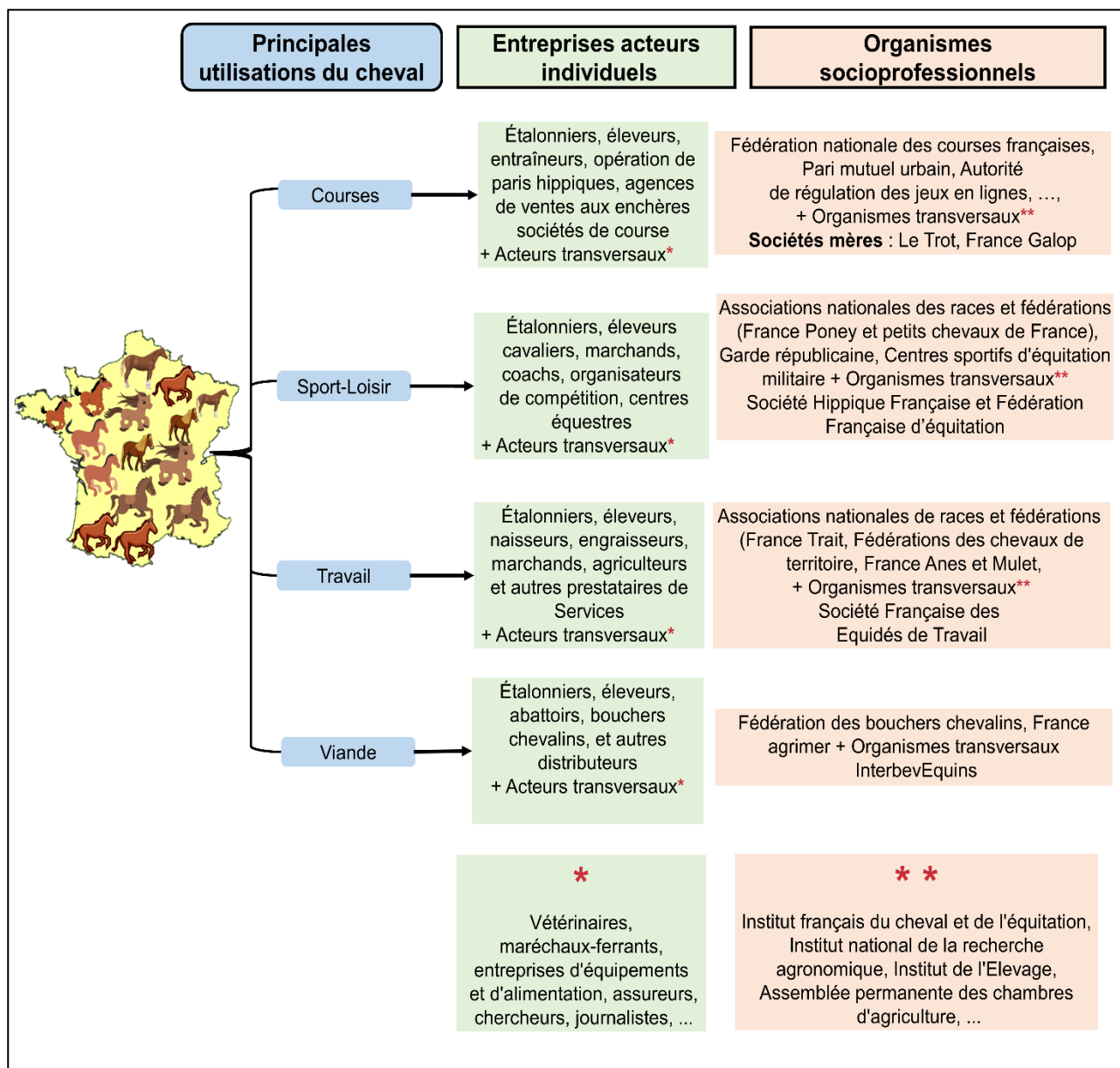


FIGURE 1.3. Différents secteurs et acteurs de la filière équine

1.3.1 Secteur des Courses

La France comptait, en 2018, 228 sociétés ou fédérations organisatrices de courses en activité en France ([Observatoire, 2019](#)). Au sein de la Fédération Nationale des Courses Françaises (FNCF), toutes les sociétés de courses ainsi que les fédérations régionales sont représentées afin de définir les orientations de la politique commune des courses, de coordonner les actions de ses membres, mais aussi les représenter auprès des pouvoirs publics. Le bilan statistique de la filière équine française en 2018/2019, indiquait que près de 30 172 chevaux avaient participé à environ 18 084 courses organisées dans le cadre de 2 309 réunions. La France occupe ainsi la 3^{ème} place en nombre de courses organisées (7 %) dans le monde, derrière les Etats-Unis (31 %) et l'Australie (13 %) ([Observatoire, 2019](#)). En France, les courses hippiques sont organisées par deux sociétés Mères des courses : la Société d'encouragement à l'élevage du Cheval Français (SECF également

appelée « Le Trot ») pour les courses de trot et France Galop pour les courses de plat et l'obstacle. Elles assument la juridiction, l'organisation des disciplines ainsi que les finances au niveau national.

La SECF, créée en octobre 1864, est une association loi 1901 dont la mission première est d'œuvrer au développement des courses de trot en France et à la protection du Trotteur Français dans sa spécificité. Elle a la responsabilité de toutes démarches dépendant des courses au trot, de l'administration à la réglementation, jusqu'à l'organisation et la réalisation des courses de trotteurs. Elle collabore avec le Ministre chargé de l'Agriculture pour l'approbation des modifications des codes de courses et la politique d'élevage, et avec le Ministre de l'Intérieur pour les autorisations de faire courir, entraîner, monter ou driver les chevaux du trot.

La société France Galop est issue de la fusion de la « Société d'encouragement et des steeple-chases de France », de la « Société de sport de France » et de la « Société sportive d'encouragement ». Elle est soumise à la triple tutelle des ministères de l'Agriculture, des Finances et de l'Intérieur. Elle a des multiples missions telles qu'encourager l'élevage pour améliorer les différentes races de chevaux de galop, promouvoir et élaborer le programme national des courses de galop, gérer directement les hippodromes et les événements grand public autour des courses tels que les Dimanches au Galop, etc.

Les sociétés mères de courses participent également à l'organisation des contrôles antidopage et assurent à ce titre un suivi individuel rigoureux des lieux de stationnement des chevaux à l'entraînement, et plus récemment des chevaux en pré-entraînement.

1.3.2 Secteur sport-loisir-travail

Les activités de sport, de loisir et de travail se développent et se structurent depuis quelques années, autour de plusieurs organismes. Concernant le secteur Sport-loisir, la Société Hippique Française (SHF) est devenue la société mère du cheval et du poney de sport depuis 2011 et fédère les acteurs des trois composantes liées à la production, la valorisation et la commercialisation. Elle rassemble les Associations Nationales de Races (association nationale du selle français (ANSF), association nationale de l'Anglo-Arabe, association nationale du Cheval Arabe (ACA), etc.), les Associations Régionales d'Éleveurs, la Chambre Syndicale du Commerce des Chevaux de France (CSCCF), les acteurs socioprofessionnels représentatifs (éleveurs, propriétaires, cavaliers) et les personnes qualifiées et structure la politique de l'élevage et son développement. Parallèlement, la Fédération française d'équitation ([Lindner and Offeney, 1992](#)) assure le développement et la promotion des sports équestres, de l'équitation de loisir et du tourisme équestre en France. Elle a pour missions de délivrer les licences fédérales, et d'organiser la formation (école d'équitation, diplômes professionnels). Dans ce cadre, la FFE collecte des informations sur les licenciés et les structures équestres qui lui sont affiliés. Enfin, avec plus de 80 000 épreuves par an, elle élabore les règlements, veille à leur application et gère les compétitions ([Heydemann et al., 2011](#)), à l'occasion desquelles, elle enregistre l'identité des couples chevaux-cavaliers engagés dans les différents concours et vérifie notamment que les informations du propriétaire sont bien à jour.

Pour le secteur travail, la Société Française des équidés de travail (SFET) a été créée en 2012 en englobant trois fédérations fondatrices : France Trait, la Fédération des Chevaux de Territoire et France Anes et Mulets gère ce secteur. Elle propose une politique globale pour encourager l'élevage, la formation, la valorisation, la commercialisation et favorise l'utilisation des chevaux de certaines races.

1.3.3 Secteur viande chevaline

Ce secteur est organisé, autour d'Interbev Equins qui est la section équine d'Interbev (interprofession du bétail et des viandes). Elle rassemble les organismes représentatifs des producteurs, commerçants, coopératives, industriels, bouchers chevalins et distributeurs afin de défendre leurs intérêts communs. Le cheptel de chevaux abattus pour la production de viande chevaline est en baisse ces dernières années ainsi que la consommation de viande chevaline. On comptait ainsi environ 9 269 chevaux abattus en 2018 contre 17 088 en 2014 ([Observatoire, 2019](#)). Une partie de la production des chevaux de boucherie est exportée principalement vers l'Italie et l'Espagne. Malgré tout, la France importe trois fois plus de viande chevaline qu'elle n'en exporte, principalement en provenance de la Pologne (le plus gros fournisseur de l'Europe occidentale), de l'Espagne (produits français engraisés en Espagne puis réimportés), de la Belgique et d'Amérique (sous forme de carcasse désossée).

Le règlement européen (UE) 2015-262 a renforcé les obligations de traçabilité du statut d'un équidé vis-à-vis de la consommation humaine pour sécuriser l'industrie alimentaire. Tout d'abord, il existe un lien entre le délai de d'identification d'un équidé et son exclusion de la consommation humaine, qui est précisé dans l'article 12 du règlement (UE) 2015-262. Le document d'identification doit être délivré au plus tard 12 mois après la date de naissance. Lorsque l'animal n'a pas été identifié dans les délais prévus, l'article 29 impose l'exclusion définitive de la consommation humaine par l'organisme émetteur des documents d'identification. D'autre part, il existe une obligation d'enregistrement du statut d'un équidé vis-à-vis de la consommation humaine via sa notification dans SIRE.

Déclarer que l'équidé n'est pas destiné à l'abattage est un acte irréversible et il peut être le fait du propriétaire, du détenteur de l'équidé ou du vétérinaire, selon le cas. Un propriétaire ou un détenteur peut ainsi décider d'exclure un équidé de la consommation humaine. Par ailleurs, dans le cas de l'administration de médicaments vétérinaires rendant définitivement impropres les viandes à la consommation humaine (substances listées au règlement n°37/2010 et substances dépourvues de limite maximale de résidus (LMR) telle que la phénylbutazone), le vétérinaire doit procéder à l'exclusion définitive de l'animal de la filière viande ([IFCE-Abattage](#)). Ainsi, la traçabilité des équidés est un élément primordial pour la sécurisation de l'alimentation humaine.

1.3.4 Un acteur transversal : l'Institut français du cheval et de l'équitation

L'IFCE est le principal organisme transversal de la filière ([IFCE](#)), créé par le décret n°2010-90 du 22 janvier 2010, par regroupement des Haras nationaux et de l'École nationale d'équitation-cadre noir de Saumur

(Anonyme, 2010). L'IFCE est placé sous la tutelle des Ministères chargés des sports et de l'agriculture. Il est l'opérateur public au service de la filière équine et intervient aussi bien au niveau national qu'international. À ce titre, il apporte son appui aux acteurs économique de la filière équine française pour développer des actions de coopération institutionnelles qui favorisent le rapprochement entre les pays. Au niveau national, il est l'institut technique de référence et accompagne le développement de la filière équine via la production et le transfert de données techniques et économiques, grâce son observatoire économique (IFCE). En tant qu'institut technique agricole, il encourage l'innovation et vulgarise les résultats de recherche et d'études au bénéfice de tous. Par ailleurs, l'IFCE assure l'expertise réglementaire pour la filière et participe à son respect en organisant des contrôles. L'IFCE joue effectivement un rôle important sur le terrain concernant la traçabilité de la filière équine. Grâce à ses équipes d'identificateurs et à ses actions de contrôle des démarches incombant aux détenteurs d'équidés, l'IFCE sécurise les informations enregistrées dans SIRE et notamment celles qui sont essentielles en cas de crise sanitaire (identification des équidés, déclaration des lieux de détention, coordonnées des détenteurs). Les contrôles réalisés par les agents de l'IFCE ont ainsi pour objectif de renforcer la fiabilité de la traçabilité des équidés en accompagnant les détenteurs dans la réalisation de leurs démarches puis en sanctionnant les acteurs négligents ou fraudeurs. Les suites des contrôles permettent d'assurer un taux de remise en conformité important, en particulier pour la déclaration du lieu de détention, socle du dispositif de sécurité sanitaire en cas de crise. Cette mission de contrôle est pilotée par l'IFCE en concertation avec la DGAL et la filière (IFCE-Contrôle, 2020).

1.4 Les différentes sources de données utilisées

En France, deux bases de données centralisent de manière quasi-exhaustive des données démographiques équines : le SIRE géré par l'IFCE et l'échange de données informatisé des sous-produits animaux (EDI-SPAN) géré par la DGAL. Autour de ces deux bases, existent d'autres sources de données générées et gérées par les différents acteurs privés intervenant dans la filière. Ces sources de données, même si elles sont moins importantes en volumétrie, contiennent des informations essentielles pour mieux connaître les différents secteurs de la filière. Elles sont cependant, pour certaines, non centralisées et encore difficilement accessibles.

Le travail de thèse repose ainsi sur les quatre sources de données qui nous ont été rendues accessibles grâce à la confiance des différents acteurs de la filière et à leur intérêt pour ce travail.

1.4.1 Le SIRE et les données de contrôle

Le SIRE centralise sur une base déclarative, mais obligatoire, les informations relatives aux équidés présents sur le territoire français lors de différentes étapes administratives telles que l'identification de l'équidé, l'achat, la détention, la reproduction. Elle enregistre également des informations professionnelles ou de contact concernant les différentes personnes liées aux équidés enregistrés (naissances, propriétaires, détenteurs, vétérinaires habilités à l'identification, inséminateurs munis d'une licence, centres/étalonnières ayant déclaré des saillies, mandataires d'étalons). Le SIRE centralise également des données liées à la monte, à

l'immatriculation des équidés (livret ou certificat d'origine), et aux mouvements commerciaux des équidés (imports/exports), ainsi que des données sanitaires et des données liées à la performance. Par ailleurs, à l'occasion des contrôles d'identification organisés par l'IFCE depuis 2015, des informations liées aux contrôles et relatives à des équidés, des détenteurs et aux lieux de détention sont centralisées et permettent de mettre à jour SIRE.

Dans le cadre de notre travail, différentes extractions du SIRE et informations relatives aux équidés, propriétaires et détenteurs ont été utilisées (Figure 1. 4) :

- Une extraction « SIRE-équidé » comportant les données liées à l'identification des équidés (numéro SIRE, numéro de transpondeur, numéro international, date de naissance, date de mort le cas échéant, race, groupe racial, sexe), à celle de son dernier propriétaire connu (nom prénom ou dénomination, commune, date d'enregistrement du lien avec l'équidé), à celle de son éleveur le cas échéant (nom prénom ou dénomination, commune).
- Une extraction « SIRE-détenteur » contenant les informations sur le lieu de détention (date d'ouverture, date de fermeture, commune, nombre d'équidés détenus à l'ouverture) et du détenteur (nom, prénom ou dénomination, commune).

En complément, les données des contrôles de conformité réalisés par les contrôleurs de l'IFCE ont été utilisées pour identifier des lieux de détention supplémentaires et des détenteurs.

Les principales limites des données SIRE sont liées aux défauts de mise à jour des informations concernant les propriétaires (changement d'adresse, de mail, voire, changement de propriétaire), la très forte sous déclaration des lieux de détention d'équidés, mais surtout, l'absence de notification systématique des décès ou leurs notifications très tardives (jusqu'à plusieurs années après).

Ainsi, des données complémentaires sont nécessaires pour valoriser au mieux cette source d'information démographique

1.4.2 L'EDI-SPAN

Depuis 2011, l'EDI-SPAN centralise de manière exhaustive les informations collectées par les différentes sociétés d'équarrissage lors des demandes d'enlèvement d'animaux morts et lors de la réalisation de des enlèvements. Les informations utilisées dans le cadre de la thèse portaient sur l'identité de la personne ayant demandé l'enlèvement (nom, prénom, commune), les conditions d'enlèvements (date, commune du lieu d'enlèvement, passage ou non par l'interface de l'association ATM-équidés-Angee (Animaux Trouvés Mort) pour la déclaration de la mort de l'équidé), et les informations sur l'équidé collecté (sexe, type d'équidé (groupe racial) et identifiant) (Figure 1. 4).

La principale limite de l'EDI-SPAN est un défaut d'enregistrement de l'identifiant des équidés qui limite la traçabilité de ces équidés dans SIRE (Tapprest et al., 2015; Tapprest et al., 2017). L'interface développée par

l'ATM-équidés-Angee (ou ATM) en lien avec l'IFCE permet de déclarer la mort d'un équidé et que cette mort soit directement tracée dans SIRE. Malheureusement, seule une minorité de détenteurs utilise cette interface. Dans les autres cas, il est de plus difficile de savoir avec certitude si le demandeur de l'enlèvement est le détenteur ou le propriétaire ou une autre personne, car cette information n'est pas précisément renseignée. Malgré tout, l'EDI-SPAN est une source précieuse en matière de connaissance démographique et de surveillance de la filière équine, plus particulièrement dans le cadre de son exploitation conjointe avec le SIRE.

1.4.3 Les données des sociétés mères des courses

Le Trot et France Galop gèrent des bases de données qui enregistrent respectivement les trotteurs et les galopeurs en activité. Les entraîneurs ont en effet l'obligation de déclarer chaque cheval présent dans leur effectif, leurs engagements en courses et tous leurs mouvements. En effet, ces données sont nécessaires pour établir la liste des chevaux déclarés partants dans chacune des courses se déroulant sur un hippodrome français, mais surtout, pour réaliser les contrôles anti-dopage à tout instant. Contrôlées de manière très stricte en raison des enjeux liées à l'exactitude et à l'actualisation des informations, ces données permettent ainsi d'identifier des détenteurs (les entraîneurs), des lieux de détention d'équidés et le nombre d'équidés détenus à l'échelle de la commune (Figure 1. 4). Elles représentent donc une source très précieuse d'information, car elles permettent de localiser très précisément à un instant donné près de 15 % de la population équine. Cette source est d'autant plus précieuse que les chevaux de course sont une sous-population à part qui se comporte de manière très différente du reste de la population équine française, notamment en termes de proximité entre l'équidé et son propriétaire. La limite principale de cette source d'information est qu'une fois que les chevaux ne sont plus entraînés et ne courent plus, ils sont perdus de vue, car ils ne sont plus tracés dans ces données.

Les informations utilisées dans le cadre de la thèse étaient l'identifiant du cheval (numéro SIRE), les nom et prénom de l'entraîneur, la commune du lieu d'entraînement, la date d'entrée et éventuellement de sortie du lieu d'entraînement.

1.4.4 Les données d'export

Le système TRACES (Trade Control and Expert System) de l'Union européenne centralise des données sur les mouvements internationaux des équidés (Brendan et al., 2009). TRACES est un réseau informatique à grande échelle (Brendan et al., 2009) enregistrant les contrôles sanitaires lors des mouvements d'importations et exportations d'animaux et produits animaux en Europe. Il permet de notifier tout mouvement d'animaux signalé par un message électronique, du point de départ au point d'arrivée en passant par tout point intermédiaire. Il enregistre ainsi des informations liées à l'animal, à son lieu d'origine et au mouvement lui-même (numéro de référence du certificat, numéro de référence locale, date de déclaration, date et heure du départ, statut du certificat, quantité d'animaux) (Figure 1. 4). Dans le cadre de notre travail, ces données nous ont permis de tracer les équidés exportés et qui n'étaient donc plus sur le territoire à partir de leur numéro

d'identification. Dans ce contexte, ces données ont été considérées comme à jour et fiables et seuls des contrôles de cohérence ont été réalisés.

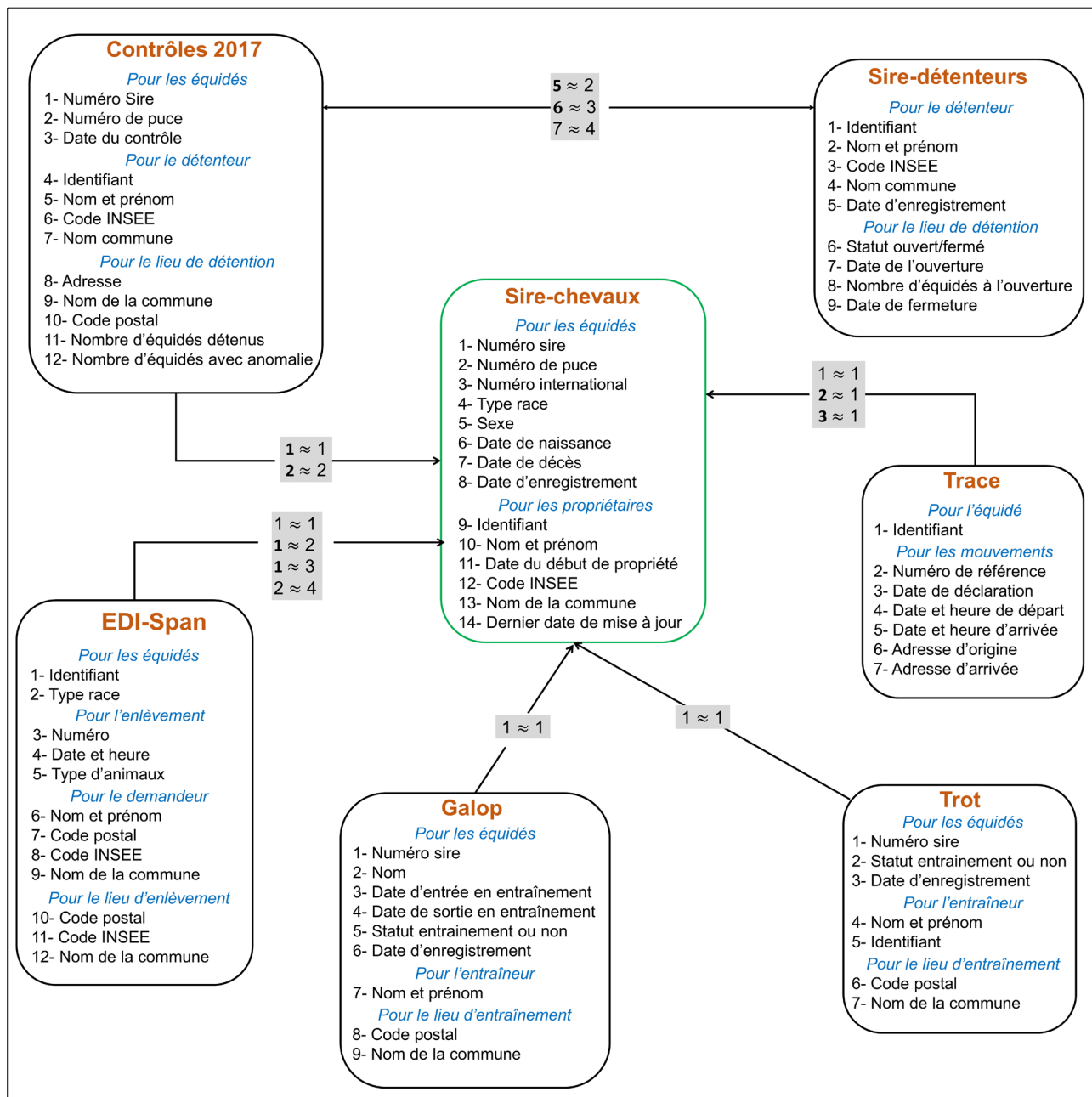


FIGURE 1. 4. Contenu des différentes bases de données (uniquement les informations utilisées, $i \approx j$: les informations notées i et j sont probablement les mêmes)

Compte tenu de la variété des sources de données et de l'absence d'interconnexion entre les bases de données, un important travail de croisement des informations a été réalisé tout au long des différentes étapes de la thèse afin d'extraire un maximum de données de bonne qualité.

1.5 Objectif et hypothèses de travail

Notre travail avait pour objectif d'explorer de nouvelles méthodes permettant d'estimer la taille et la répartition de la population équine françaises en valorisant de manière combinée les différentes sources de données disponibles. Il était également visé de proposer une approche permettant de réévaluer régulièrement ces informations. L'EDI-SPAN étant la source de données la plus précise en termes de localisation des équidés –morts-, et le SIRE la source de données la plus précise en termes de localisation des propriétaires et détenteurs, nous nous sommes posé la question de savoir si l'on pouvait estimer la localisation des équidés vivants à partir de la localisation des équidés morts, mais également de la localisation des propriétaires et des détenteurs. Cette possibilité reposait sur différentes hypothèses permettant d'inférer des résultats partiels observés sur des sous-populations à la population totale des équidés, propriétaires et détenteurs. Sept hypothèses ont ainsi été émises que l'on s'est attaché à vérifier tout au long du travail :

1. La commune de mort d'un équidé est la commune de vie habituelle de cet équidé : les équidés morts sont représentatifs (en termes de localisation) des équidés vivants ;
2. Un équidé mort est remplacé par un équidé vivant, ce qui signifie que la population est constante en ce lieu ;
3. Hormis pour les chevaux de course, un propriétaire non-détenteur, localise son ou ses équidés au(x) même(s) endroit(s) de manière préférentielle : pour un propriétaire ayant plusieurs équidés de même type (loisirs, compétition, ...) : la connaissance de la localisation de l'un de ses équidés (mort ou vivant) indique, avec une certaine probabilité, le ou les lieux de détention de ses autres équidés (information sur la localisation des chevaux à partir des propriétaires) ;
4. Hormis les chevaux de course, des propriétaires habitant dans des zones proches (notion de proximité à définir) auront le même comportement pour localiser leurs équidés de même type : la (les) localisation(s) d'un des équidés (morts ou vivants) de ces propriétaires renseigne sur la (les) localisation(s) des équidés vivants de l'ensemble des propriétaires habitant dans la zone ;
5. Un détenteur gardera le(s) même(s) type(s) d'équidés au cours du temps : le type d'équidé (mort ou vivant) renseignera sur le type d'équidés détenus par le détenteur sur ce lieu ;
6. Un propriétaire déclarant un équidé déclare tous les équidés qu'il possède ;
7. Pour les chevaux de course, la localisation du cheval dépend de son potentiel ou de ses performances et non pas de la localisation du propriétaire.

Afin d'évaluer la pertinence a priori de ces hypothèses, celles-ci ont été discutées avec les différents acteurs de la filière en début de th

Partie 2. Évaluation de la taille de la population équine vivante

Si l'enregistrement des équidés dans SIRE est quasi exhaustif, il n'est actuellement pas possible de connaître le nombre réel d'équidés présents sur le territoire français par un simple comptage des données brutes du SIRE. En effet, la notification du décès des animaux est très peu effectuée par les particuliers, soit par ignorance de la réglementation et du processus de déclaration, soit pour des raisons émotionnelles (Merlin et al., 2020). Par ailleurs, la « sortie » des équidés du SIRE est complexifiée par le fait que les bases de données enregistrant les équidés morts ou exportés (EDI-SPAN, TRACES) ne sont pas connectées entre elles. Enfin, mais surtout, l'enregistrement de la mort d'un équidé dans SIRE se fait actuellement par retour du livret d'identification et invalidation de celui-ci, or le retour des livrets, soit ne se fait pas (attachement émotionnel des propriétaires à celui-ci), soit se fait avec retard (circuit des livrets variable) (Merlin et al., 2020). Des pistes de réflexion sont cependant en cours pour améliorer les notifications des équidés morts dans le SIRE.

Si la meilleure façon de mesurer la taille d'une population dans une zone donnée est de recenser tous les individus présents dans la zone d'étude (comptage total), cette méthode est rarement utilisée pour des raisons de moyens dès que la zone d'étude devient importante, -ce qui était notre cas-, ou que l'espèce à compter est mobile (Newell, 1988; SARPO, 2004). Aussi, des méthodes de comptages partiels dans l'espace et le temps et d'inférence associée ont été développées. Les approches de type « transects », par exemple, consistent à définir des zones de comptage (bande d'une certaine largeur ou ligne) et à y compter tous les individus qui s'y trouvent. Les densités estimées sont ensuite utilisées pour extrapoler aux zones non couvertes et estimer la population totale. Il est nécessaire que tous les individus de la zone soient détectés ou que la proportion d'individus manqués soit correctement estimée, ce qui limite en général la taille de la zone. D'autre part, les mouvements des individus doivent être lents par rapport à celui des observateurs et les distances doivent être mesurées sans erreur (Borchers et al., 2002; Buckland et al., 2004; Buckland et al., 2001; Buckland et al., 2015; Glennie et al., 2015; Hedley and Buckland, 2004; Thomas et al., 2010). Dans le cas du recensement des équidés, il n'était pas possible de recomposer des transects à partir des sources de données, car nous ne disposions pas de zones dans lesquelles le nombre d'équidés vivants était connu de manière précise.

Les méthodes de capture-marquage-recapture sont une autre approche. Ces méthodes, initialement développées dans les domaines de la géographie pour estimer la taille de la population humaine (Cochran, 1978; Stigler, 1986), sont très utilisées en écologie pour estimer la taille des populations sauvages ainsi que leurs paramètres dynamiques (Chao, 2001; Patersen, 1896; Seber, 1965; Zoe, 1938), mais également en épidémiologie (Conn and Cooch, 2009; Keeling and Rohani, 2008; Rossi et al., 2011), et en santé publique (Hest, 2007; Hook and Regal, 1995). La technique repose, comme son nom l'indique, sur la capture de n_1 animaux de la population, leur marquage avant de les relâcher, puis d'une nouvelle action de capture de n_2 animaux un peu plus tard, dans la même population. Selon le nombre r d'individus marqués et re-

capturés, à partir de la connaissance de n_1 , n_2 , r , une estimation de la taille réelle de la population (N) est fournie par la formule $N = (n_1 \times n_2)/r$. Cette approche suppose que le rapport entre la population réelle (N) et la taille de l'échantillon (n_1) est le même que le rapport entre le nombre d'animaux marqués à la deuxième capture (n_2) et le nombre d'animaux marqués et re-capturés (r). Elle nécessite que la population soit fermée (pas d'immigration ni émigration), que le temps entre les captures soit court comparé à la durée de vie des individus et que les individus marqués se mélangent complètement avec le reste de la population pendant la période entre les deux échantillons. Dans cet état d'esprit, avec l'informatisation des données, les approches unilistes et multilistes ont vu le jour. Dans les approches multilistes, l'estimation de la population manquante repose sur le croisement de différentes sources de données (équivalent de différentes captures) et l'identification des doublons dans ces sources (l'équivalent des individus marqués lors du premier capture et recapturés). À partir du nombre d'individus dans les différentes sources et du nombre de doublons, on peut estimer la taille de la population totale. En présence d'une seule source de données ou si les individus ne peuvent être retrouvés dans plusieurs sources, l'approche uniliste peut être utilisée. Cette approche se focalise sur la fréquence de détection, c'est-à-dire le nombre de fois où l'individu est apparu dans la source. Cependant, dans les deux approches, les hypothèses de population fermée, d'homogénéité entre les individus (les individus présentent la même probabilité d'inclusion pour toutes les listes) et d'indépendance locale des sources (la probabilité d'inclusion d'un individu dans une liste est statistiquement indépendante de la probabilité d'inclusion dans l'autre liste) doivent être satisfaites. Ces hypothèses de travail n'étaient pas satisfaites dans notre cas : les différentes sources de données disponibles étaient soit dépendantes, soit ne satisfaisaient pas l'hypothèse d'homogénéité. En effet, les bases de données des galopeurs, des trotteurs, d'import/export et des équarrisseurs sont toutes dépendantes de la base SIRE. Pour les bases de données qui peuvent être indépendantes, les bases du Galop et du Trot par exemple, aucun équidé ne peut appartenir à ces deux bases de données puisque l'enregistrement d'un équidé dans l'une ou l'autre est dépendante de sa race : Pur-sang ou AQPS pour la base du Galop, Trotteur Français pour la base du Trot.

Actuellement, la taille de la population équine française est issue d'une estimation annuelle réalisée par l'IFCE ([Ecus-Ifce](#)). La méthode repose sur la combinaison de plusieurs sources de données (SIRE, EDI-SPAN, TRACES), d'estimations de la survie des animaux et le suivi de la pose des transpondeurs ([IFCE, 2019](#)). Après exclusion des équidés exportés, pour chaque équidé identifié électroniquement, la probabilité qu'il soit encore en vie à la date d'estimation est calculé à partir d'une estimation de la survie. À ces équidés identifiés électroniquement supposés vivants, est ajouté un nombre d'équidés non identifiés issus d'une estimation de la proportion d'équidés échappant à l'identification. Le nombre d'équidés présents en France en 2019 était ainsi estimé à 1 051 000, en légère baisse par rapport à 2016 ([IFCE, 2019](#)). Cette tendance à la baisse, observée depuis 2012, est due à une baisse de naissances (diminution de -22 % entre 2009 et 2018) et des importations (-18 % entre 2012-2018) ([Figure 2. 1](#)).

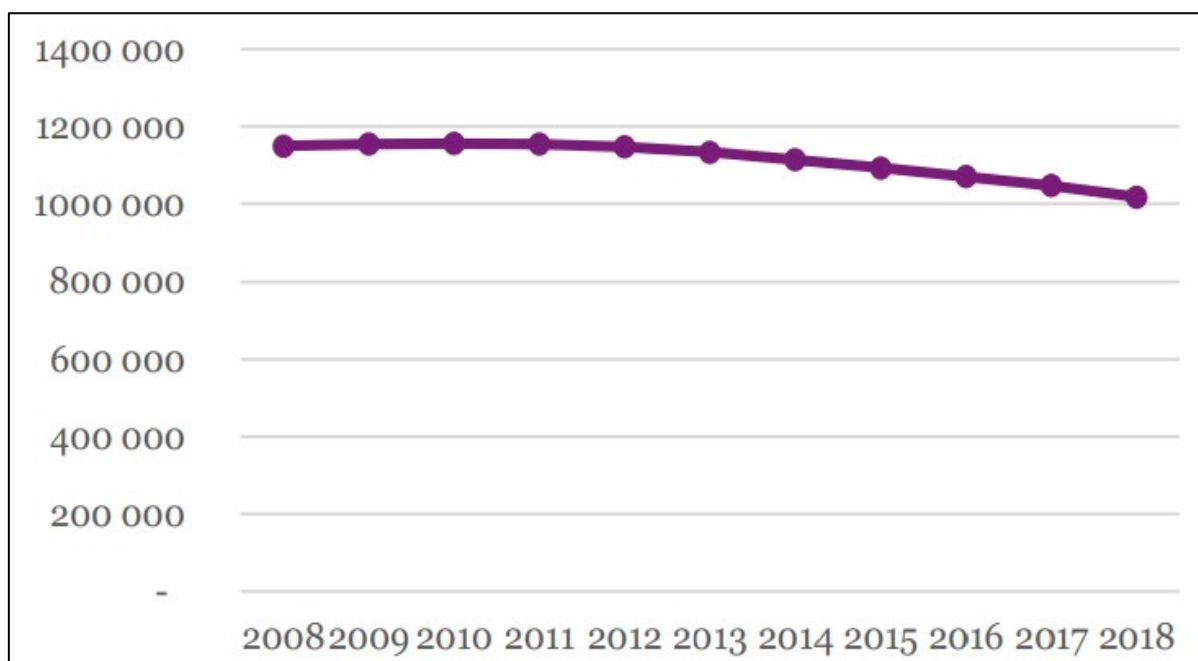


FIGURE 2.1. Évolution des estimations de la population totale d'équidés réalisé par l'IFCE (source IFCE-OESC)

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail était d'évaluer s'il était possible d'obtenir une meilleure estimation de la taille de la population équine en combinant différemment les sources de données et les informations. Le principe général était de calculer les taux de mortalité à chaque âge et de les appliquer à une population d'équidés morts pour estimer la population sous-jacente des équidés vivants (pour X animaux morts, combien d'équidés vivants sont présents). Deux méthodes de calcul des taux de mortalité ont été explorées : une approche par étude des cohortes de naissances, et une approche par calcul des courbes de survie. Les résultats obtenus ont été comparés et discutés au regard des estimations réalisées par l'IFCE.

2.1 Matériels et méthodes

2.1.1 Données

Les principales sources de données utilisées étaient le SIRE et l'EDI-SPAN. Toutefois, d'autres bases complémentaires ont été utilisées pour améliorer les résultats : des informations sur les naissances enregistrées dans SIRE entre 2017 et 2018, la base TRACES entre 2015 et 2019, les données des contrôles effectués par l'IFCE en 2017 et les données de la double enquête nationale réalisée en 2019 auprès des propriétaires et détenteurs d'équidés ([Annexe I, P.111](#)).

2.1.2 Calcul des taux de mortalité

Calcul via un suivi de cohortes à partir du SIRE

Afin de constituer les cohortes de naissances, une extraction, en date de fin mars 2019, de la base des données SIRE incluant 3 031 446 équidés a été utilisée. Dans cette extraction, 75,16 % des équidés avaient une date de

naissance renseignée, et ont contribué la constitution des cohortes de naissances C avec $\aleph_c$ le nombre total de cohortes. Chaque cohorte a été suivie d'une année à l'autre et le nombre d'équidés morts (m_i) à chaque âge i ($i > 2$ ans) a été calculé. N'ayant pas de données suffisantes pour les équidés de moins de deux ans, le taux de mortalité de cette classe d'âge (τ_p) a été estimé en utilisant la moyenne des taux disponibles dans la littérature (Galvin and Corley, 2010; Haas et al., 1996; Morley and Townsend, 1997; Tapprest et al., 2017). Pour les adultes, le taux de mortalité (τ_i) à l'âge i a été calculé comme le rapport entre m_i et le nombre d'équidés de la cohorte ayant vécu jusqu'à l'âge $i - 1$ (n_{i-1}) : $\tau_i = m_i/n_{i-1}$. Le taux de mortalité global à l'âge i a été obtenu en calculant la moyenne des taux à l'âge i sur toutes les cohortes ($M(\tau_i)$).

$$M(\tau_i) = \frac{1}{\aleph_c} \sum_{\aleph_c} \tau_i \quad (\text{eq. 2.1})$$

Différentes séries de cohortes de naissances ont été utilisées, pour calculer les taux de mortalité :

- 1) Les cohortes de naissances de 1969 à 2018 en incluant les équidés pour lesquels la date de naissance était renseignée,
- 2) Les cohortes de naissances de 1985 à 2016 pour lesquelles le nombre de naissances ainsi que la distribution du sexe, de l'âge et du type d'équidés étaient assez stables dans le temps indiquant une représentativité correcte de ces cohortes,
- 3) Les cohortes de naissances de 1985 à 2016 en excluant les équidés pour lesquels la date de naissance avait été estimée au moment de l'identification de l'animal (estimation à 5 ans près).

La Figure 2. 2 ci-dessous représente de manière schématique le processus utilisé

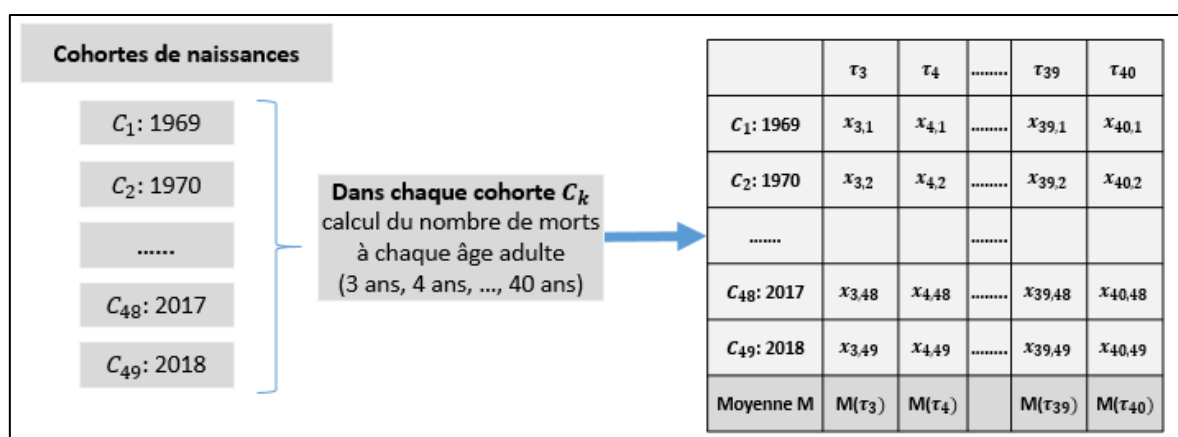


FIGURE 2. 2. Illustration du calcul des taux de mortalité à partir des cohortes de naissances

Calcul via les courbes de survies obtenues à partir des données EDI-SPAN

Une extraction de 112 978 équidés équarris enregistrés dans EDI-SPAN entre 2016 et 2018 a été croisée avec SIRE afin de récupérer la date de naissance et le type des équidés équarris, l'EDI-SPAN ne collectant pas ces informations (Tapprest et al., 2017). Parmi les 42,62 % équidés équarris traçables dans SIRE, 31,33 % avaient

une date de naissance renseignée et valide. Comme pour l'approche par cohorte de naissances, n'ayant pas de données suffisantes pour les poulains équarris (moins de deux ans) les taux de mortalité avant 2 ans d'âge ont été estimés à partir de la littérature. Au final, 33 072 (29,27 %) équidés adultes (> 2 ans) ont participé au calcul de la survie en utilisant la méthode de Kaplan-Meier (Kaplan and Meier, 1958) pour chaque type d'équidés (poney, selle, trait, âne).

Soit i la durée de survie d'un individu (dans notre cas correspond à l'âge à la mort), d_i = nombre d'individus décédant dans l'intervalle $[i - 1, i [$ et N_i = nombre d'individus connus vivants à l'âge i , le taux de mortalité à l'âge i était donné par :

$$\xi_i = 1 - S(i) \quad (\text{eq. 2.2})$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} S(i) = S(i - 1) * S(i/(i - 1)) \\ \text{Avec} \\ S(0) = 1 \\ S(i/(i - 1)) = 1 - \frac{d_i}{N_i} \end{array} \right.$$

La Figure 2. 3 suivante représente de manière schématique le processus utilisé pour obtenir les courbes de survie.

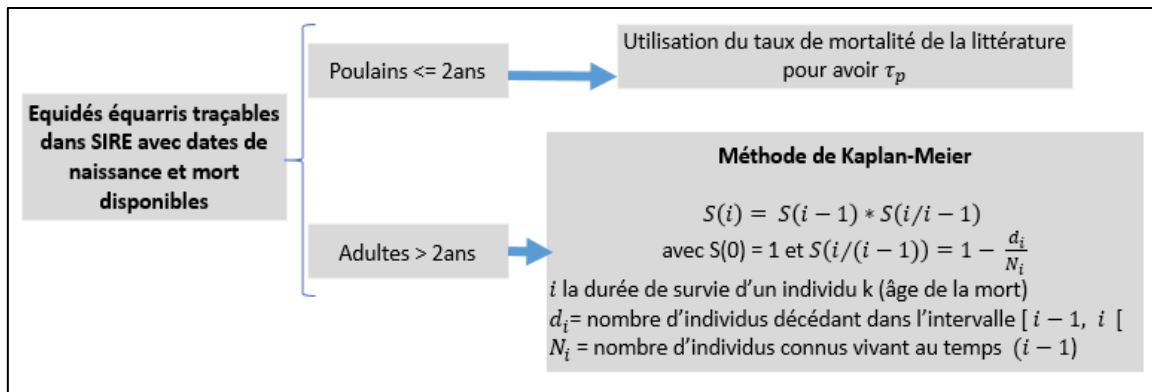


FIGURE 2. 3. Illustration du calcul des taux de mortalité à partir des survies

2.1.3 Estimations de la taille de la population

Pour estimer la taille de la population, les taux de mortalité précédemment calculés ont été appliqués aux 39 823 (49,3 %) équidés équarris en 2018 extraits de l'EDI-SPAN pour lesquels la date de naissance et le type ont pu être retrouvés suite au croisement avec SIRE. Cet échantillon était composé de 90,5 % d'équidés adultes ($n = 36\,029$) et 9,5 % de poulains ($np = 3\,794$). Nous avons supposé que les équidés équarris non-identifiables dans SIRE avaient les mêmes distributions que ceux traçables. Pour les poulains, le nombre de poulains supposés vivants sous-jacents a été obtenu en utilisant l'équation suivante :

$$N_p = \frac{np}{\tau_p} \quad (eq. 2.3)$$

Pour les adultes, le nombre d'équidés sous-jacents d'âge i était donné par :

$$N_i = \frac{\text{nombre de morts à l'âge } i}{\text{taux de mortalité à l'âge } i} \quad (eq. 2.4)$$

Estimations via les taux calculés à partir des cohortes

En utilisant les taux obtenus via l'étude de cohortes de naissances (eq.2.1) dans l'équation (eq.2.4) le nombre d'équidés sous-jacents ayant l'âge i , était donc donné par :

$$N_i = \frac{\text{nombre de morts à l'âge } i}{M(\tau_i)} \quad (eq. 2.5)$$

et nombre total d'équidés $\mathcal{N}$ donné par:

$$\mathcal{N} = \sum_{i=1}^{40} N_i + N_p$$

Une amélioration des résultats a été réalisée. En effet, étant donné la non-notification et la notification tardive de la mort des équidés à l'IFCE, un croisement de la base SIRE et EDI-SPAN a été réalisé pour corriger les dates et le nombre de morts dans SIRE. On a fait de même avec les données de la double enquête, puisque certains équidés sont déclarés morts dans la double enquête sans être notifiés à l'IFCE.

Estimations via les taux calculés à partir de la survie

En utilisant l'étude de survie pour estimer la population, trois approches différentes ont été comparées :

- Une méthode directe en remplaçant le taux obtenu via l'équation (eq.2.2) dans l'équation (eq.2.4) pour estimer le nombre d'équidés sous-jacents d'âge i :

$$N_i = \frac{\text{nombre de morts à l'âge } i}{\xi_i} \quad (eq. 2.6)$$

Ainsi, le nombre total d'équidés $\mathcal{N}$ est donné par la somme suivante :

$$\mathcal{N} = \sum_{i=1}^{40} N_i + N_p$$

- Une approche faisant l'hypothèse qu'un équidé mort était associé à $N_i = S(i) * 100$ équidés (adultes et poulains) vivants sous-jacents de sorte que le nombre total d'équidés $\mathcal{N}$ est :

$$\mathcal{N} = \sum_{i=1}^{40} N_i$$

- La même hypothèse que précédemment, mais en prenant en compte différemment les équidés de 2 ans lors du calcul des survies de sorte que le nombre total d'équidés $\mathcal{N}$ est :

$$\mathcal{N} = \sum_{i=1}^{40} N_i + N_p$$

La Figure 2. 4 ci-dessous représente de manière schématique le processus utilisé.

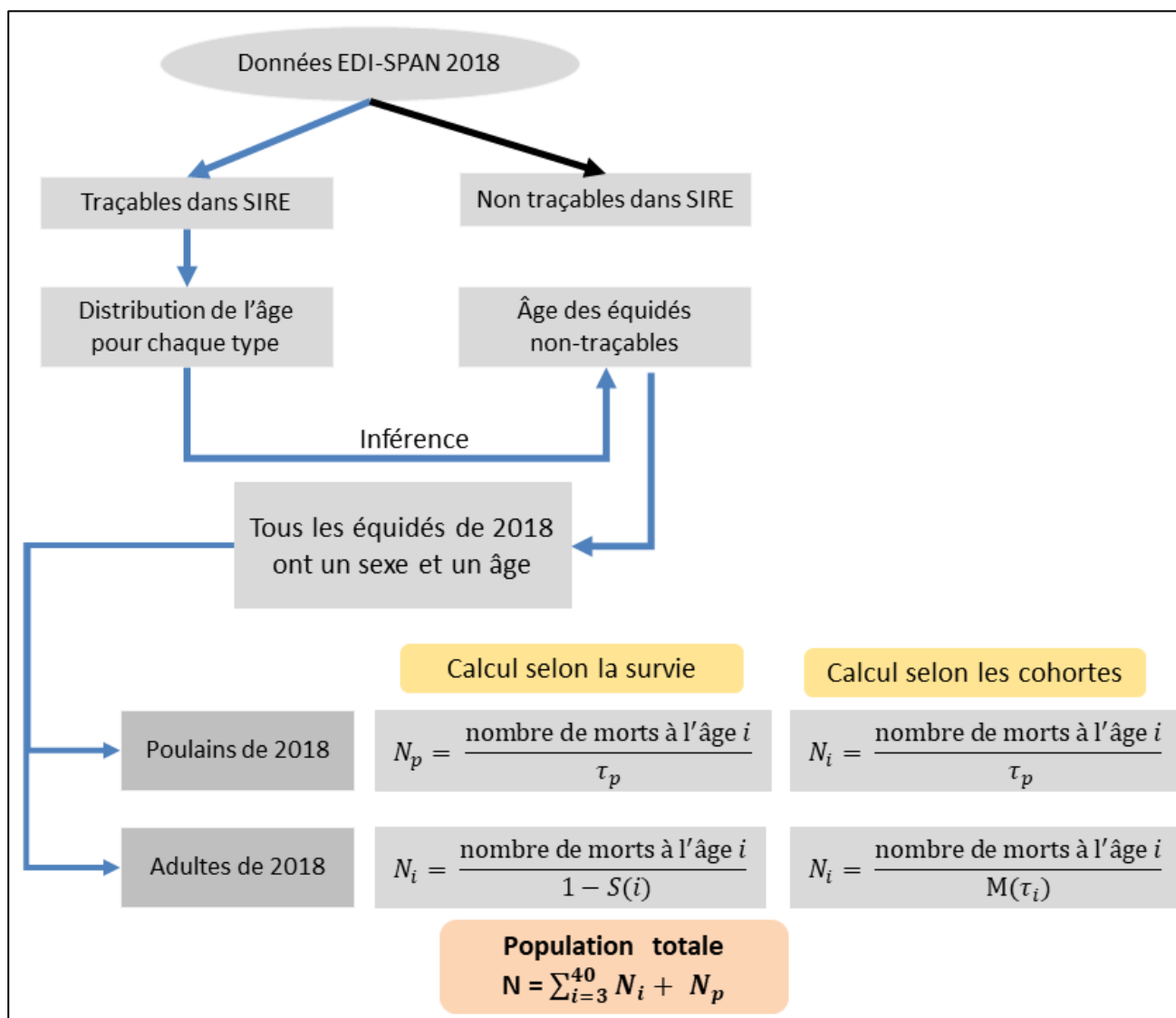


FIGURE 2. 4. Illustration pour le calcul du nombre d'équidés

2.2 Résultats et discussion

Le nombre total d'équidés estimé via les taux calculés à partir des cohortes de naissances variait de 1 215 608 à 1 763 294 équidés (Table 2. 1). Ainsi, quelle que soit la série de cohortes utilisée pour le calcul du taux de

Partie 2. Evaluation de la taille de la population équine vivante

mortalité, les résultats obtenus étaient bien supérieurs à ceux estimés par l'IFCE (Figure 2. 1). Les corrections des estimations en prenant en compte les non-déclarations ou déclarations tardives des équidés morts dans SIRE n'ont pas donné de résultats satisfaisants non plus, soit que la surestimation était toujours présente, soit qu'une forte sous-estimation était obtenue (Table 2. 1).

Concernant les estimations réalisées via l'étude de survie, la méthode directe a fourni une forte sous-estimation de la population (182 341 équidés) et les deux autres approches une surestimation importante (la taille oscille entre 1 612 032 et 1 707 073) (Table 2. 2).

TABLE 2. 1. Estimation du nombre d'équidés vivants en France à partir de l'estimation des taux de mortalité via l'études de cohortes de naissances

	Cohortes 1969 à 2018	Cohortes de 1985 à 2016	Cohortes de 1985 à 2016 sans les équidés dont la date de naissance est estimée
Types d'équidé	n	N	n
Poney et selle	1 584 902	1 074 639	1 093 314
Trait	112 796	82 939	82 913
Ane	30 831	23 264	23 406
Moins de 2ans	34 765	34 765	34 765
Population totale estimée $\mathcal{N}$	1 763 294	1 215 608	1 234 398
Après correction			
Poney et selle	1 100 883	740 555	754 754
Trait	80 413	58 749	59 038
Ane	22 253	23 264	16 731
Moins de 2ans	34 765	34 765	34 765
Population totale estimée $\mathcal{N}$	1 238 314	861 634	865 288

TABLE 2. 2. Estimation du nombre d'équidés vivants en France à partir de l'estimation des taux de mortalité via l'étude de survie

	méthode direct	un équidé mort est associé à $S(i)*100$ équidés sous-jacents.	un équidé mort est associé à $S(i)*100$ équidés sous-jacent et séparation des poulains
Types d'équidés	n	N	n
Poney et selle	129 820	1 438 860	1 355 403
Trait	8 498	93 012	88617
Ane	9 258	133 796	126607
Moins de 2ans	34 765	41405	41405
Population totale estimée $\mathcal{N}$	182 341	1 707 073	1 612 032

Ces résultats peuvent être expliqués par la qualité insuffisante des données et/ou des informations insuffisantes.

En effet, pour l'étude de cohorte, près de 25 % des équidés enregistrés dans SIRE n'avaient pas de date de naissance connue ou connue avec certitude, ce qui a pu biaiser le calcul des taux de mortalité par âge. D'autre

part, pour les équidés dont la date de naissance était le 31 décembre ou le 1 janvier de l'année, il a été difficile de savoir avec certitude si cette date avait été attribuée de façon aléatoire ou non. En outre, la non-notification et la notification tardive de la mort des équidés, ont pu induire des biais conséquents à ces estimations, la date de mort enregistrée pouvant être très éloignée de la date réelle (plusieurs années de différence). L'exploitation conjointe du SIRE et de l'EDI-SPAN n'a malheureusement pas permis de pallier ces biais, en raison du défaut d'identification des équidés équarris de EDI-SPAN (Tapprest et al., 2015; Tapprest et al., 2017) et d'où l'impossibilité de réaffecter, dans SIRE, une date de mort correcte aux équidés. Concernant l'étude de survie, en l'absence d'une date de naissance dans EDI-SPAN seules les données traçables dans SIRE ont participé à l'étude. Ceci a pu induire un biais, du fait qu'on supposait, dans ce cas, que la survie des équidés morts traçables dans SIRE était représentative de celle de tous les équidés morts.

Concernant les données auxquelles les taux de mortalité ont été appliqués : pour obtenir la population sous-jacente (équidés morts dans SPAN au cours de l'année 2018), on a supposé que l'âge et le type se distribuaient de la même façon pour les équidés traçables dans SIRE et pour les équidés non-traçables. Ceci a pu fortement biaiser les âges des équidés et les estimations par type, le comportement des propriétaires (mise à disposition du livret, fourniture de l'identifiant de l'animal) pouvant être très différent selon le type d'équidés par exemple (âne versus cheval de selle) et le nombre d'équidés détenus (professionnel versus particulier). D'autre part, les taux de mortalité des poulains de la littérature utilisée, sont vraisemblablement biaisés du fait qu'ils ne concernent que des sous-populations à partir desquelles on ne peut pas forcément inférer à notre population de poulains.

La très forte sous-estimation de la population obtenue par la méthode directe en utilisant la survie, nous permet de conclure que la survie des équidés morts ne peut pas être inversée directement pour obtenir le nombre d'équidés vivants sous-jacents.

Par ailleurs, pour les deux méthodes associant à un équidé mort un nombre d'équidés vivants, le choix du nombre a été arbitraire. Cependant, en faisant varier le nombre sous-jacent, la valeur de 100 a été celle qui a permis d'obtenir des valeurs de population totale, certes surestimées, mais un peu proche des estimations de l'IFCE.

2.3 Conclusion

Les vrais taux de mortalité en population « normale » sont très difficiles à connaître. La plupart des chiffres disponibles dans la littérature concernent des sous-populations particulières en raison de leur état de santé, de leur usage et de leur localisation (Egenvall et al., 2006; Giles et al., 1993; Johnson et al., 1994; Kaneene et al., 1997a; Kaneene et al., 1997b; Leblond et al., 2001; Leblond et al., 2000; Lindner and Offene, 1992; Tapprest et al., 2017).

Lors du comité de pilotage de thèse, réunissant des acteurs de la filière et/ou des chercheurs, des recommandations et des remarques, telles que la complémentarité avec d'autres jeux de données (données

de naissances, d'import-export, des contrôles effectués par l'IFCE), la révision de la démarche ainsi que l'employabilité des méthodes d'estimations ont été faites. Malgré leur prise en compte, les résultats sont restés non concluants du fait de la complexité à définir le trajet d'un équidé de sa naissance à sa mort et surtout des limites de chaque source de données utilisée. L'amélioration de ces estimations est ainsi tributaire de l'amélioration de la qualité, mais surtout de la complétude, des données du SIRE et de l'EDI-SPAN. Nos résultats éclairent sur la difficulté à faire de la modélisation en général avec des données et/ou informations de qualité insuffisante, en particulier à estimer la taille d'une population. Ils montrent également l'importance de posséder des données de meilleure qualité

Partie 3. Évaluation de la qualité des données SIRE

3.1 Préambule

L'ensemble de notre travail reposait sur l'exploitation conjointe des différentes sources de données disponibles de la filière équine et sur des hypothèses de travail assez fortes (cf Partie 1, paragraphe 1.5), permettant i) d'inférer les résultats obtenus sur un échantillon de propriétaires et d'équidés au sein de la population des propriétaires et des équidés vivants, mais également ii) d'inférer des résultats obtenus à partir d'une population [de propriétaires] d'équidés morts à l'ensemble de la population [de propriétaires] d'équidés vivants. De telles hypothèses nécessitaient d'identifier les biais potentiels liés à la qualité et l'exhaustivité des données utilisées.

Les données des sociétés mères des courses, de TRACES et les données de contrôle de l'IFCE ne représentent qu'une partie de la population, mais elles sont reconnues comme des sources d'information d'excellente qualité de par les enjeux qui accompagnent la collecte de ces données.

A contrario, si les données du SIRE et de l'EDI-SPAN sont les plus exhaustives, leur qualité n'est pas parfaite. Les évaluations antérieures de la qualité de l'EDI-SPAN ont montré des défauts ou imprécisions d'enregistrement des identifiants des animaux et une catégorisation des équidés parfois peu précise ([Tapprest et al., 2015](#); [Tapprest et al., 2017](#)). Néanmoins, les informations concernant les lieux de collecte des équidés sont d'excellente qualité pour des raisons liées à la gestion des tournées d'enlèvements.

Concernant SIRE, les différentes évaluations réalisées par l'IFCE et son observatoire économique ont montré des défauts d'exhaustivité, certains équidés n'étant pas identifiés, mais surtout des défauts de mise à jour des informations concernant les propriétaires (changement de propriété, changement d'adresse) et la très forte sous-notification des lieux de détention ([Dornier, 2010](#); [IFCE, 2015b](#)). Si ces défauts sont mineurs dans le cadre de la gestion, ils pouvaient avoir un impact important dans notre travail en raison des hypothèses avancées et de la méthodologie prévue pour estimer les densités locales d'équidés à savoir que la localisation d'un propriétaire permet de connaître celle de ses équidés. Il était donc important de vérifier si les données des propriétaires et des détenteurs (commune de résidence, déclaration de l'ensemble des équidés, déclaration du lieu de détention) étaient à jour dans SIRE.

Ainsi, en collaboration avec l'IFCE, une double enquête nationale télématique a été menée auprès des propriétaires et des détenteurs d'équidés enregistrés dans SIRE et ayant donné leur accord pour être contactés par mail. Les informations fournies lors de ces enquêtes ont été confrontées à celles enregistrées dans SIRE pour réaliser un état des lieux de la qualité des données

3.2 Is the French SIRE equine information system a good basis for epidemiological and modelling research? Quality assessment using two surveys

Abstract

Accurate demographic knowledge of the equine population is needed to assess and model equine health events. In France, the main source of such data is the SIRE database. It records individual data on all declared equines living in France and on their owners and keepers. Our study aimed to assess SIRE database quality to determine potential bias due to irregular updating of this information by equine owners and keepers with a view to its use in statistical and modelling approaches. Two online surveys were conducted with the participation of 6,244 registered keepers and 13,869 owners. Results showed some inconsistencies between SIRE records and survey responses. The inconsistency rate for equines whose castration and death were not registered in the database was 28.7% and 5.9% respectively. Concerning owners, 11% of respondents did not own the reference equine selected considered by the survey, 33% had changed address without updating it in the SIRE. Concerning premises hosting equines, the keeper survey's inconsistency rate was 7.3%, of which 57 respondents had closed and 32 had opened premises without reporting it. Comparatively, the owner survey's inconsistency rate was 40.7% including respondents who owned and hosted an equine without reporting these equine premises, and owners who did not keep any equines on their premises. In conclusion, the general quality of the SIRE database is satisfactory despite some shortcomings. It proved to be a valuable and reliable source for epidemiological research and studies, particularly statistical and modelling approaches as long as some bias is taken into account.

Keywords: Equine, Keeper, Owner, Data quality, Epidemiology, Traceability

3.3 Introduction

The absence of reliable and complete data on the equine population can have significant economic and health consequences, especially in the event of a rapidly-spreading epizootic. The example of the equine influenza epidemic in Australia in 2007, when nearly 4,500 premises hosting equines were infected in less than two months (Brendan et al., 2009; Callinan, 2007) has shown the importance of knowing the location of equines in order to control disease (Garner et al., 2010). Demographic data are also needed for research, in particular for modelling the spread of diseases, evaluating control measures and quantifying economic consequences (Lo Iacono et al., 2013; Robin et al., 2012). However, in most countries, demographic knowledge of the equine population is limited. In fact, the equine sector is divided into several sub-sectors managed by different organizations with multiple separate databases. It also includes various types of equines (for sport, work, leisure, hire, etc.) and mixes individuals and professionals with a different status (owner/keeper/owner-keeper). This leads to difficulties in comprehension but also in complying with regulations on the traceability of equines, especially since the legal liabilities of keepers and owners differ according to whether the

regulations are European or national. European regulations define the “keeper” as any natural or legal person who is in possession of an equine or is responsible for providing for its maintenance, whether or not for a fee, and whether it is under their responsibility on a permanent or temporary basis. This includes during its transport, at a market or during competitions, races or cultural events. The “owner” is the natural legal person(s) who owns the equine ([Anonyme, 2015](#)). European regulations impose all traceability obligations on the keeper, whereas French regulations place the onus of traceability on the owner. European keepers are thus responsible for applying to the competent authorities to identify an equine, while in France, owners can also apply. Similarly, when the equine dies (except at slaughter), European keepers must return the identification document (passport) to the competent authorities within 30 days of the animal’s death, while French owners are asked to return it, the important point being that the passport is invalidated by the competent authority to avoid any fraudulent use and update traceability database. To complete the traceability system, European regulations require that equine identification information must be recorded in a national central database.

In France, this central database is known as “SIRE” from the French acronym for equine-related information system. It was created in 1976 and is managed by the French horse and riding institute (IFCE). The SIRE database records information on equines in France (unique SIRE identification number, microchip number, date of birth, sex and breed, date of death) whose owners (95%) have complied with regulations ([Dornier, 2010](#); [IFCE, 2015b](#)). This declarative collection of information is mandatory. It also records information on “equine premises”, where equines are kept, because French regulations require keepers to notify the authorities of the opening and/or closing of such premises (Article R215-14 of the French Rural Code). The SIRE database also records contact information for both owners and keepers (address, email, etc.). The IFCE must be notified of any change in information concerning equines (such as castration or a change in ownership), owners or keepers (contact information) so it can update the SIRE database. However, owners and keepers do not systematically comply with these regulations, or take a long time to do so, which means that some of the information in the database is incomplete or not up to date. The IFCE carries out annual communication campaigns targeting owners and keepers in order to encourage them to update information (through emails to all keepers in the database, web news, and Facebook posts), but their impact remains limited.

As the SIRE database is the major source of demographic information for epidemiological research and studies managing health events in France, it is important to evaluate its quality to determine any bias in the use of information recoded therein for statistical and modelling approaches. Until now, no major survey has ever been carried out to evaluate the global quality of the SIRE database. The aim of our study was to assess the quality of information of potential interest for epidemiology and modelling by comparing the information obtained from two online surveys—one targeting owners and the other, keepers—with that registered in the SIRE database.

3.4 Materials and Methods

3.4.1 Data sources and sample selection

The SIRE database was consulted in December 2018 to select owners and keepers having filled in their email address and specified their agreement to be contacted in this way.

The 6,404 keepers meeting these criteria were included in the keeper survey. This corresponded to 8.4% of the 76,501 keepers who had declared one or more equine premises, regardless of the premises' status (open or closed) or the date of registration. Similarly, the owner survey included the 13,869 contactable owners, representing 1.9% of the 737,789 owners known as the last owner of at least one equine recorded in the SIRE database. The 4,400 people registered as both owner and keeper received both questionnaires.

As an owner could have several equines in the database, we selected a single equine for each owner (subsequently referred to as the "reference equine"). This simplified the questionnaire, thus encouraging responses, while providing us with additional information on one specific equine. The reference equine was selected as follows:

- If the owner had only one equine registered in the SIRE database, this was the reference equine, regardless of its status (dead or alive);
- If the owner had several equines, all of which were alive, the reference equine was randomly selected among them;
- If the owner had several equines all registered as dead, the equine that had died most recently was selected to limit memory bias;
- If the owner had several equines of different statuses (alive or dead), the reference equine was randomly selected among the live equines.

Two SIRE datasets were used to evaluate the quality of data:

- The "equine premises" dataset that has been used since 2006 to register the identification number of the keeper, the location(s) of the equine premises including the *commune* (smallest French administrative unit), the *commune's* INSEE code (unique identification number) and the date the premises were opened and closed (if applicable).
- The "equine owner" dataset that contains the information on equines registered in the SIRE database since 1977 (SIRE number, sex, breed, date of birth, date of death declaration (if relevant)), in addition to information concerning the last known owner (SIRE identifying number, INSEE *commune* code for the owner's residence, date on which the equine owner became its owner, and date on which information was last updated).

3.4.2 Data collection and analysis

The questionnaires were designed with Sphinx iQ2® software to collect information needed to evaluate how up-to-date the information on owners and keepers recorded in the SIRE database actually was, and the degree of compliance of declarations of changes in the status of equines (castration, death) which must be declared by owners or keepers. The owner survey focused on information on the owner (*commune* of residence, equine ownership and whether the owner was also a keeper) and on the reference equine (dead/alive, gender, date of death if relevant). The keeper survey aimed to characterize the keeper and the premises on which the equine was kept, including whether or not these premises had been declared.

The emails were sent by the IFCE. Each recipient was given a unique identification code that was used to link survey responses to SIRE information. This code was the first item to be filled in on the questionnaires. For owners, the email also specified the name and identification number of the reference equine in order to facilitate its identification by the owner. Owners who were also registered as keepers were surveyed twice independently. The surveys were initiated in March 2019 and ended in August 2019 with two follow-ups in May and July. The surveys fully complied with the General Data Protection Regulations.

The responses were extracted, processed and analysed with R software version 3.6.1 (Rstudio, 2019). Associations between two qualitative variables were tested using the Pearson's Chi squared test. The Wilcoxon test was used to compare the means of two distributions, with an error threshold set at 0.05.

3.5 Results and Discussion

3.5.1 Response rates

By the survey closing date, we had received 2,925 owner and 1,243 keeper questionnaires (Table 3. 1). Of these, 14 keeper and 87 owner questionnaires were excluded because the identification code was erroneous, making it impossible to check against the SIRE information. Furthermore, 12 keeper and 35 owner questionnaires were duplicates and finally 37 owners and 8 keepers returned incomplete answers by email without completing the questionnaires, so the responses could not contribute to all parts of the analysis. Of the 4,400 people to whom we sent both questionnaires, 923 answered only the owner survey, 826 answered only the keeper survey, and only 495 answered both. After exclusion and deduplication, there were 1,217 exploitable keeper questionnaires and 2,788 owner questionnaires (Table 3. 1). These figures correspond to a response rate of 19.5% and 20.1% for keeper and owner surveys respectively. These response rates appear satisfactory for this type of survey. Response rates for such surveys are usually around 10-15% even though higher rates are sometimes observed (Bachmann and Stauffacher, 2002; Hartig et al., 2013; Hotchkiss et al., 2007; Knubben et al., 2008; McGowan et al., 2010; Merlin et al., 2020). Compared to these studies, the lower response rates obtained in our study could be linked to the differences in survey procedures (email rather than direct contact). Additionally, we were not able to check the validity of the email address, and some of the owners and keepers selected probably never received the email, especially those that had not updated their

personal information in the SIRE database for a long time. Indeed, respondents had updated their information on average more recently than non-respondents (2.2 years vs. 2.7 years, Wilcoxon Test, $p < 0.05$).

TABLE 3. 1. Number of questionnaires sent, received, and included, with the response rate for each survey

Survey	Number of emails sent	Number of questionnaires received	Number of questionnaires included in the analysis	Response rate (%)
Owners	13 869	2 925	2 788	20.1
Keepers	6 244	1 243	1 217	19.5

3.5.2 Estimation of sampling and response biases

We based our selection on the availability of an email address and contact agreement. People having recently updated information in the SIRE database were more likely to have provided an email address and a contact agreement, so were selected more often (Wilcoxon test, $p\text{-value} < 0.5$). Nevertheless, the proportion of owners and keepers selected was almost identical in each *département* (a French administrative unit), with an average of 1.2% for owner and 8.4% for keeper surveys (Figure 3. 1).

In contrast, the response rates of both surveys varied greatly depending on the *département*. They ranged from 0 to 32% for the keeper survey (Figure 3. 1C) and from 0 to 50% for the owner survey (Figure 3. 1D). Any recent updating of information in the SIRE database had a positive influence on the probability of response (Wilcoxon test, $p\text{-value} < 0.05$, see above).

The sex and age distributions of the reference equine for the selected and respondent owner subpopulations were close to those of the declared equine population, with a slight over-representation of equines between 10 and 15 years old and geldings in these two subpopulations (Table 3. 2). We also had an over-representation of saddle horses and under-representation of donkeys and draft horses (Table 3. 2).

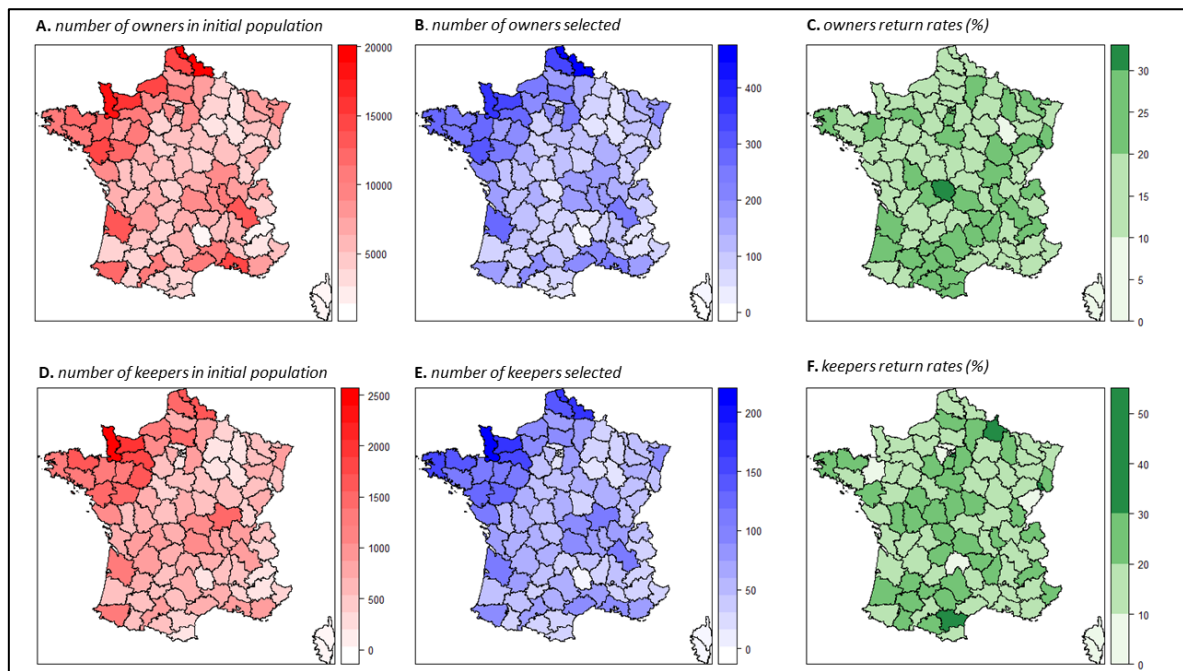


FIGURE 3. 1. Spatial distribution by département of the number of owners (1st line) and keepers (2nd line) of the population registered in the SIRE database (left), in the selected sample (middle), and in the respondent population (right).

This could be linked to differences in use (leisure vs. sports and racing) and to the fact that saddle horses represent a particularly active subpopulation for which up-to-date information is checked during horse competitions and meetings. Concerning the equine's status (dead or alive), we expected an under-representation of dead equines due to our sample selection method, as we selected a live equine as the reference equine for owners having both dead and live equines (cf. section 3.4.1). Dead equines were also strongly under-represented in the responses (Table 3. 2). Owners with only dead equines were considered less likely to have an updated email address and were probably less motivated to participate in the survey. It is also possible that some people did not answer for emotional reasons related to the death of their equine.

TABLE 3. 2. Distribution (percentage) of the group of breeds, sex, age, and status of the equines registered in the SIRE database for the initial population, the selected sample and the respondents

Variables	SIRE modalities	Population	Sample	Respondents
Group of breeds	Donkey	7.0	3.1	3.0
	Racehorse	19.5	17.2	16.3
	Pony	18.5	20.1	19.1
	Saddle horse	37.1	54.7	57.1
	Draft horse	17.9	4.9	4.6
Sex	Female	53.2	52.2	52
	Gelding	20.7	25.7	27.7
	Male	26.1	22.1	20.4
Age	<=2	6.0	7.0	7.2
	]2-5]	11.5	11.5	12.0
	]5-10]	21.6	21.3	21.4
	]10-15]	19.7	27.7	27.8
	]15-20]	17.9	16.4	16.6
	>20	23.3	16	15.1
Equine's status	Dead	16.8	2.4	1.8
	Alive	83.2	97.7	98.2

3.5.3 Consistency between the SIRE information and the survey data

In order to evaluate how up-to-date the information on owners and keepers recorded in the SIRE database was, and the degree of compliance with the mandatory declaration of changes in the status of equines, we compared SIRE information with the survey data.

Updates of castration and death of equines

Out of 1,041 geldings belonging to owner survey respondents, only 690 (66.3%) were registered as castrated in the SIRE database. This suggests that about 1/3 of castrations are not declared by owners. This high percentage of non-compliance with notification regulations is probably due to the absence of any checks on castration except for equines participating in official events (jumping, dressage, races, etc.), and to the fact that castration cannot be notified online. The owner has to send to the IFCE, by email or ordinary mail, a copy of the identification page from the equine's passport modified either by the veterinarian who performed the castration or by another veterinarian who certifies it.

Concerning the 2,613 reference equines for which the owners knew the life status (dead or alive), the information given by 2,450 (93.8%) of them was consistent with that in the SIRE database. For the 162 for which inconsistencies were observed ([Figure 3. 2a](#)), either the death had not been declared to the IFCE, or the death occurred between the date we extracted datasets and the date the questionnaire was returned. The rate of non-declaration of an equine's death in our survey (6.2%) was much lower than that estimated by the IFCE. Indeed, only some 30 to 40% of owners return the passport of their animal (IFCE, personal communication). It has been estimated that 40% of equines that died between 2011 and 2017 are still alive according to SIRE information. In the United Kingdom, it has been estimated that only 27% of owners complied

with the mandatory process of returning the passport either to the issuing authorities (the Department for Environment, Food and Rural Affairs) directly or indirectly via the fallen stock disposal representative (Defra, 2018).

Concerning delays in notifications of death, the difference between the date of death indicated by the owner and the date of death recorded in the database (most of the time this was the date on which the passport was returned) was calculated for 41 equines. The delay was under one year for the majority of equines (68.3%, n= 28) and it was between one and four years for 24.4% (n=10). A recent French survey (Merlin et al., 2020) had noted various reasons for the non-return or late return of the passport after death. These included the fact that the keepers do not necessarily return the passport themselves to the IFCE but entrust it to the rendering company; secondly, the keeper rarely has the original passport, which is kept by the owner; and thirdly, some owners want to keep the passport in memory of their animal. In fact, owners can ask for the passport to be returned once invalidated as long as they enclose a stamped addressed envelope, but many people are not aware of this procedure. This explains part of the under-notification and the long delay sometimes observed between the animal's death and its notification. This could also explain why surveyed owners whose reference equine was dead were less likely to respond to our survey, leading to an underestimation of the proportion of dead equines recorded as still being alive in the SIRE database.

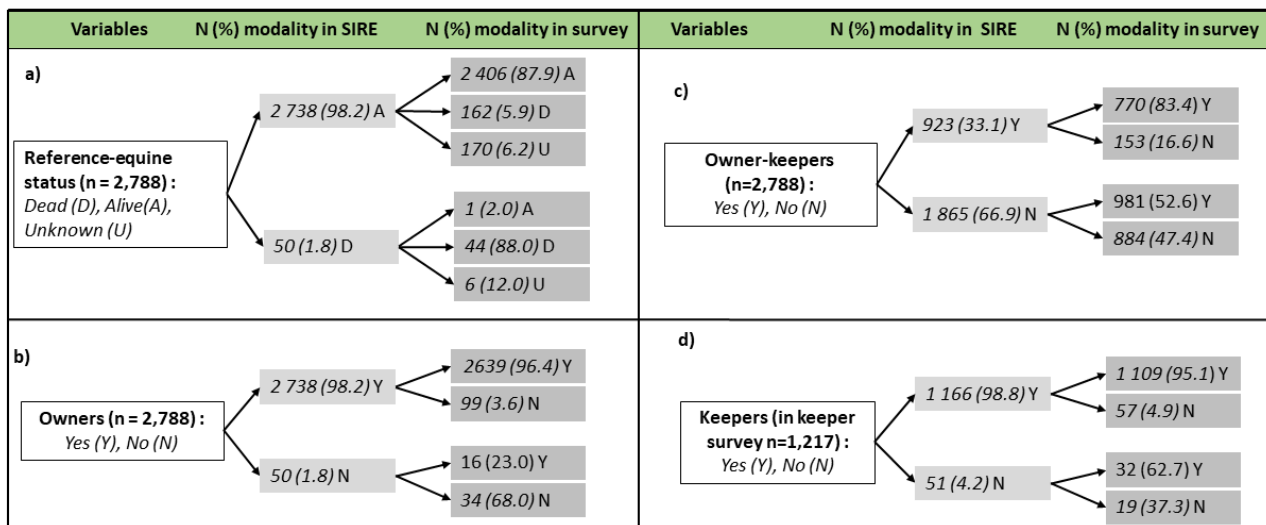


FIGURE 3.2. Consistency between SIRE information and survey data

Quality of ownership status data

We checked not only whether the ownership of the reference equine was up to date but also the ownership of other equines potentially owned by the respondents. Concerning the reference equine, 11% (n=307) of the 2,788 respondents stated that they no longer owned this equine (Table 3.3). Concerning ownership in general, of the 50 owners that were not linked to any living equine in the SIRE records (but only dead ones), 16 indicated that they currently owned at least one equine (Figure 3.2b). On the other hand, of the 2,738 respondents

linked to at least one living equine registered in the SIRE database, 3.6% (n=99) reported that they no longer owned any equines (Figure 3. 2b). These inconsistencies are mainly due to the lack of or late notification to the IFCE by owners of a change in ownership, leading to a delay in the ownership records being updated. While the seller can tell the IFCE that the animal has been sold, it is the new owner's declaration that prevails legally for the updating of the equine's ownership. We also estimated that a number of inconsistencies could be due to owners having more than one SIRE ID number or the equine being registered under the name of another family member.

The lack of updating evidenced in our survey is probably underestimated. Indeed, saddle horses—known to have the best compliance rate—were strongly over-represented in our selected and respondent populations. Conversely, ponies and donkeys were under-represented even though they are mainly used for leisure by individuals who are often less familiar with regulations and less controlled.

Finally, we asked the owners whether they had declared all their equines to the IFCE. The vast majority (91.2%, n=1835) answered that they declare all their equines, but 2.6% (n=52) answered that they do not declare all of them, and 5.0% (n=100) that they do not know whether all their equines were declared. Surprisingly, some owners (0.8%, 17/2,004) answered that they did not declare any equines. This last point was surprising because surveyed owners have necessarily declared at least one equine (Table 3. 3). The high number of declarations by equine owners is in accordance with a very low level of under-declaration (3%) estimated by the IFCE's economic observatory (Dornier, 2010).

TABLE 3. 3. Owner survey data regarding the updating of ownership and address

Variables	Modality	N	%
Last owner of the reference equine (n = 2 778)	Yes	2481	89.0
	No	307	11.0
Other equines owned	Yes	2004	28.1
	No	784	71,9
Owners' commune of residence	Not found	54	2.3
	consistent	1490	64.7
	inconsistency	759	33.0
Declaration of equines to the IFCE	All equines	1835	91.6
	Some equines	52	2.6
	No equines	17	0.8
	Unknown	100	5.0

Quality of personal information on owners

We evaluated the updating of the address of residence of owners through a question on the *commune* of residence (open question, not compulsory). Among the 2,303 respondents concerned (current owner), 64.7% (n=1490) had the same postcode in the survey and the SIRE database. For 2.3%, the *commune* was either not registered in either the database or in the survey (n=33), or erroneous in the survey (n=21) (Table 3. 3). The inconsistency rate for the location of the owner highlighted in our study is high (33%), and suggests that the

knowledge of equine owners' location in France is noticeably incomplete. In the absence of a valid email address, it is questionable as to whether the IFCE could contact an owner if necessary.

Notification and updating of equine premises

We combined the two surveys to obtain a more complete view of the premises where equines are kept. The keeper survey was essentially used to check information on premises recorded in the SIRE database, while the owner survey aimed to identify premises that had not been declared to the IFCE and to characterize these premises. Among the 1,166 respondent keepers who had one or more open equine premises recorded in the SIRE database, 4.9% (n=57) did not still have one at the time of the survey, and 35 of the 51 respondents having premises that were closed according to SIRE records, actually had open premises at the time of the survey (Figure 3. 2d).

The owner survey indicated that, out of the 1,865 respondents not recorded as being keepers in the SIRE database, in fact 52.6% (n= 981) hosted equines, so these equine premises should have been recorded (Figure 3. 2c). Only 37.1% (n=364) of them kept equines not owned by them. The majority (n=617) kept only their own equines: of these, 21.6% (n=133) of them owned only the reference equine and 78.4% (484) also owned one or more other equine(s).

Finally, the global inconsistency rate concerning equine premises in the keeper survey was 7.5% (92/1217) and the combination of the two questionnaires indicated a global inconsistency rate for notifications concerning equine premises of around 40.7%.

Our results confirm the massive under-declaration of premises to the IFCE by keepers. The reasons for non-declaration are not all known, but could include a limited knowledge of regulations, and incomprehension about when to open or close premises: some of the equine premises in the database are marked open yet have zero equines associated with them (perhaps because they do not host equines on a permanent basis), while others are opened then closed the same day, for example. Additionally, for professionals, under-declaration could be linked to the fact that many of them already notified their professional databases (such as those of farmers or equestrian centers) and do not know that it is also mandatory (and free) to declare information to the IFCE for inclusion in the SIRE database, or consider this complementary declaration as redundant and useless.

3.6 Conclusion and Prospects

The objective of our study was to evaluate the quality of specific SIRE data useful for epidemiology purposes, in particular information about non-professionals who are the least well known. The results of the surveys showed that the general quality of the selected SIRE data is satisfactory despite some shortcomings in updating and/or reporting by owners and keepers. The main limitation of this study is that very few owners and keepers were contactable. This also means that it is not possible to contact all the owners and keepers individually in the event of an epizootic. It would therefore be extremely useful to encourage owners and keepers to provide

the IFCE with valid contact information (particularly an email address, home address, and telephone number) and authorize its use in different circumstances. Indeed, this could allow the IFCE to communicate useful information, in particular in the event of an infectious outbreak in order to better control the disease. Moreover, this valid contact information could be used to request owners and keepers to participate in other surveys to better understand the French equine sector, and to collect their thoughts on needs and difficulties in order to take them into account. Finally, a regular repetition of surveys similar to those we performed could be complementary to the actions already led by the IFCE to encourage the registration and updating of information in the SIRE database.

This study has also some representativeness biases, such as an under-representation of donkeys and draft horses, which do not allow us to extrapolate our results to those particular equine subpopulations.

Moreover, while the SIRE database proved to be a valuable and reliable source for epidemiological research and studies, different limits should be taken into account because survey respondents recognized that they do not always report changes occurring during the life of equines. This is particularly true for castration and, to a lesser extent, death. The rate of non-declaration of equine death obtained in our study is greatly underestimated compared to the reality. This under-declaration of equine deaths to the IFCE does not allow us to know the size of the equine population living in France. To obtain a rough estimate of real numbers, we have to use other complementary databases, such as the Fallen Stock Data Interchange database (data from rendering plants), which could also be improved ([Tapprest et al., 2015](#)).

In addition, the results of the surveys confirmed that SIRE information on owners and keepers is not updated regularly. Despite a low general inconsistency rate for ownership, we observed a slightly higher inconsistency rate for ownership of the reference equine, a very high inconsistency rate for the owner's information and a marked under-declaration of equine premises. These shortcomings could have a very negative impact when managing health events, since it is necessary to have full and up-to-date information to be able to identify equine premises and contact the keepers and/or owners in the area should there be an outbreak of disease in order to conduct an epidemiological investigation and manage the outbreak as well as possible to avoid the disease spreading. The high inconsistency rate for the owner's residence and the marked under-declaration of equine premises suggest that the knowledge of equine premises and owners' residence in France is incomplete. To correct these flaws, the checks carried out by the IFCE since 2015 will have to be maintained or even multiplied in order to be able to cover the whole country. Many communication campaigns have been led to encourage owners and keepers to update information (through email campaigns to all keepers in the database, web news, and Facebook posts). A phone campaign was also initiated in late November 2019 to validate contact information. Several tools are also available to support keepers and owners (see, for example, the most recent communication campaign from March 2020 at ([IFCE, 2020](#))). However, this kind of campaign has little effect. A sociological approach could shed light on the obstacles and identify the levers to use in order to encourage compliance—especially of individuals as opposed to professionals—with mandatory regulations.

Acknowledgments

We are grateful to the French horse and riding institute, IFCE, for its financial support and for providing access to SIRE data. We would also like to thank the owners and keepers who answered our surveys and various people from the IFCE and ANSES: Jean-Philippe Amat, Marie Delerue, Romain Dhollande, Bénédicte Ferry, Carole Margelidon, Marion Wujek Moreau, Julie Schneider and Caroline Teyssier. We would also like to thank Delphine Libby-Claybrough, professional translator and native English speaker, for reviewing the manuscript.

References

Anonyme, 2015. Règlement d'exécution (UE) 2015/262 de la Commission du 17 février 2015 établissant des règles conformément aux directives du Conseil 90/427/CEE et 2009/156/CE en ce qui concerne les méthodes d'identification des équidés (règlement sur le passeport équin).

Bachmann, I., Stauffacher, M., 2002. Housing and Use of Horses in Switzerland: A Representative Analysis of the Status Quo. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 144, 331-347.

Brendan, C., Michael, P.W., Samuel, H., Greame, G., 2009. The equine influenza epidemic in Australia: spatial and temporal descriptive analyses of a large propagating epidemic. *Prev. Vet. Med.* 92, 60-70.

Callinan, I.H., 2007. Equine influenza. The August 2007 outbreak in Australia. <https://nla.gov.au/nla.obj-961843962/view?partId=nla.obj-962288923#page/n5/mode/1up>, (consulté le 30 septembre 2021).

Defra, 2018. Department for Environment Food and Rural Affairs (Defra) 2018. Consultation on Changes to the Identification of Equines, Summary of Responses, May 2018.

Dornier, X., 2010. Estimation d'indicateurs sur les effectifs d'équidés et les emplois qu'ils génèrent en France. In: 36th Journée De La Recherche Equine, 251–254.

Garner, M.G., Cowled, B., East, I.J., Moloney, B.J., Kung, N.Y., 2010. Evaluating the effectiveness of early vaccination in the control and eradication of equine influenza – a modelling approach. *Prev. Vet. Med.* 99, 15-27.

Hartig, W., Houe, H., Andersen, P.H., 2013. Monitoring of equine health in Denmark: the importance, purpose, research areas and content of a future database. *Prev. Vet. Med.* 109, 92-105.

Hotchkiss, J.W., Reid, S.W.J., Christley, R.M., 2007. A survey of horse owners in Great Britain regarding horses in their care. Part 1: Horse demographic characteristics and management. *Equine Vet. J.* 39, 294-300.

IFCE, 2015. Institut Français du cheval et de l'équitation (IFCE), Rapport d'activité de l'IFCE de 2015. https://www.ifce.fr/wp-content/uploads/2016/07/RA_2015-web-V2.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).

IFCE, 2020. Bilan statistique de la filière équine française (chiffre clé 2020). <https://equipedia.ifce.fr/fileadmin/bibliotheque/6.Statistiques/6.1.Ecus-depliant/Depliant-chiffres-cles-2020.pdf>, (consulté le 30 septembre 2021).

Knubben, J.M., Gyga, L., Stauffacher, M., 2008. Horses in Switzerland: results of a representative survey of population, housing and use in 2004. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 150, 387-397.

Lo Iacono, G., Robin, C.A., Newton, J.R., Gubbins, S., Wood, J.L., 2013. Where are the horses? With the sheep or cows? Uncertain host location, vector-feeding preferences and the risk of African horse sickness transmission in Great Britain. *J. R. Soc. Interface* 10, 20130194.

McGowan, T.W., Pinchbeck, G., Phillips, C.J., Perkins, N., Hodgson, D.R., McGowan, C.M., 2010. A survey of aged horses in Queensland, Australia. Part 1: management and preventive health care. *Aust. Vet. J.* 88, 420-427.

Merlin, A., Schneider, J., Cazeau, G., Sala, C., Linster, M., Foucher, N., Ferry, B., Delerue, M., Amat, J.P., 2020. Identification of levers for improving dead equine traceability: A survey of French equine owners' perception of regulatory procedures following their animal's death *Prev. Vet. Med.* 174, 104834, 0167-5877.

Robin, C.A., Lo Iacono, G., Gubbins, S., Wood, J.L.N., Newton, J.R., 2012. The accuracy of the National Equine Database in relation to vector-borne disease risk modelling of horses in Great Britain. *Equine Vet. J.* 45, 302-308.

Rstudio, 2019. NEWS for R version 3.6.1. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release.save/NEWS.2.pdf>.

Tapprest, J., Borey, M., Dornier, X., Morignat, E., Calavas, D., Hendriks, P., Ferry, B., Sala, C., 2015. Assessment of fallen equine data in France and their usefulness for epidemiological investigations. *Res. Vet. Sci.* 104, 96-99.

Partie 4. Estimation de la répartition spatiale des équidés

4.1 Préambule

L'estimation de répartition d'une population dans l'espace est une question universelle qui concerne de très nombreux domaines (démographique, géopolitique, environnemental, sanitaire, épidémiologique...). En l'absence de collecte exhaustive de données, de nombreuses méthodes ont été développées ou adaptées de domaines parfois lointains (étude des sols, météorologie). Le principe commun de la plupart des approches est l'interpolation spatiale qui consiste à prédire, à partir de l'information disponible sur un nombre réduit de points ou de zones, l'information en d'autres points ou zones. Les méthodes diffèrent par l'hypothèse sur le lien qui lie les valeurs observées et les valeurs à prédire. L'autocorrélation spatiale repose ainsi sur l'hypothèse selon laquelle, ce qui est proche est plus fortement corrélé que ce qui est loin et donc que la valeur en un point ressemblera plus aux valeurs qui lui sont proches qu'à celles lointaines (Tobler, 1970). Les méthodes d'interpolation spatiale basées sur la méthode du plus proche voisin consistent, elles, à assigner à la valeur du point cible, la moyenne des valeurs connues d'un nombre choisi de points voisins. Il est possible de pondérer cette moyenne par la distance aux points (Sibson, 1981). L'approche par triangulation s'appuie sur la construction d'un réseau triangulaire basé sur la position spatiale des échantillons disponibles. La méthode de Delaunay (Renka, 1984) est la plus utilisée. Elle repose sur la l'identification d'un voisinage de points proches afin de créer des triangles qui ne se chevauchent pas. Elle affecte ensuite à la valeur inconnue, la moyenne pondérée des trois valeurs des sommets du triangle (Okabe et al., 1992). L'interpolation spatiale par krigeage, très utilisée (Cressie, 1984; Ferguson et al., 1998; Julie et al., 2002; Matheron, 1962 1963a, b; Qin et al., 2019), consiste à estimer la valeur inconnue en un point par la somme pondérée d'observations ponctuelles disponibles sur un domaine du champ ou sites d'intérêt (appelé voisinage du krigeage) contenant le point à valeur inconnue et sélectionné sur la base d'un critère de nombre (les n plus proches) ou de distance (les n sites situés à une distance bien définie). Les poids des données sont choisis de façon à ce que l'interpolation soit sans biais et à variance minimale.

L'utilisation de ces méthodes dépend fortement de l'existence d'un nombre suffisant d'échantillons localisés représentatifs, en valeur et en caractéristiques, des valeurs à estimer, dans l'ensemble des zones géographiques d'étude. Cependant, dans notre cas, nous ne disposons pas de suffisamment d'échantillons, et notamment de données concernant les détenteurs non-professionnels qui nous intéressaient le plus. Compte-tenu des données dont nous disposons, nous avons ainsi choisi d'adapter la méthode développée par Giovanni Lo Lacono et al. pour estimer la distribution spatiale des équidés en Grande-Bretagne (Lo lacono et al., 2013). Cette approche est basée sur la distance séparant les lieux de résidence des propriétaires et les lieux de détention de leur(s) équidé(s), en prenant en compte l'urbanisation des zones. Cette approche nécessitait cependant de disposer d'un échantillon représentatif de couples propriétaire-équidés

parfaitement localisés, et d'autre part, d'évaluer les hypothèses nécessaires à l'inférence à savoir i) un propriétaire localise ses équidés au(x) même(s) endroit(s), ii) des propriétaires proches géographiquement auront des équidés proches géographiquement.

La double enquête nationale réalisée auprès des propriétaires et détenteurs d'équidés enregistrés dans SIRE a été conçue, non seulement pour évaluer la qualité des données de la base SIRE, mais également pour constituer un échantillon de propriétaire-équidés localisés et obtenir des informations nouvelles sur les habitudes de détention pour une population de propriétaires et détenteurs mal connue - les non-professionnels - notamment sur le nombre d'équidés détenus, les types d'équidés détenus ensemble, le nombre de communes de détention et les types d'hébergement, etc.

Ces informations nous ont ainsi permis d'adapter la méthode de Lo lacono et al., pour réaliser des estimations de la répartition spatiale des équidés vivants en France. Ces estimations ont été réalisées selon deux approches : une estimation à partir de l'échantillon collecté lors de l'enquête et une estimation réalisée à partir d'un échantillon de couples propriétaire-équidés morts issus de l'EDI-SPAN. La comparaison des résultats devait nous permettre d'évaluer si la localisation des équidés morts pouvait être représentative de celle des vivants et valider le postulat selon lequel on peut estimer la localisation des chevaux vivants à partir de la localisation des chevaux morts, de la localisation des propriétaires et des détenteurs, du fait que i) la commune de mort d'un équidé est la commune de vie habituelle de cet équidé et que ii) les équidés morts sont représentatifs (en termes de localisation) des équidés vivants.

4.2 Home sweet home: new insights into the location of equine premises in France and keeping habits to inform health prevention and disease surveillance

Abstract

Identifying and tracking equines are key activities in equine health prevention. France is one of the few European countries with an operational centralized database that records information on equines, owners and keepers but not on the location and keeping conditions of equines. The objective of our study was to collect information on keeping habits of equines, and the relative location of a wide range of equines, owners and keepers, and discuss their implication for surveillance and control of outbreaks improvement. A national e-mailing survey was conducted among the 1.9% of persons registered as owners and 8.2% of persons registered as keepers in the French national equine identification database and having given their agreement to be contacted by email. It led to the collection of information from 728 owners, 121 keepers and 2,669 owner-keepers. Most of them housed their equines in a single *commune* (smallest geographic administrative unit in France), at their home as private individuals. The distance between the *communes* of residence and of holding was, in most cases (79% of owners in owner survey, 89.5% of the keepers in keeper survey, and about 94 % of the owner-keeper in both survey), less than 30 km. More than half of the keepers kept a maximum of five equines and the majority with two different use/destination together, mostly leisure-retirement, leisure-breeding, leisure-sport, and sport-breeding. The main limitation of the study was that a relatively limited number of people (n=3,518) were reachable due to the low availability of an email address and contact agreement. Nonetheless, the findings provide an overview of how equines are kept by non-professional owners/keepers, and complement information usually collected by the French riding institute. Additionally, information collected would be very helpful to determine a realistic estimate of the spatial distribution of equines in France. This information is very important for the equine sector, for demographic knowledge but also improvement of surveillance plans and control measures and for the management and monitoring of health events, to limit the spread of diseases.

Keywords: Equine, Keeper, Owner, Holding, Traceability, Spatial location, Epidemiological surveillance, Health monitoring.

4.2.1 Introduction

Over the past 20 years, significant efforts have been made to identify and track equines in France. However, regarding location, a major traceability problem persists. In fact, although current regulations in France require keepers to declare the equines they keep in a breeding register, this information is not available in the centralized SIRE database. This makes it difficult to manage and monitor health events, especially epidemics, but also creates an issue in research when a better understanding of the spread of a disease is needed. In

France, equine traceability is based on the centralized SIRE database (equine information system), managed by the French Horse and Riding Institute (IFCE), which registers almost all equines born in or imported into France. The SIRE database includes, in the “equine-owner” dataset, individual information on equines, including SIRE number, sex, breed, and date of birth, and information concerning the declared owner, such as SIRE identification number and code (unique identification number) of the *commune* of the owner’s residence. In parallel, in the “equine-premises” dataset, there is information related to keepers as well as their premises: the identification number of the keeper, the *commune* code for the keeper’s residence, and those of the premises, and the opening date of the premises. However, at this time, there is no specific traceable link in the SIRE database between keepers and the equines they keep, and therefore a lack of centralized information in France. The lacking information includes equine location, even though this is a major concern for surveillance and control of outbreaks. Each year, the Economics Department of the IFCE collects information from all stakeholders in the horse industry to provide key, up-to-date figures on equine sector activities and equine socio-economic statistics ([Ecus-Ifce](#)). However, the information collected mostly concerns professionals (breeders, horse trainers, barn managers, ...) and the number of equines kept in professional structures ([IFCE, 2019](#)). Data on non-professional owners and keepers are difficult to obtain, even though this concerns one third of equines housed in France and may play a key role in equine disease transmission. Within this context, two national surveys were conducted in 2019 in collaboration with the IFCE, with a dual objective: to evaluate the quality of information recorded in the SIRE database ([Farchati et al., 2020](#)), and to collect information on equine premises (use/destination and location), and keeping habits of owners and keepers that escape regular IFCE data collection.

4.2.2 Materials and Methods

Sample

We used a subsample of the surveys described by ([Farchati et al., 2020](#)). Briefly, these surveys were conducted among the 1.9% of the 737,789 owners and 8.2% of the 76,501 keepers registered in the SIRE database, who had an available email address and agreed to be contacted in this way. Owners and keepers were surveyed differently because different information was available in the database ([Farchati et al., 2020](#)) ([Figure 4. 1](#)).

The owner survey focused on information on owners and all their equines. To facilitate answers to the questionnaire, for each owner, a series of questions focused on one equine (*reference equine*, later in the text), randomly selected among the living equines, for the owners linked to several equines, or corresponding to the one that died most recently for owners with only dead equines in the SIRE database. The keeper survey concerned keepers having declared at least one premises, and aimed to characterize keepers and equine premises.

We included in the current study the 3 518 respondents declaring at the time of the survey that they owned and/or kept at least one equine: 2 377 from the owner survey, and 1 141 from the keeper survey, including

the 429 people who responded to both surveys. When questions differed in the surveys, these 429 persons were included in both surveys (Figure 4. 1). For similar questions, we kept only responses from one questionnaire, after checking for consistency of the responses in the two surveys (Figure 4. 1).

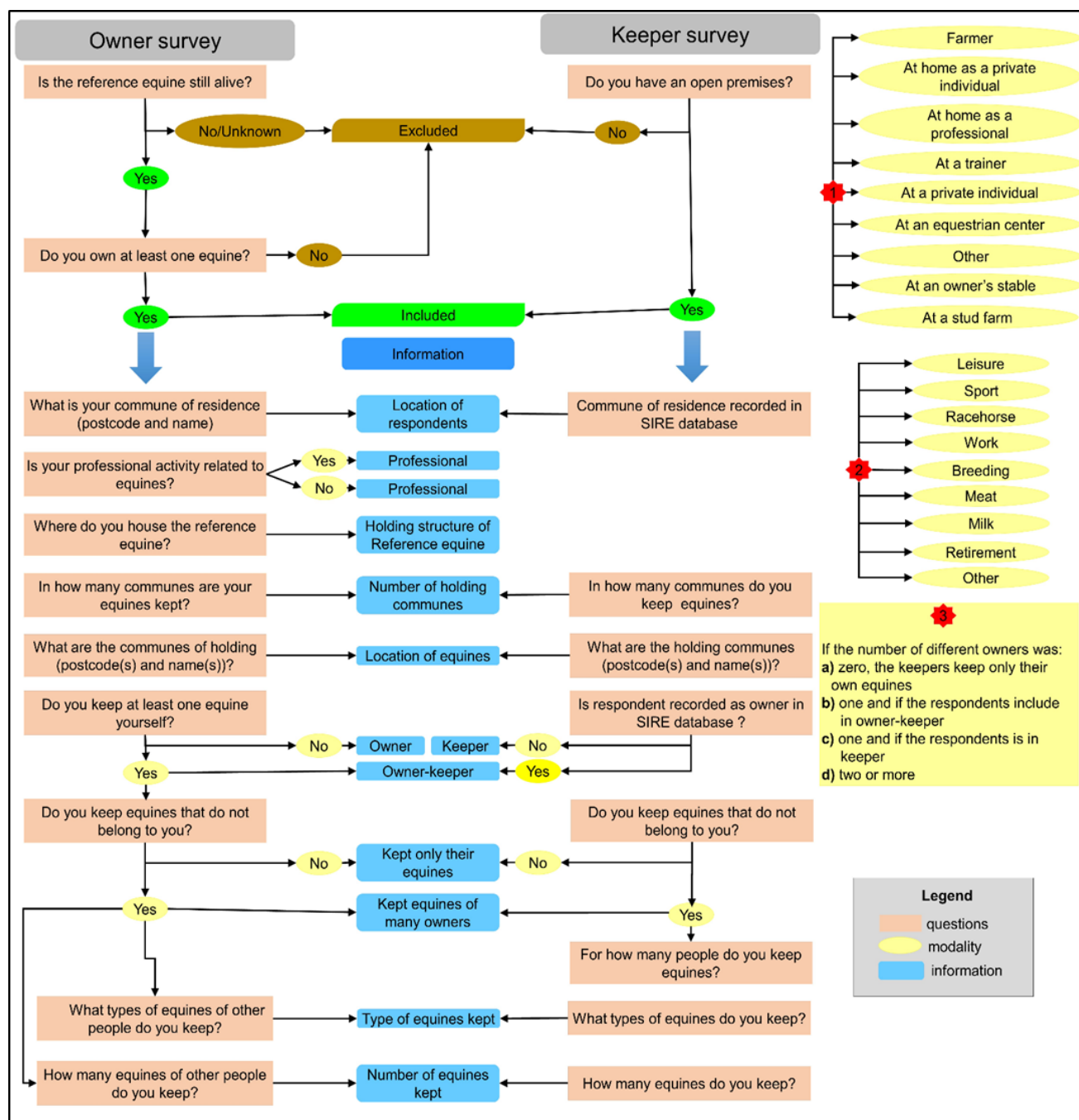


FIGURE 4. 1. Structure of questionnaires, information, and decision rules

Additional information

Additional information was used to interpret and discuss results. The keeper locations (question not asked in the keeper survey) were thus extracted from SIRE database. The CORINE Land Cover (CLC) geographic

database (a biophysical inventory of European land use and its evolution according to a 44-item nomenclature) ([Cover](#)), was used to explore the effect of urban coverage on the distance between owners/keepers and the equines. For the calculation of the proportion of urban coverage, we grouped the percentage of continuous and discontinuous urban tissue supplied in the third level of the nomenclature of the CORINE Land Cover.

Analysis

We analysed the information by respondent status to compare the habits of:

- *Owner-keepers* (from both surveys): respondents recorded as owners in the SIRE database and who reported keeping at least one equine (owner survey) and respondents recorded as keepers in the SIRE database and who reported owning at least one equine;
- *Owners*: respondents who reported owning at least one equine but not keeping any equines, even their own;
- *Keepers*: respondents who reported keeping at least one equine but not owning any equines.

Location information provided by respondents (postcode and/or the name of the *commune* of holding and/or residence) was cross-checked with the French National Institute of Statistics and Economic Studies (INSEE) database to obtain the unique INSEE code for each *commune*. This information was used to calculate the distance between the *commune* of residence and the *commune* of holding, as the distance between the centroid of the *communes*. The “gCentroid and gDistance” functions of R software were used to identify the centroid of each *commune*, and to calculate the distance between the centroids of the *communes*. The surface area of *communes* in mainland France is highly variable, between 0.03 km² and 757.77 km², with a mean of 17.71 km² [median=12.19 km², standard deviation=19.92 km²]. The mean distance between the centroids of neighbouring *communes* is 4.91 km [min=0.17 km, max=34.02 km, median=4.47 km, and standard deviation=2.27 km].

Data processing and analysis were performed with R Studio interface software, version 3.6.1 ([Rstudio, 2019](#)). Associations between two qualitative variables were tested using Pearson's Chi-square test, and a Wilcoxon's test or a Kruskal–Wallis test were used to compare the means of two distributions, with an error threshold set at 0.05. A correlation test was done to assess an association (dependence) between the distances of equines from their owners and/or keepers and urban coverage.

4.2.3 Results

Characterization of respondents

Among the 2 377 owners selected for the owner survey, 69% (n=1 649) were owner-keepers and 31% (n=728) were strictly owners. Among the 1 141 keepers selected from the keeper survey, 89% (n=1 020) were owner-keepers, while 11% (n=121) were strictly keepers ([Table 4. 1](#)).

Finally, our result concerned 728 owners, 121 keepers, and 2 669 owner-keepers (including the 429 owner-keepers who responded to both surveys) as defined in methodology section.

Most respondents to the owner survey (79%, n=1 812/2 303), were non-professionals (professional activity not related to equines) and owner-keepers were more often professionals (professional activity related to equines) compared to owners (chisq.test, $p < 0.05$) (Table 4. 1).

Among the 616 keepers responding to the question on the year of starting to keep equines, most had been keepers for several years (Table 4. 1).

TABLE 4. 1. Major characteristics of respondents by type of respondent (owner, owner-keeper or keeper, professional activity and holding duration) and distance between respondent and equines locations.

Information	Modality	Owner survey (n = 2 377)				Keeper survey (n=1 141)			
		Owner (n=728)		Owner-keeper (n=1649)		Keeper (n=121)		Owner-keeper (n=1020)	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Professional activity related to equines	NC	48		26					
	No	609	89.6	1203	74.1				
	Yes	71	10.4	420	25.9				
	Total	728	100	1649	100				
Holding duration of equines (years)	NA					50		475	
	[0-5]					14	19.7	131	24.0
	[6.10]					22	31.0	122	22.4
	[10-20]					15	21.1	157	28.8
	Over 20					20	28.2	135	24.8
	Total					121	100	1020	100
Distance between owners and/or keepers and equines locations (km)*	0(same commune)	126	17.8	1449	86.3	61	70.1	527	69.3
	]0-10]	198	27.9	93	5.5	7	8.0	130	17.1
	]10-20]	161	22.7	54	3.2	9	10.3	39	5.1
	]20-30]	75	10.6	23	1.4	1	1.1	13	1.7
	]30-40]	22	3.1	13	0.8	3	3.4	8	1.1
	]40-50]	20	2.8	9	0.5	1	1.1	5	0.7
	>50	107	15.1	38	2.3	5	5.7	39	5.1
	Total	709	100	1679	100	87	100	761	100

*n corresponds to the number of lines but not to the number of owners and/or keepers because this value can have one or more holding communes. All percentages in this table were calculated without taking into account "NA" (not applicable) and "NC" (not considered).

Keeping habits

The question on the holding structure concerned only respondents to the owner survey and the *reference equine*. The majority of owner-keepers kept their equine at home as private individuals (69%), while owners hosted their equine preferentially in a professional structure (41% in an owner's stable, and 26% in an equestrian center). Most people who kept their equines at home were non-professionals (chisq.test, $p < 0.05$) (Figure 4. 2A).

Around one third of owner-keepers kept equines that did not belong to them (35%, $n=574/1\ 649$ in the owner survey, and 32%, $n=325/1\ 020$ in the keeper survey) (Figure 4. 2B). Nevertheless, equines kept came from a limited number of owners Figure 4. 2C), with proportions that differed according to the status (owner-keepers or keepers). The owner-keepers held equines from more than one owner compared to keepers (chisq.test, $p < 0.05$).

Most people keeping equines kept a maximum of five equines (71% ($n=406/575$) of owner-keepers from the owner survey, 59% ($n=606/1\ 020$) of owner-keepers from the keeper survey, and 51% ($n=62/121$) of keepers) (Figure 4. 2D and Supplementary Material Figure A. II. 1). Professional owner-keepers in the owner survey kept more equines than non-professionals (chisq.test, $p < 0.05$). For the few respondents declaring that they kept more than 50 horses, the premises corresponded mainly to professional structures (stables, stud farms, or riding schools).

Most people kept one (43.9%, $n=750/1709$) or two (27.2%, $n=465/1709$) uses/destinations of equines together (Supplementary Material Table A. II. 1 and Figure 4. 2F). Around 20% ($n=310$) of respondents kept equines with three use types. The most frequent uses/destinations of equines kept by respondents were leisure, retirement, breeding, and sport animals (Figure 4. 2E). The two most frequent uses/destinations associated were leisure-retirement, leisure-breeding, leisure-sport, and sport-breeding (for more details see supplementary Material Table A. II. 1).

Concerning the number of holding locations (evaluated on the basis of the number of *communes* with holdings), most respondents housed their equines in a single *commune* (81% ($n=2161/2\ 669$) of owner-keepers, 79% ($n=96/121$) of keepers, and 83% ($n=608/728$) of owners) (Figure 4. 2G). The number of *communes* for equine premises varied significantly based on the number of equines kept, regardless of the survey (Kruskal–Wallis test, $p = 1.16 \cdot 10^{-18}$ for owner-keepers from the owner survey, $p = 1.72 \cdot 10^{-11}$ for owner-keepers from the keeper survey, and $p = 2.32 \cdot 10^{-12}$ for keepers). As expected, the professional keepers had a significantly higher number of *communes* for equine premises than non-professionals (chisq.test, $p < 0.05$).

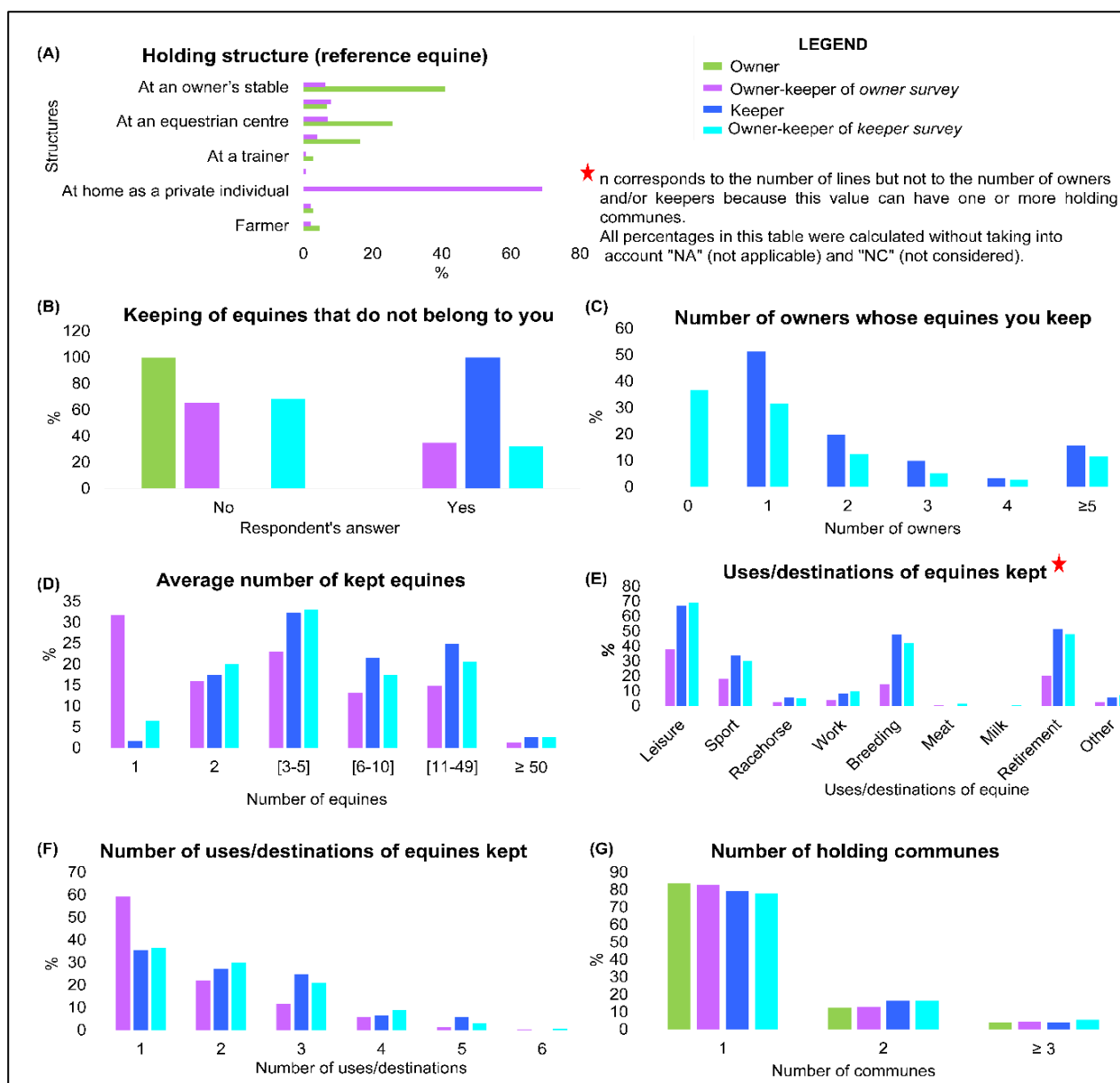


FIGURE 4.2. Detailed results of repartition the different keeping habits: repartition (percentage) per survey and type of respondent (owner, owner-keeper, and keeper).

Relative location of equines, owners and keepers

Locations of people keeping equines and location of equines kept mainly overlapped, regardless of whether equines belonged to them or not (86% of owners-keepers in the owner survey, and 69% of owners-keepers in the keeper survey and 70% of the only keepers). By contrast, only 18% of owners did not keep their equines housed in the same *commune* (Figure 4.3 and Table 4.1).

When people and equines were located in different *communes*, most of them housed equines in *communes* fewer than 30 km away, and very few over 50 km (Table 4.1). Median distance did not differ within surveys (Wilcoxon test, $p > 0.05$) but between the two surveys for owner-keepers (Wilcoxon test, $p < 0.05$). No

correlation was found between the distance location and the level of urbanization of the *commune* of residence and neighboring communes.

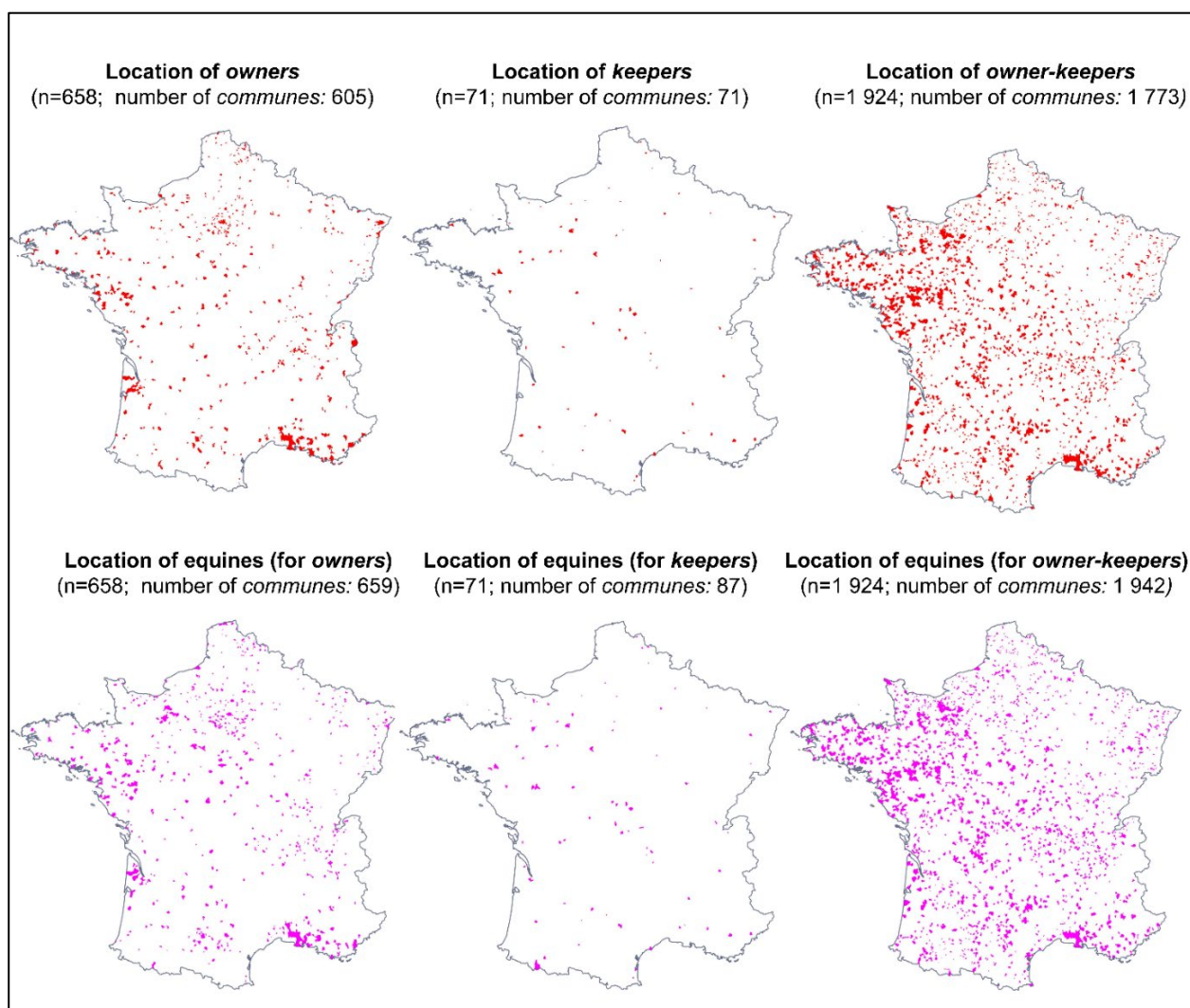


FIGURE 4.3. Residence and holding communes of respondents when the two communes were located in mainland France (a dot in a commune indicates that there is at least one owner or one keeper or one owner-keeper or one equine in this commune)

4.2.4 Discussion

This study provides additional data beyond the regular surveys lead by the IFCE. It is the first survey to reveal detailed information on keeping habits of equines in France including a majority of non-professionals. The habits of this population are currently not well known but its weight in terms of numbers is important for the equine sector. From an epidemiological point of view, it may also play a significant role in the spread of equine diseases. As mentioned in a previous study (Farchati et al., 2020), the main limitation of these surveys is that, among all owners (n=737,789) and keepers (n=76,501) recorded in the SIRE database, very few were contactable (1.9% of owners and 8.2% of keepers) and besides responded to the survey (at least 0.4% of owners and 1.6% of keepers recorded in the SIRE database). This implies that respondents to the survey may not

represent all owner and keepership profiles, for instance occasional owner-keepers, who may be the least informed and most difficult to inform regarding their legal obligation but also contact in case of an epidemic. Another limitation is that certain questions were asked only in one survey, but also for a specific equine, which led to incomplete information, such as a lack of information on the type of holding and degree of professionalization of keepers.

Our study revealed various keeping habits depending on the profiles of the respondent owners, owner-keepers, or keepers, and confirmed the complexity of the equine sector, linked to the mix of professionals and privates. When modelling the spread of diseases or setting up surveillance methods, this factor of variation should be taken into account, as the three categories cannot be managed in the same way.

In our study, broad geographic dispersion of equines was observed, with most of them being held in small structures (fewer than 5 equines kept together) by private individuals. Our results relating to keeping habits are not in agreement with the previous study by Vial et al. ([Vial et al., 2011b](#)) which predicted a positive relationship between the number of equines kept and an “home-keeping”. This could be due the difference in the studied population (comprehensive local censuses vs. national partial survey), but also the more complex determinants relating to professional structures and/or land availability ([Vial et al., 2011a](#)). In the same way, our results provide a different perspective from that of the annual surveys conducted by the IFCE ([Ecus-Ifce, 2019](#)). Indeed, our work addressed owners and keepers while IFCE targets equines in its surveys. This explains differences observed in our results with 57% of people housing their equine(s) at home as a private individual (declared or not), 1.5% in training premises and 12.4% in an equestrian center while surveys of the IFCE indicates 30% of equines kept in individual private and declared structure, 4% in training premises, and 32% in an equestrian center. Additionally, the definition of professional or non-professional was declarative in our study while IFCE considers as professional anyone who has a declared agricultural activity even minor. This fragmentation of non-professional owner-keepers, and their equines (not necessarily kept together) is a real challenge for providing information in the event of an outbreak, but also a major difficulty in terms of monitoring and isolating this population during an epidemic. This specific characteristic must be taken into account during epidemiological investigations but also in research, when modelling disease spread and control measure effects.

Our study indicates a low connection of owner-keepers and keepers with a small number of equines kept from a limited number of owners. In that way, this population is distinct from the high-connected population encountered in professional structures (breeding, barns, equestrian centers). Nevertheless, our study did not allow to estimate the indirect contact between people and/or equines like pasture and local leisure contact as well as limited local movements (gathering, collective hiking...). These factors are important for local and slow dissemination of contact diseases like strangles ([Boyle et al., 2018](#)), vector-transmitted diseases such as equine infectious anemia ([Cook et al., 2013](#)), or soil-borne diseases such as anthrax ([Carlson et al., 2018](#)). This

apparent low connected population could also play a more important role than expected, especially since it is the most difficult to reach.

Knowledge of the types and associations of uses/destinations of equines are important to understand the organisation of this non-professional part of the equine sector (Vial et al., 2011a, b). In coherence with the work of Vial et al. (Vial et al., 2011b), our study showed that owners keeping leisure or retirement equines were used to managing them themselves, this kind of equines being part of the family and their care and use not requiring a specific structure or equipment. It is also an important factor to include when predicting the frequency and distances of equine movements, and thereby the risk of contamination or the spread of disease. This knowledge is useful for epidemiological modelling, but also for disease surveillance. In our study, few of the respondents kept racehorses (Figure A. II. 2 of supplementary Material), yet these horses move around extensively, often over long distances, and can be a source of diseases spreading locally but also at long distances during equine gatherings for races. Nevertheless, the low level of interaction of this at-risk population with other equine populations limits the risk in terms of disease spread, especially since racehorses are closely monitored by the horseracing authorities in France.

Regarding distances, most equines of our study lived near to their owners and/or keepers. This was coherent with the results of studies of Vial et al. (Vial et al., 2011a, b) an expected result given that respondents were mainly individuals caring for their equines themselves, which requires having them at a distance compatible with daily care visits. We obtained similar results to those previously found in Great Britain (Robin et al., 2012; Robin et al., 2010). In their studies, Robin et al. found that most owners lived close to their equines. In these studies, 61% of equines (in one) and 53% (in the other) lived at the owner's location versus 66% in our study. The distance was > 50 km for only 2% and 5% of equines, respectively versus 6.1% in our study. In addition, about 90% of equines were fewer than 10 km from their owners versus 78.1% in our case. However, the degree of precision of the location in the British study and in our study probably differs, and this could lead to artificial similarity. In Great Britain, the distances were probably more accurate geographically because the studies used postcodes, generally assigning a location to a very precise area (each postcode is valid for a street, part of a street, or a set of houses, at least in urban areas). By contrast, *communes* in France are larger and calculated distances probably did not reflect the exact situation because we used the centroid of the *commune* (the only information available). However, the geographic area covered by a *commune* contains several plausible localization points depending on land use. Equines and owners located in the same *commune* may be far from one another or very near. When equines are in different *communes*, they could be located close to the administrative border and thus be very close to their owners/keepers in actual geographic terms. The use of exact addresses would have been effective for accurate localization of equines as well as their owners, but the EU General Data Protection Regulation (RGPD) makes it difficult to obtain and use such information. This lack of precision concerning distances may explain why no, in the global sample, correlation between these distances and the rate of urbanization was found, but that a correlation was only observed for a sub-sample

of owners and owner-keepers of the owner survey. In Great Britain, an inverse correlation between built-up land use and the proportion of horses kept at the same postcode as the owner's address was detected (Robin et al., 2012). This could be explained by the cultural differences related to equines between the two countries, for instance greater familiarity with and knowledge of equines in England, whereby owners may have more facilities to keep their equines themselves. The location of the owner can provide a useful indication of the spatial distribution of equines and may depend on the uses/destinations of equines (Vial et al., 2011a, b). However, other additional information can and should also be taken into account to better understand factors influencing the location of equines, and also to credibly estimate their spatial distribution. The CORINE Land Cover database could provide new insights as it contains detailed information on land use in 39 European states, including France. Likewise, the Fallen Stock Data Interchange (FSDI) database could provide the required additional information, in the form of the location of equines dying in France (Tapprest et al., 2015; Tapprest et al., 2017).

4.2.5 Conclusions

This study provided information of great interest for the equine sector, in particular concerning small private owners and keepers. Knowledge of the target population is an important aspect to properly inform and involve it, but also manage health events or disease outbreaks, and to adapt surveillance and control measures to limit the impact of these events. In addition, this study provided a highly valuable sample of owners-equines, with precise localization and detailed characteristics. This sample is being used, in association with other additional data sources, to obtain a realistic estimation of the location of equines in France.

Acknowledgments

We are grateful to the IFCE for providing access to SIRE data. We would also like to thank the owners and keepers who answered our surveys. We would also like to thank Craig Stevens, professional translator and native English speaker, for reviewing the manuscript.

Reference

- Boyle, A.G.**, Timoney, J.F., Newton, J.R., Hines, M.T., Waller, A.S., Buchanan, B.R., 2018. Streptococcus equi Infections in Horses: Guidelines for Treatment, Control, and Prevention of Strangles—Revised Consensus Statement. *J Vet Intern Med* 32, 633–647.
- Carlson, C.J.**, Getz, W.M., Kausrud, K.L., Cizauskas, C.A., Blackburn, K.J., Carrillo, F.A.B., Colwell, R., Easterday, W.R., Ganz, H.H., Kamath, P.L., Økstad, O.A., Turner, W.C., Kolstø, A.B., Stenseth, N.C., 2018. Spores and soil from six sides: interdisciplinarity and the environmental biology of anthrax (*Bacillus anthracis*). *Biological reviews* 93, 1813–1831.
- Cook, R.F.**, Leroux, C., Issel, C.J., 2013. Equine infectious anemia and equine infectious anemia virus in 2013: A review. *Veterinary Microbiology* 167, 181–204.
- Cover, C.L.**, Corine Land Cover : données d'inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>, (consulté le 30 septembre 2021).

Ecus-Ifce, Annuaire écus, IFCE, Institut Français du Cheval et de L'équitation. <https://www.ifce.fr/recherche-transverse/?q=ANNUAIRE+%C3%89CUS&cb=https://www.ifce.fr/>, (consulté le 30 septembre 2021).

Ecus-Ifce, 2019. Bilan statistique de la filière équine française, Données 2018/2019. https://equipedia.ifce.fr/bibliotheque/3. Guide_pocket_et_autres_pdf/3.5_Autres_pdf/ECUS-2019-bd.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).

Farchati, H., Merlin, A., Sassac, M., Dornier, X., Dhollande, M., Garon, D., Tapprest, J., Sala, C., 2020. Is the French SIRE equine information system a good basis for epidemiological and modeling research? Quality assessment using two surveys. *Res. Vet. Sci* 134, 96–101.

IFCE, 2019. Combien d'équidés en France ? La population équine française doit être estimée un cheptel en baisse depuis 2012. https://www.ifce.fr/wp-content/uploads/2019/07/IFCE_OESC_Note_thematique-Effectifs-equides_juillet2019.pdf, (consulté le 30 septembre).

RGPD, Règlement Général sur la Protection des Données. <https://www.cnil.fr/fr/comprendre-le-rgpd>, (consulté le 30 septembre 2021).

Robin, C.A., Lo Iacono, G., Gubbins, S., Wood, J.L.N., Newton, J.R., 2012. The accuracy of the National Equine Database in relation to vector-borne disease risk modelling of horses in Great Britain. *Equine Vet. J.* 45, 302–308.

Robin, C.A., Wylie, C.E., Wood, J.L.N., Newton, J.R., 2010. Making use of equine population demography for disease control purposes: Preliminary observations on the difficulties of counting and locating horses in Great Britain. *Equine Vet. J.* 43, 372–375.

Rstudio, 2019. NEWS for R version 3.6.1. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release.save/NEWS.2.pdf>.

Tapprest, J., Borey, M., Dornier, X., Morignat, E., Calavas, D., Hendrikx, P., Ferry, B., Sala, C., 2015. Assessment of fallen equine data in France and their usefulness for epidemiological investigations. *Res. Vet. Sci.* 104, 96–99.

Tapprest, J., Morignat, E., Dornier, X., Borey, M., Hendrikx, P., Ferry, B., Calavas, D., Sala, C., 2017. Fallen stock data: An essential source of information for quantitative knowledge of equine mortality in France. *Equine Veterinary Journal* 49, 596–602.

Vial, C., Aubert, M., Perrier-Cornet, P., 2011a. Le développement de l'équitation de loisir dans les territoires ruraux : entre influences sectorielles et périurbanisation. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°3, 549–573.

Vial, C., Aubert, M., Perrier-Cornet, P., 2011b. Les choix organisationnels des propriétaires de chevaux de loisirs dans les espaces ruraux. *Economie rurale* n°321, 342–347.

4.3 How far away do you keep your equines? Estimation of the equine population's spatial distribution in France

Abstract

It is essential to have an accurate picture of the spatial distribution of equines to be able to monitor equine health events effectively. In France, this information is only available for certain categories of live equines kept in professional structures and for dead equines removed by renderers. This limits the surveillance, prevention and control methods able to be used to prevent the spread of equine diseases. Our study aimed to provide a realistic estimate of the spatial distribution of the French equine population at the detailed scale of the French *commune* (France's smallest administrative unit). For this purpose, we adapted the Bayesian method used by Lo Lacono et al., based on the distance between the owner's location and the location of his/her equines, and on the percentage of urban coverage. To assess whether the location of dead equines could be representative of the location of live equines, the distribution of distances between equines and owners was calculated from a sample of live equines on the one hand, and a sample of dead equines on the other, both accurately located. We also tested two different assignment methods for locating equines: Method 1 assigned to each owner a single holding *commune*, while Method 2 allowed more variability in holding *communes* for owners associated with multiple equines. A marked difference was observed between Methods 1 and 2 regardless of the sample used, with only 2.4% and 4.3% respectively of the *communes* having the same number of equines. Conversely, little difference was observed in the results whether the live or dead equine sample was used, with approximately 45% of the *communes* having the same number of equines. Regarding differences in spatial distribution, Method 1 based on the live equine sample estimated higher local densities of equines without considering urban areas. In contrast, Method 2 provided more dispersed maps, with low densities in the densest urban areas. In conclusion, dead equines appeared to be representative of live equines and some of our estimates are consistent with the information collected by the French horse and riding institute (IFCE). These results now have to be compared with field data to test their relevance.

4.3.1 Introduction

Data on geographic location and interspecies contacts are often considered key factors in developing accurate predictive models of pathogen spread or establishing effective and appropriate methods for the surveillance, prevention or control of animal diseases (House and Keeling, 2008a, b; M. J Keeling et al., 2010). The major influence of the population's spatial structure on the spread of infectious diseases is well known in epidemiology, whether for humans or domestic/wild animals (Ferguson et al., 2005; Ferguson et al., 2001; Gudelj and K.A.J., 2004; Keeling et al., 2001; Swinton et al., 1998). Depending on the different ways that diseases can spread and the density of animal populations, a disease can spread locally then extend either slowly or quickly over very long distances, especially when sick animals are moved around.

The effectiveness and success of measures to control the speed and spread of disease depend on the existence of high quality spatial and epidemic data, in addition to the traceability of animal movements. The example of

the equine influenza outbreak in Australia in 2007, when nearly 4,500 equine premises were infected in less than two months ([Brendan et al., 2009](#); [Callinan, 2007](#)) demonstrated how the lack of accurate spatial data on the equine population and its movements can greatly complicate the implementation of surveillance methods and control measures to combat and control diseases. It also showed how traceability information is helpful in rapidly implementing effective control measures ([Garner et al., 2010](#)). More recently, in the South of France, management of the nine outbreaks of equine infectious anemia virus (EIAV) occurring between 2017 and 2019 systematically required use of a specific epidemiological survey to identify neighboring structures and test equines that had potentially been in contact with equines already identified as being sick ([Amat et al., 2018](#); [Merlin et al., 2021](#)). In the absence of information on precise location of French equines, these investigations are time consuming and delay both the identification of sick animals and implementation of control measures.

This example shows that the traceability of equines in France needs to be improved in order to effectively take measures against diseases. Currently, only the movements of racehorses in training have to be traced for anti-doping tests. For all other equines, current French regulations only require registration of equine premises in the SIRE database, which is France's national identification system. They do not, however require the registration of the equines kept there. The spatial distribution of French equines is currently estimated from surveys of professional structures, and identification checks carried out by the French horse and riding institute (IFCE) ([Ecus-Ifce](#)). However, the representation obtained is partial, as the majority of equines are kept in non-professional structures, often on the horse owners' premises.

All around the world, surveillance plan strategies and outbreak management efforts in the equine sector are hampered by the lack of information on the precise location of equines and their movements. The recent enforcement in April 2021 of the European Union animal health law (EU's AHL) on transmissible animal diseases (Regulation (EU) 2016/429 ([Anonyme, 2016](#))) should improve the traceability of equines, imposing mandatory notification of equines' usual location. Nevertheless, the operational implementation of this measure should take many years, even in countries with near-complete equine identification and a centralized identification database. The regulatory registration of the location of all equines is not expected to be effective for some time.

In the meantime, it would be very useful to managers, epidemiologists, and researchers to have realistic estimates of equine densities at detailed spatial scales in order to improve checks, surveillance, and equine disease modeling. With this in mind, Giovanni Lo Lacono et al. ([Lo lacono et al., 2013](#)) implemented in their research a Bayesian method to estimate the spatial distribution of horses in Great Britain, based on the distribution of owner-equine distance. They used a sample of owner-equine pairs that were both precisely located to estimate the probable distance between an owner and his/her equine. Additionally, an environmental component (proportion of urban coverage) modulated the location probability so as to assign to the equine the most plausible location(s). The final result was a theoretical map of the British equine population.

Adapting the approach of Giovanni Lo Lacono ([Lo lacono et al., 2013](#)), our objective was to estimate the spatial distribution of the equine population in metropolitan France at the *commune* scale (a *commune* being the smallest French administrative unit). In our case, for comparison purposes and to assess whether the location of dead equines can be representative of that of alive equines, two samples of live equines and dead equines were used like training datasets. To assign a location to live equines registered in the central database from the SIRE database, two different assignment methods were realized. The first one assigned a single holding *commune* for all equines of each owner and the second method allowed one, two or three holding *communes* of owners, depending on the number of linked equines (one *commune* for one equine, two *communes* for two equines, or three *communes* for three or more equines). Different data sources and hypotheses that will be detailed later were used for this purpose, to obtain multiple results that are thereafter discussed. We will discuss in particular the value of combining multiple data sources and the contribution of using two samples and two methods.

4.3.2 Materials and Methods

Data sources and information

Several data sources were used to train the model and estimate the spatial distribution of the French equine population.

Training datasets

The model was calibrated using information from three datasets:

- A survey sample dataset of 2,353 precisely located live equine-owner pairs. This sample came from a 2019 national survey of owners and keepers registered in the SIRE database ([Farchati et al., 2020](#)). The main characteristics of this sample are available in [Table 4.2](#). The sample was obtained by linking each owner with one or more *communes* of equine ownership, with as many pairs as different *communes* of ownership for each owner. Racehorses in training were excluded from this dataset because they were considered differently in this study. This dataset is referred to as the live equine sample in the following.
- A sample of 13,595 dead equine-owner pairs extracted in April 2019 from the fallen stock data interchange (FSDI) database, which has been centralizing information on all removed (dead) animals—animal identification, *commune* of death, and information on the person who requested the removal (name, surname or company name, *commune* of residence)—since 2011. The pairs included were those for which i) the equine identification number was traceable in the SIRE database (n=97,327, i.e. 33% of 298,733 initial records in the extraction of FSDI), ii) there was a high probability that the applicant was the owner of the dead equine (n=44,771 among the 97,327) and iii) the applicant had

filled out the information on the cadaver online (n=13,595 among the 44,771) (through ATM¹ services managed by the IFCE). The selection was made by cross-referencing the FSDI and SIRE databases, and comparing the identification and location information for owners, keepers and removal applicants. The intention in limiting the sample to owners who used the online system was to increase the likelihood that the owners' home *communes* as registered in the SIRE database were up to date (as the recording of information at ATM allows it to update SIRE). This sample of dead equine-owner pairs is referred to as the dead equine sample in the following and is described in [Table 4. 2](#).

- Data extracted from the CORINE Land Cover (CLC) ([Cover](#)), geographic database, to calculate the proportion of urban coverage for each *commune* in metropolitan France. CLC is a biophysical inventory of European land use and its changes according to a nomenclature of 44 items. To take into account the urban/rural land use aspect for equines, we calculated the proportion of continuous and discontinuous urban coverage relative to the total surface area of each *commune*.

Mapping datasets

- In order to obtain realistic equine density maps, we assigned to each equine presumed to be living in metropolitan France a “holding” *commune* (where it was kept) out of the most probable ones, based on the model results. An initial identification of the equine presumed to be living in France was thus necessary. The SIRE database, managed since 1976 by the IFCE, centralizes declarative information on almost all of the equines living in France (equine identifying number, sex, breed, date of birth, date of death declaration (if relevant)), along with their owners (owner identifying number, *commune* for the owner's residence, date on which the equine owner became its owner, and date on which information was last updated) and in parallel information of keepers and equine premises (keeper identifying number, *commune* for the keeper's residence, *commune* of the equine premises and the date of the premises were opened and closed (if applicable)) without specific traceable link between keepers and the equines they keep, and therefore a lack of centralized equine location information in France. This database has also difficulty in identifying with certainty whether an equine is still alive or dead (it has been estimated that nearly 30% to 40% of owners have never reported the death of their dead equine(s) to the IFCE, or reported it long after the death (IFCE, personal communication)). The living equine population is consequently not well known. Four data sources were cross-checked to constitute the set of equine-owner pairs for which the equine and its owner were presumed to be living in Metropolitan France:

¹ ATM- équidés ANGEE (ATM) is an association created in 2009, following privatization of the public rendering service, to organize cadaver removal. It offers owners negotiated prices for cadaver removal in order to limit illegal burial and provide rendering companies with a guaranteed payment for removals.

- Data were extracted from the SIRE database in late March 2019 as a basis for selecting appropriate data. This dataset included 3,031,446 equines owned by 790,051 owners located in 35,359 *communes*.
- A dataset for 2015-2019 extracted from Europe's Trade Control and Expert System ([TRACES](#)) was used to identify equines that were no longer living in France because they had been exported. TRACES is a computerized system for international trade in live animals, animal products and certain non-animal products. It records, among other things, the SIRE identifier, transponder or international number and the date of departure of exported equines. The dataset extracted concerned 31,336 equines.
- The FSDI database was used to identify the dead equines collected by rendering companies that had not been declared dead in the SIRE database. The whole database since its creation was used i.e., 298,733 removals.
- A dataset of racehorses with the exact location of the horse corresponding to the commune in which it was being trained. This set included 37,776 trotters recorded as being in training at least once between August 2018 and August 2019, and 13,290 gallopers recorded as being in training at least once between July 2020 and October 2020. The dataset was compiled from monthly extractions of the databases for the two parent companies of horse racing in France: Le Trot (for trotters) and France Galop (for gallopers). For each horse in pre-training or training, each company records the SIRE identifier, the *commune* of the horse's location (premises where it is kept or where it is trained), and date of its entry/exit. Because these equines were accurately located, and the location of the owner(s) does not necessarily correspond to the location of the equine, due to the need for a specific (and rare) training structure, we did not apply the location algorithm to this population. However, we used the racehorse dataset to remove horses in training from the SIRE dataset and live equine sample.

From these four datasets, we obtained:

- A dataset of 1,068,142 equine-owner pairs corresponding to 1,068,142 equines presumed to be alive and belonging to 397,039 owners living in 32,837 *communes* in metropolitan France and resulting from the SIRE extraction after removing dead animals and cross-checking with the other data sources. Step by step, we removed the equines registered as dead in the SIRE database (16.4%, n=497,534), those registered as dead in the FSDI database but not in the SIRE database (1.2%, n=36,916), those older than 40 years (3.5%, n=105,640), those declared dead in the survey ([Farchati et al., 2020](#)) but not in the SIRE records (n=1), those exported (1.0%, n=31,321), equines without a microchip because old and probably dead (39.6%, n=1,200,822), racehorses in training (1.3%, n=40,891), and finally equines not located in metropolitan France (1.7%, n=50,179). This dataset is referred to as the equine dataset in the following.
- A dataset of 44,768 racehorses in training (12,785 gallopers and 31,983 trotters) along with their location, resulting from the removal of dead equines then the selection of a location for each equine

in metropolitan France on the date closest to April 1st, 2019 (date on which the data were extracted from the SIRE database). This dataset is referred to as the racehorse dataset in the following.

Modelling

Using the approach of Giovanni Lo Lacono (Lo lacono et al., 2013), we estimated the probability $P(r/r_0)$ that an equine is kept in *commune* of centroid $r = (x, y)$ knowing that its owner resides in *commune* of centroid $r_0 = (x_0, y_0)$. $P(r/r_0)$ was expressed by the following equation:

$$P(r / r_0) = \frac{\text{equines in the owner's commune}}{\delta(|r - r_0|)P_0(r_0)} + \frac{\text{equines in a different commune from the owner}}{[1 - \delta(|r - r_0|)][1 - P_0(r_0)]P_{sep}(r, r_0)} \quad (1)$$

with $P_0(r_0)$ the probability that the equine and owner are in the same *commune*, $|r - r_0| = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ the Euclidean distance between r and r_0 , $P_{sep}(r, r_0)$ the probability that the equine and the owner are localized *communes* remote from $|r - r_0| \neq 0$, and δ a Dirac function equal to 1 if the owner and the equine are in the same *commune*, and equal to 0 otherwise.

The probability $P_0(r_0)$ was related only to the urban coverage of the owners' *commune* of residence and obtained using the following equation:

$$P_0(r_0) = \begin{cases} n_1 * \frac{1}{u(r_0) * \sigma\sqrt{2\pi}} * e^{\left(-\frac{[\ln(u(r_0)) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)} & \text{if } u(r_0) \neq 0 \\ n_2 * \mathfrak{Z} & \text{if } u(r_0) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

with $u(r_0)$ the proportion of urban coverage of the owner's location, μ (the expectation) and σ (the standard deviation) the parameters of a lognormal distribution to be determined (Figure S-1 of supplementary material), n_1 and n_2 the normalization constants that ensure that $\int_1^N P_0(r_0) = \alpha$ (N being the number of potential *communes* less one in metropolitan France and α the proportion of equines kept in the same location as the owner) and $\mathfrak{Z}$ the proportion of owners keeping their equines in their place of residence and with zero urban coverage.

Furthermore, both the live and dead equine samples showed that the distribution of distances between the owners' location and their equine was well described by a power law (Figure 2). The probability that the owner and the equine were distant from $|r - r_0|$ was modeled by:

$$P_{sep}(r, r_0) = A * |r - r_0|^{-\beta} * [P_0(r)] \quad (3)$$

with $|r - r_0|^{-\beta}$ the probability that the owner and the equine are distant by $|r - r_0|$, A a constant set by the constraint $\int_{D-r_0} P_{sep}(r, r_0) = 1$ (with $D - r_0$ the set of all potential *communes* in France except the one of the owner's choice) and $P_0(r)$ defined in the equation (2).

Estimation of the parameters

Parameters σ and μ of the lognormal distribution of the distances in equation (2) were estimated using the least squares adjustment method. Parameter β of equation (3) was estimated using a Bayesian approach, using Markov chain Monte Carlo (MCMC) methods to generate a distribution for the parameter. The prior considered was a non-informative uniform distribution and the likelihood was given by:

$$P\left(\text{data} \middle| \frac{\text{observed}}{\beta}\right) = \prod_{i=1}^{N_{\text{obs}}} P(r_i/r_{0i}) \quad (4)$$

where N_{obs} was the number of owner-equine pairs in the sample, and r_{0i} and r_i the respective *communes* of the owner and his/her equine(s) for the i^{th} pair.

We used the MCMCpack R package (Martin et al., 2011) to generate a chain of 6,000 iterations with a burn-in of 1,000 iterations. The chain's convergence was monitored by Geweke's convergence diagnostic (geweke.diag (Geweke, 1991)).

We estimated two distributions of parameters β and two values for each of parameters σ , μ , from both the live and the dead equine samples.

Assignment of holding *commune(s)* to owners and equines

For each of the 1,068,142 owner-equine pairs from the equine dataset, we assigned one or more probable holding *communes* for equines using the previously calculated parameters and the urban coverage of the owners' *commune* of residence. We tested two different assignment methods. In the first one, we assigned each owner a single holding *commune* regardless of the number of equines linked with that owner, i.e., the holding *commune* selected was the same for all the equines paired with the same owner. The second method allowed more variability in the holding *communes* for owners linked with more than one equine. For them, we assigned up to two or three holding *communes*, depending on the number of linked equines (two *communes* for two equines, or three *communes* for three or more equines).

The steps were similar in both scenarios: for each owner, located in *commune C*, we first computed probability $P_O(C)$ that the equine was hosted in *commune C* using equation (2). Then, we randomly sampled a value $\mathcal{V}$ between 0 and 1. If $\mathcal{V}$ was lower than $P_O(C)$, then *commune C* was considered as a holding *commune* and we stopped the algorithm. If $\mathcal{V}$ was greater than $P_O(C)$, we computed, for all the distances between *commune C* and the other French *communes*, probabilities $P_{\text{sep}}(C)$ of the distance between the owner and his/her equine using equation (3). We finally randomly selected a holding *commune* among those with a maximum $P_{\text{sep}}(C)$. In method 1, only one $\mathcal{V}$ was randomly sampled for each owner and all linked equines were hosted in the same *commune*. In method 2, for

each owner with more than one equine, we randomly sampled 2 to 3 $\mathcal{V}_i$ ($i = 1, 2, 3$) depending on the number of equines linked with the owner (two, or three and more). Finally, the equines of each owner were randomly assigned to the selected *communes*. More detailed steps are available in supplementary material [Method 1](#) and [Method 2](#).

Estimation of the number of equines per *commune*

For each owner, we applied both methods and used the two distributions of the parameters obtained from both the live and the dead equine sample. A distribution of their equines locations was estimated using the MCMC method. Then, the procedure of drawing lots for a location (*commune*) described above was used to calculate a realization of this distribution (i.e. a random draw of a *commune* in the distribution of locations): it was therefore necessary to make repetitions to add variability. We performed 100 iterations for each method and parameter set. Finally, the number of equines assigned per *commune* for each method and parameter set was obtained by averaging the numbers obtained over the 100 iterations and adding the number of racehorses from the racehorse sample information.

4.3.3 Results

Characteristics of the samples and datasets

A description of the live equine sample ($n=2,353$), the dead equine sample ($n=13,595$), and the equine dataset ($n=1,068,142$) is available in [Table 4. 2](#). The distribution of sex among the dead equines was almost identical to those of both the live equine sample and the equine dataset, with a slight under-representation of males and over-representation of females in the dead equine sample. Saddle horses were over-represented in the live equine sample, while draft horses were under-represented in both the live and dead equine samples. The age distribution differed in the dead equine sample, with an overrepresentation of old equines (over 20 years of age) and very young equines (less than two years old). The number of equines per owner differed between the three datasets, with more owners linked to more than one equine in the dead equine sample (74% vs. 59% in the live equine sample, and 36% in the equine dataset).

The proportion of owners who kept their equines in their *commune* of residence decreased as the percentage of the *commune's* urban coverage increased ([Figure 4. 4A](#)). In addition, the distribution of the percentage of urban coverage was the same in both samples (live and dead equines, Wilcoxon test, $p > 0.05$). Most of the owners kept their equines in their *commune* of residence, but when they did keep them in a different *commune*, it was less than 30 km away ([Figure 4. 4B](#)) with no difference in the distance distributions between the live and dead equine samples (Wilcoxon test, $p > 0.05$).

TABLE 4. 2. Description of the dead equine sample, live equine sample and equine dataset

Information	Modalities	Dead equine sample (n=13,595)		Live equine sample (n=2,353)		Equine dataset (n=1,068,142)	
		N	%	n	%	n	%
Sex	NA	0	0.0	0	0	52	0.0
	Female	7 938	58.4	1234	52.4	575099	53.8
	Gelding	3 444	25.3	640	27.2	205426	19.2
	Male	2 213	16.3	479	20.4	287565	26.9
Age*	NA	5011	0.0	448	0.0	0	0.0
	0	115	1.3	0	0.0	0	0.0
	[1-2]	938	10.9	144	7.6	81324	7.6
	[3-10]	1850	21.6	678	35.6	402158	37.7
	[11-20]	2545	29.6	853	44.8	412812	38.6
	[21-30]	2820	32.9	226	11.9	151357	14.2
	>30	316	3.7	4	0.2	20491	1.9
Group of breeds	Donkey	822	6.0	70	3.0	46194	4.3
	Race horse	1923	14.1	341	14.5	216041	20.2
	Pony	3178	23.4	486	20.7	150962	14.1
	Saddle horse	6360	46.8	1362	57.9	467460	43.8
	Draft horse	1312	9.7	94	4.0	187485	17.6
Number of equine(s) per owner	1	1689	25.4	826	41.1	251939	63.5
	[2-5]	2222	33.5	814	40.5	112468	28.3
	[6-20]	1801	27.1	290	14.4	26875	6.8
	[21-100]	828	12.5	76	3.8	5437	1.4
	>100	98	1.5	2	0.1	320	0.1
Total number of different owners		6638	100	2008	100	397039	100

* In years; age at death for a dead equine, or age at the date of data extraction for a live equine

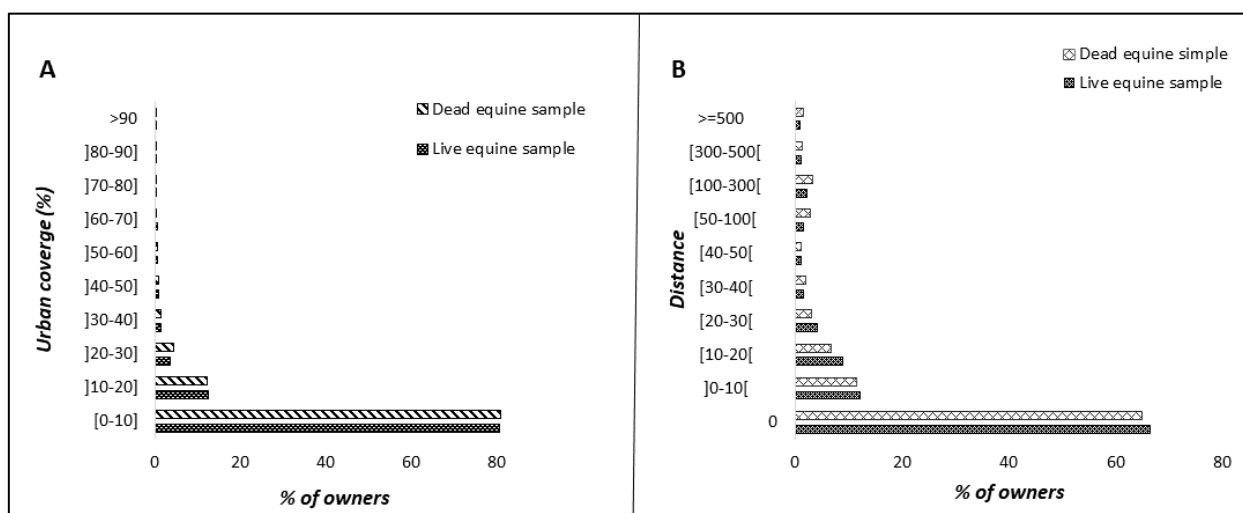


FIGURE 4. 4. Distribution of the proportion of owners keeping their equine in their commune of residence according to the urban coverage (A) and distribution of the proportion of owners (B) according to the distance between the residence and holding communes in the live and dead equine samples

National estimation of the spatial distribution of equines in France

The estimations obtained for β differed from 0.11 (95% credibility interval: 0.1114036-0.1114259) for the estimation resulting from the live equine sample to 0.05 (95%CI: 0.05842946-0.05844753) for the estimation from the dead equine sample (supplementary material [Figure A. II. 3](#)). However, the estimations obtained for σ and μ were quite similar with $\mu=-3.06$ and $\sigma=1.07$ (supplementary material [Figure A. II. 4](#)).

The average number of equines per *commune* varied greatly between *communes* depending on the method and sample used to estimate the distribution parameters ([Table 4. 3](#), [Figure 4. 5](#)).

TABLE 4. 3. Distribution of the average number of equines (among the 100 simulations) per *commune* depending on the assignment method and sample used to estimate the parameters

Sample	Method	Minimum	1st quartile	Median	Mean	3d quartile	Maximum
Live equine	1	0	6	13	30.7	33	10828
	2	0	2	7	30.6	36	1313
Dead equine	1	0	5	24	30.8	37	2810
	2	0	2	8	30.6	37	1418

A big difference between assignment Methods 1 and 2 was observed on the live and dead equine samples ([Table 4. 4](#); [Figure 4. 5A, B](#)). Using the live equine sample, only 2.4% of the 32,837 *communes* had the same number of equines with both methods ([Figure 4. 5A](#)). Method 1 assigned more equines in 66 % of the *communes*, with a mean difference of 28.9 equines but a median of 13 equines, indicating an asymmetric distribution of differences and large differences in some *communes* (maximum difference of 10.823 equines). In the 32% of *communes* where Method 2 gave a higher number of equines, the difference was more marked, with 75% of *communes* having more than 22 equines minimum compared with Method 1. Results were similar when using the dead equine sample, with 4.3% of *communes* having the same number of equines, and 73% having more equines with Method 1, though the difference is smaller than that observed with the live equine sample (median of 7 and mean of 16.4) ([Figure 4. 5B](#)). The distribution of the difference when Method 2 assigned more equines was quite similar to that observed with the live equine sample.

On the other hand, little difference was observed in the results according to the sample used when the same method was applied, with around 45% of *communes* having the same number of equines ([Table 4. 4](#); [Figure 4. 5C, D](#)) and less variability with Method 2. This limited variability was confirmed by both the small differences observed in the number of equines, whether the live or dead equine sample was used, and the near-symmetric distributions of these differences (whether positive or negative) (median= 2/-2 and mean =2.9/-2.9) ([Figure 4. 5D](#)). With Method 1, greater variability was observed between the two samples. When using the live equine sample, Method 1 assigned more equines to a *commune*, the average difference being 36.4 equines with a maximum of 10,822 ([Figure 4. 5C](#)). Negative differences were more limited, with an average and maximum difference of 21.4 and 37 equines respectively.

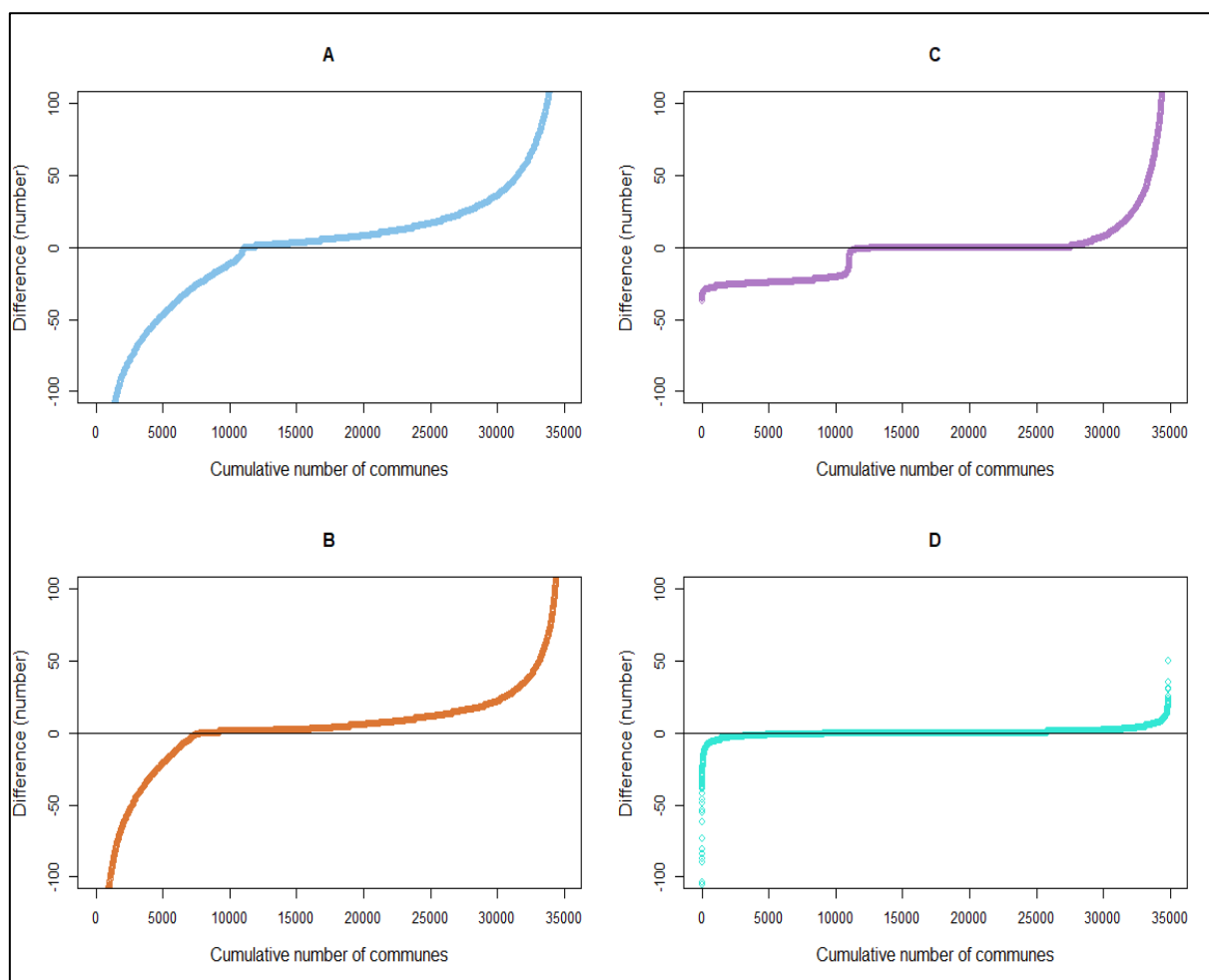


FIGURE 4.5. Difference in the average number of equines per *commune* according to the sample and method used (restricted to values between 100 and -100): (A) live equine sample Method 1 vs. Method 2, (B) dead equine sample Method 1 vs. Method 2, (C) Method 1 live equine sample vs. dead equine sample and (D) Method 2 live equine sample vs. dead equine sample.

TABLE 4. 4. Comparison of the results of the models: distributions of the difference in the average number of equines assigned to each *commune* according to the samples and models.

Comparison level	Method or sample concerned	Distribution of the difference	No difference	Positive difference	Negative difference
Live equine vs. dead equine sample	method 1	% (number of <i>communes</i>)	43.2 (15051)	20.8 (7257)	36.0 (12571)
		Minimum		1	-1
		1st quartile		5	-22
		Median		15	-24
		Mean		36.5	-21.4
		3d quartile		38	-26
		Maximum		10822	-37
	method 1	% (number of <i>communes</i>)	47.9 (16718)	26.0 (9073)	26.1 (9088)
		Minimum		1	-1
		1st quartile		1	-1
		Median		2	-2
		Mean		2.9	-2.98
		3d quartile		4	-3
		Maximum		50	-143
Method 1 vs. method 2	Live equine sample	% (number of <i>commune</i>)	2.4 (841)	65.7 (22910)	31.9 (11128)
		Minimum		1	-1
		1st quartile		5	-22
		Median		13	-42
		Mean		28.98	-59.2
		3d quartile		31	-74
		Maximum		10823	-457
	Dead equine sample	% (number of <i>communes</i>)	4.3 (1514)	73.4 (25612)	22.2 (7753)
		Minimum		1	-1
		1st quartile		2	-14
		Median		7	-33
		Mean		16.4	-53.5
		3d quartile		17	-66
		Maximum		1392	-423

Regarding differences in spatial distribution, Method 1 resulted in higher local equine densities and did not seem sensitive to urban areas, where estimated equine densities were high (Figure 4. 6A, C). The results were somewhat improved with the dead equine sample, which factored in urban areas better (Figure 4. 6C). In contrast, Method 2 resulted in a more dispersed picture of equines, with low densities in most dense urban areas regardless of the sample used (Figure 4. 6B, D). At a larger scale (*département* or *région*), regardless of the method or sample used, the estimates showed areas with higher densities in Normandy, Brittany, Pays-de-la-Loire, Bouches-du Rhône, Pyrénées Atlantiques and a lower density in the Massif Central (Figure 4. 6) . Finally, the addition of racehorse data to the estimates did not change the estimated spatial distributions, the areas of highest density in our estimates being those with the most racehorses (supplementary material Figure A. II. 5).

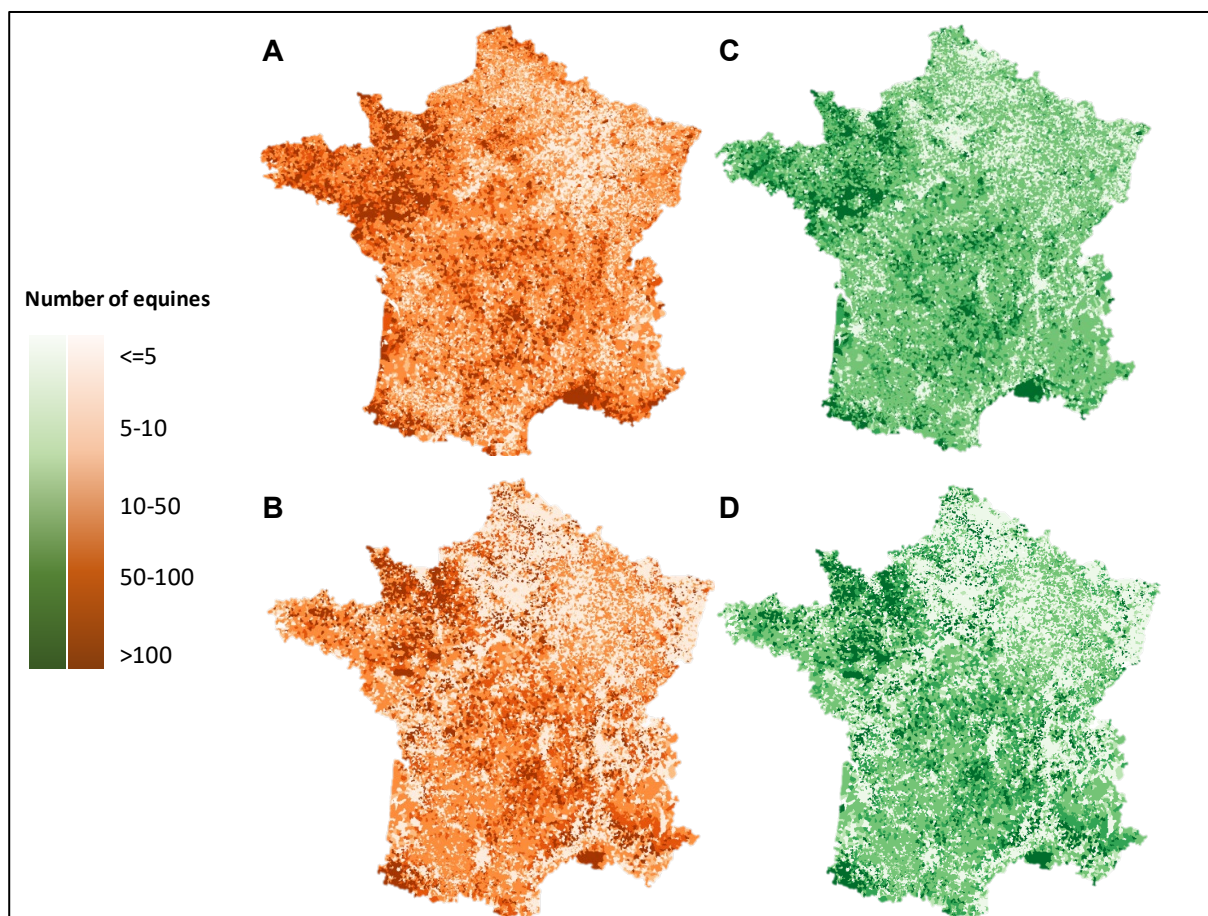


FIGURE 4.6. Spatial distribution of the equine population in France estimated from (A) Method 1 and live equine sample, (B) Method 2 and live equine sample, (C) Method 1 and dead equine sample and (D) Method 2 and dead equine sample (D) after inclusion of racehorse data.

4.3.4 Discussion

To our knowledge, this study is the first estimation of a national spatial distribution of French equines, including those kept by non-professionals, at the *commune* level. It supplements the studies conducted each year by the Economics Department of the IFCE, providing a map of the equine population (mostly kept in professional structures ([Ecus-Ifce](#)) by *région* (the largest French administrative unit) and/or *département* (the medium French administrative unit). While promising, our results showed some sensitivity to the sample and the method used, and some of the spatial estimates obtained were quite unrealistic, with a high density of equines in highly urban areas. We discuss here the results obtained with regard to the imprecision of data used, the influence of the hypotheses and the methodology used.

Potential effect of data bias on the density estimates

Two samples were used as training data for estimating the parameters of the model, including the distribution of distances between owners and equines. The live equine sample had the same limitations as the survey itself,

already mentioned in previous studies ([Farchati et al., 2020, 2021](#)). These limitations were mainly related to the bias in the representativeness of the respondents in terms of location and type of owners. Indeed, most owners in the sample kept their equine at home. Urban owners keeping horses on the outskirts of cities were thus very poorly represented, whereas they are in the majority in certain densely populated urban areas. This probably explains the excessive number of equines obtained in urban areas, since it was considered that most owners—including those in the city—kept their equine at home. This error was exacerbated by the fact that Method 1 located all the equines of a single owner in the same *commune*. For example, 10,828 equines were located in Ile-de-France probably due to the presence in the Paris of the national guard equines. This hypothesis is supported by the fact that the estimate based on the dead equine sample better factored in the urban area with both methods. The dead equine sample was more variable than the live equine sample, with a few more distances over 30 km and probably more retired equines further away from their owners. Nevertheless, this sample probably overrepresented professionals and multiple owners, as we aggregated data from several years. Statistically, owners with more equines were more likely to i) be included, ii) use the ATM system for dead equine removal, iii) provide their equine identification number and iv) update their information in the SIRE database. This is confirmed by the difference in the number of equines kept, with only 25% of owners of dead equines having only one equine and 40% having more than six, compared with 41% of owners of live equines having only one equine and 18% having more than six. Additionally, despite close cross-checking of data and information to differentiate owners from keepers among the people requesting cadaver removal, some keepers (as opposed to owners) may have been retained in the dead equine sample, participating in the overrepresentation of multiple owners. This probably explained the very high density of equine estimates in French breeding areas (Normandy, Brittany, Bouches-du-Rhône and Pyrénées-Atlantique) when using Method 1 with the dead equine sample.

Finally, the quality of the equine dataset used to assign the equines may have an impact on spatial estimates of equines. Indeed, a previous study of SIRE data quality ([Farchati et al., 2020](#)) indicated that nearly one-third of owners did not update their home address when they moved, while the location assignment of equines is based on this information. However, most of the owners who moved remained in the same *département* ([Farchati et al., 2021](#)), so the equine location error remains spatially localized (the equines distribution on a *département* scale (scale greater than the *commune*) is more robust). In addition, although we cross-checked the data, it is likely that many equines in this dataset were actually dead. It is possible that the probability of death is spatially homogeneously distributed (30-40% of owners did not report the death of their equine), in which case the overestimation of the number of equines is also likely to be evenly distributed across France.

Effect of the model, assumption and assignment methods

The main limitation in our adaptation of the work of Lo Lacono was the approximation of the location of owners and equines at the centroid of the *communes* because the exact (x, y) locations were not available. This probably had a strong effect on distance distribution estimates because equines and owners in the same

commune can be far apart, depending on the size of the *commune*. Similarly, an owner and equine(s) located in different *communes* may be very close if they are both close to the inter-communal “border”. In the first case the distance will be underestimated, while in the second case it will be overestimated. The effect of this approximation on the estimation of model parameters is not clear. The estimates of parameters σ and μ were quite similar regardless of the sample used. This similarity could be explained by the similarity of the two distributions of urban coverage for the owners who kept their equines in their *commune* of residence. In contrast, the estimates of the β parameter were very different from one sample to another. This difference could possibly be explained by the use of a Bayesian approach, which was sufficiently sensitive to the sample size and especially to the fact that its calculation took into account not only the urban coverage of the owner's *commune* of residence, but also the urban coverage of the equine holding *commune*, which differed for each owner-equine pair in the sample. When estimated from the dead equine sample, parameter β was much larger than when estimated from the live equine sample. It appears to be more realistic as fewer equines were assigned to high density urban areas.

Furthermore, the estimation of the spatial distribution of equines was very sensitive to the assignment method used, despite a first random step to select, for each owner, a holding *commune* from a list of all plausible holding *communes*. Assignment method 1 assumed that all the equines of a given owner were kept in the same *commune*. This approach limited the variability of holding *communes*, and exacerbated the effect of the bias in the samples used to estimate β . The results showed areas of very high local equine density, including the densest urban areas such as large cities. The bias in the spatial estimation was more limited when using the dead equine sample, the dataset including more variability. Assignment method 2 allowed more variability in the holding *commune* for owners having more than one equine. This approach resulted in a highly dispersed spatial distribution regardless of the sample used. Interestingly, the high density observed in large cities with Method 1 when using the live equine sample was no longer observed. Besides, Method 2 appeared less sensitive to the sample used, as differences between the estimations were limited (around two equines on average when a difference was in fact observed). The variability probably counterbalanced the bias in the samples used to estimate the distribution of distances.

4.3.5 Conclusion and perspective

Three of the four estimations of the spatial distribution of French equines are consistent with information collected by the IFCE ([Ecus-lfce](#)). It is probable that the reality lies somewhere between the results obtained using the two assignment methods. With very little difference between the results obtained using Method 2 with both samples and a more realistic map with Method 1 and the dead equine sample, our results show that the location of dead equines could be used to estimate the location of live equines. This could be extremely useful in a disease outbreak situation in order to effectively control the spread prior to implementation in the field of the EU's Animal Health Law. This work could be a source of inspiration for many countries affected by the same problematic as ours. An evaluation of the relevance of our estimates is therefore planned in the near

future by confronting our estimates with the surveys carried out in the field to check the traceability of equines in France, thanks to the censuses carried out by the IFCE.

Acknowledgments

We thank the French horse and riding institute (IFCE) and the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES) for their financial support. We are also very grateful to the data providers: IFCE, Le Trot, France Galop, the French ministry for agriculture and food. We would also like to thank the owners and keepers who answered our surveys. We need to thank various people having contributed in different ways to the realization of this work: Jean-Philippe Amat, Marie Delerue, Mathilde Dhollande, Romain Dhollande, Xavier Dornier, Joelle Dop, Arnaud Duluard, Bénédicte Ferry, Giovanni Lo Lacono, Carole Margelidon, Aurélie Merlin, Marion Wujek Moreau, Julie Schneider, Caroline Teyssier and Sonia Wittreck.

Reference

Amat, J.P., Tapprest, J., Gaudaire, D., Merlin, A., Strugar, S., Coulibaly, E., Grandcollot-Chabot, M., Hans, A., 2018. Deux cas d'anémie infectieuse des équidés détectés dans le sud-est de la France : point de situation n°2 (27/03/2018) Plateforme ESA.

Anonyme, 2016. Règlement 2016/429 du Parlement Européen et du Conseil du 9 mars 2016 publiée au journal officiel de l'Union Européenne le 31 mars 2016.

Brendan, C., Michael, P.W., Samuel, H., Greame, G., 2009. The equine influenza epidemic in Australia: spatial and temporal descriptive analyses of a large propagating epidemic. *Prev. Vet. Med.* 92, 60-70.

Callinan, I.H., 2007. Equine influenza. The August 2007 outbreak in Australia. <https://nla.gov.au/nla.obj-961843962/view?partId=nla.obj-962288923#page/n5 /mode/1up>, (consulté le 30 septembre 2021).

Cover, C.L., Corine Land Cover : données d'inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>, (consulté le 30 septembre 2021).

Ecus-Ifce, Annuaire écus, IFCE, Institut Français du Cheval et de L'équitation. <https://www.ifce.fr/recherche-transverse/?q=ANNUAIRE+%C3%89CUS&cb=https://www.ifce.fr/>, (consulté le 30 septembre 2021).

Farchati, H., Merlin, A., Sassac, M., Dornier, X., Dhollande, M., Garon, D., Tapprest, J., Sala, C., 2020. Is the French SIRE equine information system a good basis for epidemiological and modeling research? Quality assessment using two surveys. *Res. Vet. Sci* 134, 96–101.

Farchati, H., Merlin, A., Sassac, M., Dornier, X., Dhollande, M., Garon, D., Tapprest, J., Sala, C., 2021. Home Sweet Home: New Insights Into the Location of Equine Premises in France and Keeping Habits to Inform Health Prevention and Disease Surveillance. *Front Vet Sci.* 23, 8:701749.

Ferguson, N.M., D.A.T., C., S., C., Fraser, C., Riley, S., Meeyai, A., Iamsirithaworn, S., Burke, D.S., 2005. Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia. *Nature* 437, 209–214.

Ferguson, N.M., Donnelly, C.A., Anderson, R.M., 2001. Transmission intensity and impact of control policies on the foot and mouth epidemic in Great Britain. *Nature* 413, 542–548.

- Garner, M.G.**, Cowled, B., East, I.J., Moloney, B.J., Kung, N.Y., 2010. Evaluating the effectiveness of early vaccination in the control and eradication of equine influenza – a modelling approach. *Prev. Vet. Med.* 99, 15–27.
- Geweke, J.F.**, 1991. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. In *Bayesian Statistics 4* (ed JM Bernardo, JO Berger, AP Dawid and AFM Smith). Clarendon Press, Oxford, UK.
- Gudelj, I.**, K.A.J., W., 2004. Spatial heterogeneity, social structure and disease dynamics of animal populations. *Theor Popul Biol*, 66, 139–149.
- House, T.**, Keeling, M.J., 2008a. Deterministic epidemic models with explicit household structure. *Math. Biosci.* 213, 29–39.
- House, T.**, Keeling, M.J., 2008b. Household structure and infectious disease transmission. *Epidemiol. Infect.* 137, 654–661.
- Keeling, M.J.**, Danon, L., Vernon, M.C., House, T.A., 2010. Individual identity and movement networks for disease metapopulations. *Proc. Nat.l Acad. Sci. U.S.A.* 107, 8866–8870.
- Keeling, M.J.**, Woolhouse, M.E., Shaw, D.J., Matthews, L., Chase-Topping, M., Haydon, D.T., Cornell, S.J., Kappey, J., Wilesmith, J., Grenfell, B.T., 2001. Dynamics of the 2001 UK foot and mouth epidemic: Stochastic dispersal in a heterogeneous landscape. *Science* 294, 813–817.
- Lo Iacono, G.**, Robin, C.A., Newton, J.R., Gubbins, S., Wood, J.L., 2013. Where are the horses? With the sheep or cows? Uncertain host location, vector-feeding preferences and the risk of African horse sickness transmission in Great Britain. *J. R. Soc. Interface* 10, 20130194.
- Martin, A.D.**, Quinn, K.M., Park, J.H., 2011. MCMCpack: Markov chain Monte Carlo in R. *J. Stat. Software* 42, 323.
- Merlin, A.**, Gaudaire, D., Letorey, L., Delerue, M., Amat, J.P., Lecouturier, F., Madeline, A., Deshiere, A., Aubert, C., Poudevigne, F., Quinio, C., Martin, F., Strugar, S., Coulibaly, E., Depecker, A., Grancollot-Chabot, M., Hans, A., 2021. Synthèse des foyers d’anémie infectieuse des équines reportées en France entre 2017 et 2019.
- Swinton, J.**, Harwood, J., Grenfell, B.T., Gilligan, C.A., 1998. Persistence thresholds for phocine distemper virus infection in harbour seal *Phoca vitulina* metapopulations. *J Anim Ecol* 67, 54–68.
- TRACE**, The Trade Control and Expert System. https://ec.europa.eu/food/animals/traces_en, (consulté le 13 septembre 2021).

Partie 5. Discussion générale

Le travail de thèse a été réalisé de 2018 à 2021 dans le cadre du projet pérenne ValDonEqui (Valorisation combinée des données démographiques et sanitaires équines). Ce projet a pour objectif d'améliorer les connaissances démographiques et sanitaires de la population équine française, en valorisant de manière synergique des données collectées par les différents acteurs de la filière, afin d'être en mesure d'adapter les mesures de surveillance des maladies infectieuses et d'améliorer la lutte. Nos travaux de thèse concernaient le volet démographique du projet et le développement de nouvelles approches permettant de mieux estimer la taille et surtout la répartition spatiale de la population équine française à partir des données collectées en routine.

Notre démarche a consisté à tout d'abord recenser l'ensemble des données démographiques disponibles en France et à en évaluer la qualité et le potentiel pour répondre à notre problématique. Un important travail a été nécessaire pour définir la complémentarité des différentes sources de données et la manière de les exploiter conjointement. À partir de là, et sur le postulat que les informations disponibles sur les équidés étaient une source importante d'information sur la population vivante, nous avons testé de nouvelles approches pour estimer la taille de la population équine et sa répartition spatiale en se basant sur un certain nombre d'hypothèses que nous avons testées tout au long des différentes étapes du travail. Les résultats ont fait l'objet de discussions spécifiques au sein des différentes parties du manuscrit. Nous ne revenons donc pas en détail sur tous les éléments préalablement discutés, mais proposons une discussion plus générale et synthétique avant d'aborder les apports de notre travail et les perspectives envisagées.

5.1 Des hypothèses nombreuses mais nécessaires

En l'absence de données précises sur les habitudes des propriétaires et des détenteurs d'équidés en matière de détention des équidés, les résultats du travail reposent sur le postulat fort que l'on peut estimer la localisation des chevaux vivants à partir de la localisation des chevaux morts, de la localisation des propriétaires et des détenteurs. Ce postulat était la base permettant d'établir la contribution de chaque source de données à l'estimation de la répartition spatiale des équidés et de proposer des approches novatrices permettant de régulièrement mettre à jour les estimations. Il était également question de valoriser les informations de localisation collectées dans l'EDI-SPAN et permettant d'avoir, de manière continue, des lieux de morts, et potentiellement de vie, d'équidés. Les différentes hypothèses composant ce postulat ont été discutées avec les différents acteurs de la filière équine afin d'en vérifier la rationalité avant d'être testées au cours de notre travail.

Les hypothèses sur les équidés morts devaient permettre d'évaluer si l'EDI-SPAN pouvait servir de source d'information principale pour connaître précisément la localisation des équidés vivants à tout moment, notamment en cas d'épizootie. En effet, cette base de données collecte très précisément les lieux de mort de

équidés. Nous avons ainsi émis comme hypothèses que la commune de mort d'un équidé était sa commune de vie habituelle et qu'un équidé mort était remplacé par un équidé vivant de sorte que les équidés morts pouvaient être représentatifs, en termes de localisation et de densité, des équidés vivants.

Les hypothèses sur les habitudes des propriétaires et des détenteurs devaient, elles, permettre d'inférer à la population totale d'équidés et de propriétaires, les informations issues d'un échantillon d'équidés et de propriétaires. Pour ce faire, il a ainsi été défini qu'un propriétaire déclarant un équidé déclarait tous les équidés qu'il possédait, que, hormis pour les chevaux de course, un propriétaire localisait son ou ses équidés au(x) même(s) endroit(s) de manière préférentielle, et que des propriétaires habitant dans des zones proches avaient le même comportement pour localiser leurs équidés de même type. De même, un détenteur gardait le(s) même(s) type(s) d'équidés au cours du temps. Enfin, pour les chevaux de course, la localisation du cheval dépendait de son potentiel ou de ses performances et non pas de la localisation du propriétaire et ces équidés devaient être considérés à part dans la modélisation.

À partir de ces hypothèses, à partir de l'EDI-SPAN, le type d'équidé mort devait renseigner sur le type d'équidés détenus habituellement en ce lieu et, pour un propriétaire ayant plusieurs équidés de même(s) type(s) (loisirs, compétition, ...), la mort d'un de ses équidés devait indiquer, avec une certaine probabilité, le ou les lieux de détention de ses autres équidés.

L'enquête réalisée auprès des détenteurs et des propriétaires enregistrés dans SIRE a permis de valider une partie de ces hypothèses (déclaration des équidés, types d'équidés gardés et lieux habituels de détention, mort sur le lieu de vie). Néanmoins, les propriétaires vivant en zones fortement à moyennement urbanisées étaient sous représentés ; par exemple, il y avait très peu de répondants en Rhône-Alpes qui est l'une des régions avec le plus d'équidés et de pratiquants. Il est vraisemblable que ces propriétaires aient des comportements différents, notamment en termes de structures de détention utilisées et de distance à leur équidé. Les gros détenteurs étaient également sous-représentés. Il serait ainsi nécessaire de réaliser régulièrement ce genre d'enquête pour augmenter les connaissances et l'information disponibles et évaluer également si les habitudes de détention sont stables dans le temps.

Concernant la représentativité des équidés morts, les résultats des travaux de modélisation spatiale tendent à montrer que cette hypothèse est assez solide. Les estimations de répartition spatiale obtenues avec l'échantillon propriétaire-équidé mort étaient plus réalistes que celles obtenues avec l'échantillon propriétaire-équidé vivant et moins sensibles aux méthodes d'attribution des localisations. Il est fort possible que cette stabilité soit également due au volume de données cumulées sur plusieurs années et qui a favorisé la sélection de professionnels et de gros propriétaires, laissant penser que les habitudes de détention de ces propriétaires sont stables dans le temps.

La confrontation des estimations du nombre d'équidés par commune à la réalité du terrain prévue à court terme, grâce à une vérification réalisée par les contrôleurs de l'IFCE dans un échantillon de communes permettra de vérifier l'efficacité de nos hypothèses.

5.2 Des sources de données complémentaires mais complexes à articuler

Pour la réalisation de ce travail, nous disposions du SIRE contenant des informations relatives aux équidés, aux propriétaires et aux détenteurs, des données des contrôles d'identification réalisés par l'IFCE, de l'EDI-SPAN contenant les informations sur les animaux équarris, de données mensuelles des maisons mères de courses (le Trot et France Galop) avec des informations sur les chevaux de course à l'entraînement et la base TRACES avec les données d'import-export. La disponibilité de ces diverses sources de données était un atout majeur pour notre travail. Cependant, le défaut d'interconnexion entre ces sources ne permettait pas de les exploiter de manière simple et directe. Ainsi, un temps important a été consacré aux travaux préliminaires de description des données, nettoyage et croisement d'information afin de fournir une méthodologie d'exploitation conjointe de ces différentes sources de données pour en valoriser la complémentarité. Il a ainsi été possible de construire les jeux de données nécessaires aux travaux de modélisation de la taille et de la répartition spatiale de la population, et de comprendre la contribution des différentes sources de données à ces travaux.

Ainsi, l'EDI-SPAN via l'identification des équidés morts a permis de mettre à jour les dates de mort dans SIRE pour un certain nombre d'équidés, d'exclure les animaux morts pour actualiser la population d'équidés vivants. L'autre contribution majeure de cette base de données à notre travail a été de pouvoir disposer d'un grand nombre d'équidés pour lesquels la commune de mort (et de détention supposée) était disponible ainsi que la commune de résidence du demandeur d'enlèvement. Ceci permettait de disposer d'un échantillon conséquent de couples équidé (mort)-propriétaire parfaitement localisés et utilisables pour la modélisation spatiale. Cependant, les informations de l'EDI-SPAN n'étaient pas suffisantes pour savoir si le demandeur enregistré était le détenteur ou le propriétaire, l'un ou l'autre pouvant contacter l'équarrissage. Dans cette situation, le SIRE était idéalement complémentaire puisqu'enregistrant des informations sur les propriétaires, les éleveurs et quelques détenteurs. Pour les équidés dont le numéro d'identification enregistré dans l'EDI-SPAN était retrouvé dans SIRE, il était alors possible de vérifier, sous l'hypothèse que l'information concernant le propriétaire soit à jour dans SIRE si le demandeur de l'enlèvement était le propriétaire (match) et/ou le détenteur (non match). Dans les nombreux cas où l'identifiant de l'équidé n'était pas enregistré dans l'EDI-SPAN ou était erroné (Figure A.III. 1), il était néanmoins possible de déterminer si le demandeur était enregistré (pour un autre équidé) comme propriétaire, éleveur ou détenteur dans SIRE. En procédant ainsi, la perte de donnée a été minorée au maximum, même si elle peut sembler importante. Cette manière de faire a été présentée aux professionnels et l'importance du relevé de l'identification de l'animal à l'équarrissage a été entendue. Ainsi, une augmentation très significative du pourcentage des correspondances des identifiants entre EDI-SPAN et SIRE est observée entre 2011 et 2020 (Figure A.III. 2 : évolution de la proportion des identifiants enregistrés dans EDI-SPAN et traçables dans SIRE) : on est passé d'environ 8 % en 2011, à 28 % en 2014, puis 53 % en 2020. Cette montée en flèche du nombre de correspondances est fortement liée au projet ValDonEqui et aux travaux de thèse qui ont permis de sensibiliser les équarrisseurs à l'importance d'un

enregistrement de plus en plus systématique d'un identifiant correct. La légère baisse observée entre 2019 et 2020 pourrait être liée aux mesures barrières mises en place pour lutter contre la COVID 19 et qui a entraîné une limitation des contacts avec les détenteurs et rendu plus difficile la récupération de l'identifiant, celui-ci étant noté sur le passeport de l'animal. L'enregistrement systématique de l'identifiant des équidés dans l'EDI-SPAN, mais également son interconnexion avec SIRE permettrait de réaliser un bond spectaculaire dans la connaissance exacte du nombre d'équidés en France en faisant mourir, et à la bonne date, les équidés d'une base de données où ils « entrent » facilement, mais d'où ils peinent à « sortir ». De la même manière, la base TRACES, a permis d'actualiser SIRE en excluant les équidés définitivement exportés et ne devant pas participer à la modélisation.

Les données des sociétés de courses ont permis de disposer de la localisation exacte des chevaux de course en activité pendant et hors saison de courses et d'identifier des détenteurs (entraîneurs) et des lieux de détention (lieu d'entraînement). Ces données étaient indispensables à nos travaux du fait que les habitudes de localisation de ces équidés sont très particulières et ne peuvent pas être modélisées à partir des informations issues de la population générale. Elles étaient d'autant plus nécessaires que les chevaux de course à l'entraînement représentent 15 % de la population équine en France. Il était donc indispensable de les prendre en compte pour exclure des autres sources de données ces chevaux puis les intégrer à part dans nos estimations.

Enfin, les données des contrôles réalisés par l'IFCE ont permis de disposer de la localisation de certains lieux de détention d'équidés (les lieux contrôlés) avec parfois le nombre d'équidés détenus dans ces lieux (sans identification individuelle de ces équidés). Ces informations n'ont pas pu participer à la modélisation spatiale du côté de l'échantillon équidé vivant-propriétaire du fait que seules les informations des équidés présentant des anomalies ou non déclarés étaient répertoriées.

De la même manière, les données de naissances, qui devaient nous permettre d'identifier des lieux de stationnement des juments saillies, étaient incomplètes (arrêt de l'enregistrement de ces informations) et leur fiabilité incertaine en l'absence de contrôle. D'autre part, les juments reproductrices sont sujettes à de nombreux mouvements au cours d'une même année. Ces données de localisation n'ont donc pas été utilisées pour nos travaux de modélisation spatiale.

Globalement, le croisement des différentes sources de données a permis une amélioration significative de la qualité des données disponibles pour les estimations de la taille et de la localisation géographique des équidés. Au-delà des travaux de thèse, notre méthodologie de croisement de données est actuellement utilisée et pourra continuer à l'être pour poursuivre l'actualisation des équidés morts dans SIRE, et la sensibilisation des équarisseurs à l'importance du relevé de l'identifiant de l'équidé mort pour une meilleure traçabilité dans SIRE des équidés équarris. Côté exploitation des données de l'EDI-SPAN, les informations du SIRE devraient permettre d'affiner les analyses réalisées dans le cadre de l'utilisation des données EDI SPAN en surveillance syndromique via le suivi de la mortalité (Cazeau et al., 2019) avec des informations individuelles précises (race,

sexe, âge notamment). Les possibilités et l'efficacité de l'exploitation conjointe du SIRE et de l'EDI-SPAN reposent sur la qualité de leurs données encore très perfectible sur certains points. Ainsi, les retards ou défauts d'actualisation de la base SIRE par les détenteurs et les propriétaires rendent la qualité des informations les concernant relativement incertaine, avec des biais potentiels lors de leur utilisation.

Aussi, afin d'établir les jeux de données les plus justes possibles pour les travaux de modélisation, il était indispensable d'évaluer la qualité des données disponibles pour les variables qui nous intéressaient. L'évaluation des données EDI-SPAN avait fait l'objet de travaux antérieurs ([Tapprest et al., 2015](#); [Tapprest et al., 2017](#)) et l'évolution positive de la qualité des données depuis ces travaux a été prise en compte. La qualité des bases de données des sociétés mères était particulièrement bonne et ces bases ne nécessitaient pas d'évaluation spécifique. Parallèlement, les limites des données des bases TRACES et des contrôles de l'IFCE ont été rapidement identifiées. En revanche, une évaluation ciblée de la base SIRE était véritablement nécessaire.

5.3 Le SIRE : une base perfectible mais solide de très bonne qualité et des perspectives d'amélioration

L'évaluation de la qualité des données démographiques du SIRE a montré la grande valeur de cette base nationale d'identification, mais également ses limites et a permis de proposer des pistes d'amélioration. En particulier, la sous-déclaration marquée des exploitations équine identifiées par l'enquête a permis de confirmer que la connaissance des lieux de détention d'équidés en France était loin d'être complète, cet état de fait pouvant avoir un impact très négatif sur la gestion d'événements sanitaires majeurs. En effet, il est nécessaire de disposer d'informations complètes et à jour pour pouvoir identifier les installations équine et contacter les éleveurs et/ou propriétaires de la zone concernée en cas d'épizootie afin d'être en mesure de réaliser une enquête épidémiologique et de gérer au mieux les cas pour éviter la propagation de la maladie. Pour tenter d'améliorer la situation, des contrôles sont effectués depuis plusieurs années par l'IFCE et de nombreuses campagnes de communication sont également menées pour encourager les propriétaires et les détenteurs à se mettre à jour ou en conformité et plusieurs outils sont disponibles pour accompagner les détenteurs et propriétaires sur le site web de l'IFCE ([IFCE](#)). Au vu des résultats de notre évaluation de la qualité des données du SIRE, ces mesures incitatives ou coercitives mises en place par l'IFCE semblent n'avoir qu'une efficacité partielle. Ainsi, une approche sociologique pourrait éclairer sur les freins à la déclaration et les leviers à utiliser pour favoriser le respect de la réglementation, notamment chez les particuliers. Des enquêtes ciblées auprès des propriétaires passés par l'ATM-Angée lors de la mort de leur équidé et qui expliquait pourquoi les carnets d'identification n'étaient pas retournés à l'IFCE, a confirmé l'importance de la communication, mais également de travailler l'aspect sociologique. En attendant, la sous-déclaration et le retard de déclaration des décès des équidés dans SIRE confirment la nécessité d'utiliser d'autres sources de données (EDI-SPAN et TRACES) pour approximer le nombre réel d'équidés vivants France. Enfin, les résultats de l'évaluation du SIRE

ont permis de connaître les biais introduits dans la modélisation, notamment ceux dus aux défauts de mise à jour des données propriétaires (propriété et adresse) et de discuter des résultats au regard de ce biais.

La principale limite de l'évaluation de la qualité des données du SIRE menée via la double enquête nationale est que très peu de propriétaires et de détenteurs étaient accessibles (mail et autorisation disponibles). Cela signifie également qu'il n'est pas possible de contacter individuellement tous les propriétaires et détenteurs en cas d'épizootie. Il serait donc extrêmement utile d'inciter les propriétaires et détenteurs à fournir à l'IFCE des coordonnées valides (adresse e-mail, adresse postale et numéro de téléphone) et d'en autoriser leur utilisation dans un cadre bien défini. En cas d'épizootie ou de simples foyers, cela pourrait permettre de communiquer des informations utiles aux propriétaires et aux détenteurs, afin de mieux contrôler la maladie, mais également de les protéger dans le cas d'une zoonose (charbon bactérien, « anthrax » par exemple). Une dernière limite de l'enquête était la représentativité des répondants, avec notamment une sous-représentation des propriétaires ou détenteurs d'ânes et de chevaux de trait, qui devait limiter l'extrapolation des résultats à ces sous-populations équines particulières.

Enfin, notre évaluation s'est limitée aux données démographiques qui étaient dans le champ de notre travail de thèse. Cependant, le SIRE centralise également les données sanitaires liées à la réglementation de la monte dans certains stud-books. Il serait intéressant à l'avenir d'évaluer également ces données d'intérêt pour la surveillance et la lutte contre les maladies équines.

5.4 Des habitudes de détention utiles pour localiser les équidés

L'enquête menée sur la qualité des données du SIRE représentait également une opportunité pour collecter les informations nécessaires à l'évaluation de la répartition spatiale des équidés. Le travail de caractérisation des habitudes de détention des équidés en France avait ainsi pour objectif premier de répondre à deux autres étapes incontournables de la démarche de modélisation de la répartition spatiale. Il s'agissait, grâce à la double enquête nationale, de constituer un échantillon de propriétaires-équidés parfaitement localisés, mais également d'évaluer certaines de nos hypothèses initiales de travail. En particulier, l'enquête a permis de vérifier que les propriétaires répondants hébergeaient effectivement leurs équidés de même(s) type(s) aux même(s) endroit(s) et que ceux déclarant un équidé déclarait tous leurs équidés. Par ailleurs, l'enquête a révélé des informations détaillées sur les habitudes de détention des équidés en France de non-professionnels avec 57 % des personnes hébergeant leur(s) équidé(s) à domicile en tant que particulier. Les habitudes des particuliers sont actuellement mal connues bien qu'ils représentent une part importante des détenteurs de la filière équine. Or, d'un point de vue épidémiologique, ils peuvent jouer un rôle important dans la propagation des maladies équines. L'enquête menée a ainsi contribué, au côté d'autres études (Vial et al., 2011a, b), à une meilleure connaissance des pratiques des propriétaires et détenteurs d'équidés non-professionnels, qui devrait faciliter à terme leur localisation et ainsi la surveillance et la gestion sanitaire dans la filière. L'enquête a notamment mis en évidence une fragmentation des propriétaires-détenteurs non-professionnels et de leurs équidés et cette spécificité doit être prise en compte lors des enquêtes épidémiologiques, mais aussi en

recherche, lors de la modélisation de la propagation des maladies et des effets des mesures de contrôle. Cependant, l'enquête en général et l'échantillon constitué en particulier présentaient certaines limites. L'enquête n'a pu être envoyée qu'aux propriétaires et aux détenteurs enregistrés dans SIRE avec des coordonnées (mail) valides et acceptant d'être contactés par mail. Une faible proportion de ceux-ci était au final accessible (1,9 % des propriétaires et 8,2 % des détenteurs) et peu ont par ailleurs répondu à l'enquête (0,4 % des propriétaires et 1,6 % des détenteurs enregistrés dans la base SIRE). Ainsi, les répondants à l'enquête ne représentaient probablement pas tous les profils de propriétaires et de détenteurs, notamment les propriétaires-détenteurs occasionnels, qui sont sans doute les moins informés sur leurs obligations réglementaires et seront également les plus difficiles à contacter en cas d'événement sanitaire majeur. Concernant l'échantillon de propriétaires-équidés parfaitement localisés, il n'était pas non plus totalement représentatif de la filière équine avec notamment une sous-représentation des propriétaires et détenteurs d'ânes et de chevaux de trait, et une sous-représentation des particuliers vivant en zone urbaine et localisant leurs équidés en zone péri-urbaine. Cet échantillon présentait malgré tout l'intérêt d'être constitué d'une majorité de non-professionnels qui sont ceux qui sont les moins faciles à localiser.

5.5 Une estimation fine de la répartition spatiale des équidés à valider

En raison des données dont nous disposions (et surtout dont nous ne disposions pas), les méthodes classiques d'inférences spatiales (méthode du quadrat, plus proche voisin, triangulation, krigeage, etc.) n'étaient pas envisageables dans le cadre de notre travail. Nous avons choisi l'approche basée sur la distance séparant les lieux de résidence du propriétaire et de détention de leur(s) équidé(s) (Lo lacono et al., 2013) de par son originalité, la possibilité de disposer (plus ou moins) facilement des échantillons d'apprentissage nécessaires et parce qu'elle permet de réaliser des mises à jour à partir de nouveaux échantillons ou en complétant les échantillons collectés. Nous avons ainsi produit les premières estimations de la répartition spatiale des équidés à l'échelle de la commune en incluant les équidés des propriétaires non-professionnels. Ces résultats complètent les estimations réalisées par l'OESC de l'IFCE aux échelles régionales et départementales et qui concerne essentiellement les équidés détenus dans des structures professionnelles. Ainsi, nos résultats de par leur finesse géographique et leur exhaustivité sont d'un intérêt majeur pour la filière dans le cadre de la surveillance et de la gestion d'événements sanitaires, mais aussi dans le cadre de leur utilisation pour des travaux de modélisation de la diffusion des maladies. Cependant, nos résultats, bien que prometteurs, présentent des limites à prendre en considération et devront être mis à l'épreuve du terrain pour être validés.

Afin d'évaluer si les équidés morts pouvaient permettre d'estimer la localisation des équidés morts, nous avons réalisé des estimations de la distribution des distances entre équidés et propriétaires à partir de deux échantillons (équidés morts versus équidés vivants). Le poids des hypothèses des habitudes de détention sur les résultats des estimations, a été évalué en testant deux approches pour déterminer les communes de localisation des équidés : soit tous les équidés d'un même propriétaire étaient sur une seule et même commune, soit il était laissé la possibilité de disperser les équidés sur plusieurs communes. Les cartes de

densités obtenues n'étaient pas toutes réalistes et nos résultats ont montré une sensibilité à l'échantillon et à la méthode utilisés. En effet, l'échantillon d'équidés vivants avait les mêmes limites que l'enquête dont il est issu avec une majorité de propriétaires répondants qui hébergeaient leur(s) équidé(s) chez eux et une forte sous-représentation des propriétaires urbains. Ainsi, l'estimation réalisée à partir des équidés vivants, lorsque tous les équidés étaient affectés sur une seule commune, a abouti à une surdensité des équidés en milieu urbain du fait que la distribution des distances était tirée par les propriétaires hébergeant leurs équidés chez eux. Le fait de n'affecter qu'une seule commune de détention pour un propriétaire exacerbait le phénomène. La possibilité d'affecter les équidés dans différentes communes apportait une nette amélioration avec un meilleur respect des zones urbaines et une répartition spatiale plus fragmentée. Cette dernière estimation était extrêmement proche de celle obtenue dans les mêmes conditions mais avec l'échantillon d'équidés morts laissant penser que la répartition spatiale des équidés morts est bien représentative de celles des vivants, d'autant qu'elle est moins sensible au modèle d'affectation, sans doute en raison du volume des données et d'un meilleur équilibre entre professionnels et non-professionnels, petits et gros propriétaires.

Les effets des défauts de mise à jour des adresses des propriétaires du SIRE sur les estimations sont difficiles à évaluer, mais doivent être négligeables du fait que la plupart des changements d'adresse avaient lieu au sein d'un même département. Par contre l'approximation au centroïde des communes de résidence des propriétaires et détention des équidés a nécessairement biaisé le calcul des distances séparant les équidés de leurs propriétaires puisque des équidés peuvent être dans la même commune que leur propriétaire tout en étant très éloignés de ce dernier et, qu'inversement, ils peuvent être dans des communes différentes tout en étant très proches de leur propriétaire. Le volume des données a dû cependant rééquilibrer entre les différents cas.

Enfin, les deux modes d'affectation des équidés d'un propriétaire (une commune versus plusieurs communes) correspondent à des extrêmes (concentration maximale versus fragmentation maximale) et la réalité est certainement entre les deux, avec une variabilité des comportements notamment en fonction du nombre d'équidés détenus, de leur(s) type(s) et de leur(s) utilisation(s), facteurs qui pourraient être pris en compte dans des travaux futurs. De plus, si trois des quatre estimations cartographiques paraissent cohérentes avec les informations collectées par l'IFCE sur la filière, il n'en reste pas moins qu'il est indispensable de contrôler la pertinence de ces estimations. Ceci est prévu à court terme, par un contrôle de cohérence entre le nombre d'équidés estimés et les recensements réalisés dans certaines zones par les contrôleurs de l'IFCE.

Si cette confrontation est favorable, des améliorations peuvent être apportées en utilisant des échantillons plus représentatifs en réitérant le type d'enquête que nous avons mené, en faisant varier les paramètres pour s'adapter aux spécificités de chaque sous-population d'équidés, ou encore en stratifiant la population des équidés par types et/ou par activité (grâce à l'utilisation complémentaire de données collectées par les différents secteurs de la filière et notamment par la fédération française d'équitation ([Lindner and Offeney,1992](#))).

Les avancées obtenues en termes de modélisation de la répartition spatiale des équidés ne doivent cependant pas occulter les difficultés rencontrées pour estimer la taille de la population équine française.

5.6 Une taille de population équine cependant toujours difficile à estimer

Deux approches applicables aux données disponibles en filière équine ont été utilisées dans notre travail pour estimer la taille de la population équine vivante : utilisation des cohortes de naissances et des survies des équidés morts pour estimer les taux de mortalité. Elles ont fourni des chiffres très variables avec de très grands écarts de valeurs entre les méthodes et au sein d'une même méthode : estimations variant de 182 341 à 1 763 294 équidés. La difficulté à obtenir des résultats cohérents est fortement liée aux limites de chaque source de données utilisée (défaut d'exhaustivité et/ou de mises à jour des informations), mais aussi aux méthodes employées et à la complexité à suivre le trajet d'un équidé de sa naissance à sa mort.

L'adaptation de méthodes classiquement utilisées pour estimer la taille de populations, notamment les méthodes de capture-recapture a été explorée. Cependant, les sources de données des équidés ne satisfaisaient pas les hypothèses d'utilisation. Il serait cependant envisageable dans l'avenir d'explorer l'application des méthodes de capture-recapture pour estimer le nombre de propriétaires et/ou de détenteurs d'équidés actifs et en déduire secondairement un nombre d'équidés vivants. D'autres méthodes très différentes pourraient être explorées telles que l'amplificateur par réseau (network scale up) ou encore du benchmark-multiplier qui sont des méthodes utilisées pour estimer la taille de micro-populations humaines marginalisées et difficiles à enquêter (Rolland-Guillard et al., 2020). Si ces méthodes ne sont sans doute applicables qu'à des sous-ensembles de population et non à la population totale, elles pourraient néanmoins contribuer à mieux connaître la taille de la population d'équidés détenus par les particuliers qui offrent une grande variété de profils.

Une perspective plus immédiate et très concrète est de continuer à favoriser la remontée des informations sur les équidés morts et exportés pour permettre une mise à jour régulière de la base SIRE. À côté de nos travaux de thèse, les travaux plus opérationnels réalisés au sein de différents groupes de travail du projet Valdonequi permettent de sensibiliser les différents acteurs de la filière équine à l'importance d'une meilleure traçabilité et de mettre en œuvre des solutions concrètes. De même, la méthodologie de croisements des données développée dans notre travail et réutilisable chaque année, permettra de continuer à améliorer le SIRE et contribuera à une meilleure appréhension de la taille de la population équine. Le nettoyage des données SIRE par croisement des sources de données pour obtenir la population à localiser a abouti à un chiffre beaucoup plus proche de ceux estimés par l'IFCE, soulignant l'importance de poursuivre dans cette direction.

Conclusion et perspectives

Les résultats de ce travail ont permis d'améliorer la connaissance de la population équine française par l'obtention de cartes théoriques de la répartition des équidés à une échelle fine. Il est prévu à court terme de vérifier la plausibilité des estimations bayésiennes dans plusieurs zones géographiques pour lesquelles la population équine est connue de manière exhaustive et précise grâce aux recensements réalisés par les contrôleurs de l'IFCE, notamment dans le cadre d'apparition de foyers d'anémie infectieuse des équidés. Par ailleurs, il sera demandé aux acteurs des différents secteurs de la filière équine de faire un retour sur l'adéquation de l'approche méthodologique utilisée à leur connaissance terrain de chacun des secteurs. Ceci devrait permettre d'adapter la méthodologie et de la faire évoluer en fonction des types d'équidés considérés pour obtenir des cartographies par secteur. De la même manière, de nouvelles enquêtes permettant une meilleure appréhension des compartiments méconnus de la filière pourront contribuer à faire évoluer l'approche.

L'obtention des cartographies théoriques de la population équine à l'échelle communale permet également d'entrevoir des perspectives d'application pratiques immédiates. En effet, en cas d'épizootie, l'établissement de cartes simulant la répartition des équidés à l'échelle locale pourra être très utile pour faciliter un recensement orienté des équidés par les agents de l'IFCE et, par ce biais, l'enquête épidémiologique. Ces cartographies pourront également être utilisées pour des travaux de recherche, notamment dans le cadre de travaux de modélisation de la diffusion des maladies.

Notre travail a également permis de fournir des pistes d'exploitation conjointe des différentes sources de données disponibles en filière équine afin de pouvoir les valoriser dans des objectifs de surveillance, de gestion sanitaire et de recherche épidémiologique. Les difficultés rencontrées pour croiser les données de différentes bases pourraient être levées si une clé unique était utilisée par les différents acteurs de la filière pour optimiser l'interopérabilité des bases de données. Les résultats de nos travaux ont également apporté un nouvel éclairage sur les habitudes de détention des équidés pour la population mal connue des particuliers. Cet éclairage pourra être approfondi dans le futur par la réalisation d'enquêtes complémentaires auprès de populations sous-représentées dans notre enquête telles que les chevaux de trait et les ânes.

Notre travail a eu des retombées plus larges dans le cadre du projet Valdonequi. Il a en effet très concrètement contribué au travail collaboratif réalisé dans le cadre de ce projet multi-partenarial, en particulier au sein de deux groupes de travail – le groupe de travail « traçabilité abattoir » et le groupe de travail « traçabilité équarrissage » - qui réunissaient l'ensemble des parties prenantes concernées dans chacun des deux cas. La présentation de l'avancée des travaux de thèse à ces groupes ainsi qu'au Comité de pilotage annuel du projet Valdonequi a sensibilisé les différents acteurs à la nécessité d'une traçabilité plus complète et réactive des animaux morts (abattus et équarris) et à l'importance d'une interopérabilité des bases de données. Cette sensibilisation a permis d'aboutir à différentes pistes consensuelles d'interfaçage entre les

bases de données au sein des groupes de travail. Ainsi, une connexion IFCE-équarisseurs a été mise en place depuis quelques mois avec l'une des deux principales sociétés d'équarrissage et les autres sociétés d'équarrissage devraient suivre le même chemin dans un avenir proche. Parallèlement, une interface entre les abattoirs et la base SIRE a été développée par l'IFCE en collaboration étroite avec la DGAL pour un enregistrement en temps réel des équidés abattus dans SIRE. Cette interface sera testée en fin d'année 2021 dans un abattoir pilote afin d'en évaluer la praticité. Ces connexions entre les données d'identification, les données d'équarrissage et les données d'abattoir devraient permettre à l'avenir une actualisation très régulière du SIRE en termes d'équidés morts et par voie de conséquence une meilleure connaissance de la taille de la population d'équidés vivants. Par ailleurs, la sensibilisation des représentants des sociétés d'équarrissage a rapidement permis la mise en place de mesures pratiques sur les terrains favorables à un enregistrement plus fréquent et plus juste de l'identifiant des équidés dans la base EDI-SPAN (scannage des livrets, utilisation de lecteurs de transpondeurs) et qui ont eu un impact positif très significatif sur la traçabilité des équidés morts équarris.

Enfin, nous devons replacer notre travail dans le cadre de l'évolution actuelle de la réglementation européenne avec la mise en œuvre récente en France de la loi de santé animale (Règlement (UE) 2016/429 du 9 mars 2016 relatif aux maladies animales transmissibles). Celle-ci prévoit l'obligation pour les États membres de tenir à jour une base de données informatique des animaux de l'espèce équine détenus avec l'enregistrement des données d'identification pertinentes, mais également de leur lieu habituel de détention. Ainsi, à long terme, il est prévu que les informations de localisation individuelle des équidés soient présentes dans SIRE. Dans cet objectif, des évolutions du SIRE sont actuellement en cours. Cependant, pour obtenir l'exhaustivité des données de localisation de la population équine nationale, il faudra sans doute plusieurs années. Il sera nécessaire de mener des campagnes d'information des détenteurs et propriétaires d'équidés sur leurs nouvelles obligations réglementaires. Il faudra également que ces derniers respectent la réglementation et pour cela poursuivre les contrôles menés par l'IFCE. Au-delà, il serait pertinent de mener des enquêtes privilégiant une approche sociologique pour mieux comprendre les freins au respect de la réglementation et envisager de possibles leviers. Enfin, la perspective de long terme d'une base de données SIRE exhaustive ne doit ni empêcher la poursuite des travaux collaboratifs menés dans le cadre du projet Valdonequi ni freiner l'initiation de travaux de recherche complémentaires pour une meilleure connaissance de la taille et de la localisation des équidés – socle indispensable dès à présent pour la sécurité sanitaire de la filière équine.

Au-delà du territoire national, les résultats de ces travaux peuvent représenter une source d'inspiration pour de nombreux pays, car la problématique de la traçabilité et de la localisation des équidés n'est pas particulière à la France

Bibliographie

- AEEMA, 2016. Terminologie en épidémiologie animale. <http://aeema.vet-alfort.fr/index.php/component/glossary/Glossaire-1/>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Amat, J.P., 2016. Contribution à l'amélioration des systèmes de surveillance par l'interconnexion : application à trois maladies de la filière équine. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01806325/document>, (consulté le septembre 2021).
- Amat, J.P., Tapprest, J., Gaudaire, D., Merlin, A., Strugar, S., Coulibaly, E., Grandcollot-Chabot, M., Hans, A., 2018. Deux cas d'anémie infectieuse des équidés détectés dans le sud-est de la France : point de situation n°2 (27/03/2018) Plateforme ESA.
- Anonyme, 2001. Décret n° 2001-913 du 5 octobre 2001 relatif à l'identification et à l'amélioration génétique des équidés et modifiant le décret n° 76-352 du 15 avril 1976 fixant les modalités d'application aux équidés de la loi n° 66-1005 du 28 décembre 1966 sur l'élevage.
- Anonyme, 2004. Arrêté du 21 mai 2004 relatif à l'identification complémentaire des équidés par la pose d'un transpondeur électronique.
- Anonyme, 2008. Règlement (CE) n° 504/2008 de la Commission du 6 juin 2008 portant application des directives 90/426/CEE et 90/427/CEE du Conseil en ce qui concerne les méthodes d'identification des équidés.
- Anonyme, 2010. Décret n° 2010-90 du 22 janvier 2010 relatif à l'Institut français du cheval et de l'équitation.
- Anonyme, 2012. Décret n°2012-1036 du 7 septembre 2012 relatif à l'identification et à la détention des équidés domestiques. JORF n°0210 du 9 septembre 2012 p. 14507.
- Anonyme, 2015. Règlement d'exécution (UE) 2015/262 de la Commission du 17 février 2015 établissant des règles conformément aux directives du Conseil 90/427/CEE et 2009/156/CE en ce qui concerne les méthodes d'identification des équidés (règlement sur le passeport équin).
- Anonyme, 2016. Règlement 2016/429 du Parlement Européen et du Conseil du 9 mars 2016 publiée au journal officiel de l'Union Européenne le 31 mars 2016.
- Asia, W.H.O.R.O.f.S.-E., 2014. A brief guide to emerging infectious diseases and zoonoses. World Health Organization, New Delhi, India,. WHO Regional Office for South-East Asia. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204722>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Bachmann, I., Stauffacher, M., 2002. Housing and Use of Horses in Switzerland: A Representative Analysis of the Status Quo. Schweiz. Arch. Tierheilkd. 144, 331-347.
- Boden, L.A., Parkin, T.D.H., Yates, J., Mellor, D., Kao, R.R., 2012. Summary of current knowledge of the size and spatial distribution of the horse population within Great Britain. BMC Vet Res 8:43.
- Boden, L.A., Parkin, T.D.H., Yates, J., Mellor, D., Kao, R.R., 2013. An online survey of horse-owners in Great Britain. BMC Vet Res 8:188.
- Borchers, D., Buckland, S., Zucchini, W., 2002. Estimating Animal Abundance: Closed Populations. Springer Science & Business Media, 314 p

-
- Boyle, A.G.**, Timoney, J.F., Newton, J.R., Hines, M.T., Waller, A.S., Buchanan, B.R., 2018. Streptococcus equi Infections in Horses: Guidelines for Treatment, Control, and Prevention of Strangles—Revised Consensus Statement. *J Vet Intern Med* 32, 633–647.
- Brendan, C.**, Michael, P.W., Samuel, H., Greame, G., 2009. The equine influenza epidemic in Australia: spatial and temporal descriptive analyses of a large propagating epidemic. *Prev. Vet. Med.* 92, 60-70.
- Buckland, S.T.**, Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L., Thomas, L., 2004. Advanced Distance Sampling. Oxford University Press, Oxford.
- Buckland, S.T.**, Anderson, K.P., Burnham, J.L., Borchers, D.L., Thomas, L., 2001. Introduction to Distance Sampling. Oxford University Press, Oxford.
- Buckland, S.T.**, Rexstad, E.A., Marques, T.A., Oedekoven, C.S., 2015. Distance Sampling: Methods and Applications. Methods in Statistical Ecology. Springer International Publishing.
- Callinan, I.H.**, 2007. Equine influenza. The August 2007 outbreak in Australia. <https://nla.gov.au/nla.obj-961843962/view?partId=nla.obj-962288923#page/n5 /mode/1up>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Carlson, C.J.**, Getz, W.M., Kausrud, K.L., Cizauskas, C.A., Blackburn, K.J., Carrillo, F.A.B., Colwell, R., Easterday, W.R., Ganz, H.H., Kamath, P.L., Økstad, O.A., Turner, W.C., Kolstø, A.B., Stenseth, N.C., 2018. Spores and soil from six sides: interdisciplinarity and the environmental biology of anthrax (*Bacillus anthracis*). *Biological reviews* 93, 1813-1831.
- Cazeau, G.**, Leblond, A., Sala, C., Froustey, M., Beck, C., Lecollinet, S., Tapprest, J., 2019. Utility of examining fallen stock data to monitor health-related events in equids: application to an outbreak of West Nile Virus in France in 2015. *Transboundary and emerging diseases*, Wiley-Blackwell, 1-3.
- Chao, A.**, 2001. An Overview of Closed Capture–Recapture Models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 6, 158–175.
- Cochran, W.G.**, 1978. Laplace’s ratio estimators. Pages 3-10 in H. A. David, editor. Contributions to survey sampling and applied statistics. Academic Press, New York.
- Conn, P.B.**, Cooch, E.G., 2009. Multiliste capture-recapture analysis under imperfect state observation : an application to disease model. *Journal of Applied Ecology* 46, 486–492.
- Cook, R.F.**, Leroux, C., Issel, C.J., 2013. Equine infectious anemia and equine infectious anemia virus in 2013: A review. *Veterinary Microbiology* 167, 181-204.
- Cover, C.L.**, Corine Land Cover : données d’inventaire biophysique de l’occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Cressie, N.**, 1984. Towards resistant geostatistics. In G. Verly (Eds.), *Geostatistics for Natural Resources Characterization*.
- Defra**, 2018. Department for Environment Food and Rural Affairs (Defra), 2018. Consultation on Changes to the Identification of Equines, Summary of Responses, May 2018.
- Devun, A.**, 2021. Protocole de Monte. <https://www.federationdeseleveursdugalop.fr/upload/news/9549-Protocole-Sanitaire-2021.pdf>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Dornier, X.**, 2010. Estimation d’indicateurs sur les effectifs d’équidés et les emplois qu’ils génèrent en France. In: 36th Journ’ee De La Recherche Equine, 251–254.

- Doyle, T.J., Glynn, M.K., Groseclose, S.L., 2002.** Completeness of Notifiable Infectious Disease Reporting in the United States: An Analytical Literature Review. *American Journal of Epidemiology* 155, 866-874.
- DRAAF, 2020.** Loi Santé Animale. https://draaf.normandie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/20201013-LSA_V1_cle0319f3.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).
- DRAAF, 2021.** La nouvelle catégorisation des maladies animales et ses impacts. <https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/01-La-nouvelle-categorisation-des>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Dufour, B., Hendrikx, P., 2011.** Surveillance épidémiologique en santé animale, troisième édition. Quae et AEEMA, Versailles - Maisons-Alfort, France, 341 p.
- Ecus-Ifce, Annuaire ecus, IFCE, Institut Français du Cheval et de L'équitation.** <https://www.ifce.fr/recherche-transverse/?q=ANNUAIRE+%C3%89CUS&cb=https://www.ifce.fr/>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Ecus-Ifce, 2019.** Bilan statistique de la filière équine française, Données 2018/2019. https://equipedia.ifce.fr/bibliotheque/3. Guide_pocket_et_autres_pdf/3.5_Autres_pdf/ECUS-2019-bd.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).
- Egenvall, A., Penell, J.C., Bonnett, B.N., Olson, P., Pringle, J., 2006.** Mortality of Swedish horses with complete life insurance between 1999 and 2000: variations with sex, age, breed and diagnosis. *Vet. Rec.* 158, 397-406.
- Engelsen, A., 2017.** Quelle législation pour les équidés en Europe ? Institut Français du Cheval et de l'Equitation. 224 p
- ESA, Le plateforme épidémiosurveillance santé animal (ESA).** <https://www.platforme-esa.fr/page/la-platforme-esa-0>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Farchati, H., Merlin, A., Sassac, M., Dornier, X., Dhollande, M., Garon, D., Tapprest, J., Sala, C., 2020.** Is the French SIRE equine information system a good basis for epidemiological and modeling research? Quality assessment using two surveys. *Res. Vet. Sci* 134, 96–101.
- Farchati, H., Merlin, A., Sassac, M., Dornier, X., Dhollande, M., Garon, D., Tapprest, J., Sala, C., 2021.** Home Sweet Home: New Insights Into the Location of Equine Premises in France and Keeping Habits to Inform Health Prevention and Disease Surveillance. *Front Vet Sci.* 23, 8:701749.
- Ferguson, M.E., Newbury, H.J., Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V., Robertson, L.D., 1998.** Population genetic structure in Lens taxa revealed by isozyme and RAPD analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution* 45, 549–559.
- Ferguson, N.M., D.A.T., C., S., C., Fraser, C., Riley, S., Meeyai, A., Iamsirithaworn, S., Burke, D.S., 2005.** Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia. *Nature* 437, 209–214.
- Ferguson, N.M., Donnelly, C.A., Anderson, R.M., 2001.** Transmission intensity and impact of control policies on the foot and mouth epidemic in Great Britain. *Nature* 413, 542–548.
- Foucher, N., 2021.** Intérêts d'une autopsie. [file:///C:/Users/h.farchati/Downloads/Interets_dune_autopsie%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/h.farchati/Downloads/Interets_dune_autopsie%20(1).pdf), (consulté le 30 septembre 2021).
- Galvin, N., Corley, K., 2010.** Causes of disease and death from birth to 12 months of age in the Thoroughbred horse in Ireland. *Irish Veterinary Journal* 63, 37-43

- Garner, M.G.**, Cowled, B., East, I.J., Moloney, B.J., Kung, N.Y., 2010. Evaluating the effectiveness of early vaccination in the control and eradication of equine influenza – a modelling approach. *Prev. Vet. Med.* 99, 15-27.
- Geweke, J.F.**, 1991. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. In *Bayesian Statistics 4* (ed JM Bernardo, JO Berger, AP Dawid and AFM Smith). Clarendon Press, Oxford, UK.
- Giles, R.C.**, Donahue, J.M., Hong, C.B., 1993. Causes of abortion, stillbirth and perinatal death in horses, 3527 cases (1986-1991). *J. Am. Vet. Med. Ass.* 203, 1170- 1175.
- Glennie, R.**, Buckland, S.T., Thomas, L., 2015. The Effect of Animal Movement on Line Transect Estimates of Abundance. *PLoS ONE*, 10(13): e0121333.
- Gudelj, I.**, K.A.J., W., 2004. Spatial heterogeneity, social structure and disease dynamics of animal populations. *Theor Popul Biol*, 66, 139–149.
- Haas, S.D.**, Bristol, F., Card, C.E., 1996. Risk factors associated with the incidence of foal mortality in an extensively managed mare herd. *Can Vet J.* 91.
- Hartig, W.**, Houe, H., Andersen, P.H., 2013. Monitoring of equine health in Denmark: the importance, purpose, research areas and content of a future database. *Prev. Vet. Med.* 109, 92-105.
- Häsler, B.**, Howe, K.S., Stärk, K.D., 2011. Conceptualising the technical relationship of animal disease surveillance to intervention and mitigation as a basis for economic analysis. *BMC Health Services Research* 11, 225.
- Hedley, S.L.**, Buckland, S.T., 2004. Spatial models for line transect sampling. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 9, 181–199.
- Hest, R.V.**, 2007. Capture-recapture methods in surveillance of tuberculosis and other infectious diseases. Erasmus University Rotterdam.
- Heydemann, P.**, Boyer, S., Couzy, C., Dornier, X., Madeline, L., Morhain, B., Ragot, N., 2011. Panorama économique de la filière équine. IFCE, Le Pin-au-haras, 248 p.
- Heymann, D.L.**, Rodier, G.R., 1998. Global Surveillance of Communicable Diseases. *Emerging Infectious Diseases* 4, 362-365.
- Hook, E.B.**, Regal, R.R., 1995. Capture-recapture methods in epidemiology: methods and limitations. *Epidemiologic Reviews* 17, 243–264.
- Hotchkiss, J.W.**, Reid, S.W.J., Christley, R.M., 2007. A survey of horse owners in Great Britain regarding horses in their care. Part 1: Horse demographic characteristics and management. *Equine Vet. J.* 39, 294-300.
- House, T.**, Keeling, M.J., 2008a. Deterministic epidemic models with explicit household structure. *Math. Biosci.* 213, 29–39.
- House, T.**, Keeling, M.J., 2008b. Household structure and infectious disease transmission. *Epidemiol. Infect.* 137, 654–661.
- ICAHS**, 2013. Animal Health Surveillance Terminology Final Report from pre-ICAHS Workshop. International Conference on Animal Health surveillance. http://www.fp7-risksur.eu/sites/default/files/partner_logos/icahs-workshop-2011_surveillance_terminology_report_V1.2.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).

- IFCE-Abattage**, Exclusion consommation & abattage. <https://www.ifce.fr/ifce/sire-demarches/sanitaire-detention/exclusion-consommation-abattage/>, (consulté le 30 septembre 2021).
- IFCE-Contrôle**, 2020. Contrôle sanitaire & identification des équidés, deux missions complémentaires au service de la traçabilité. <https://www.ifce.fr/ifce/controle-sanitaire-identification-des-equides-deux-missions-complementaires-au-service-de-la-tracabilite/>, (consulté le 30 septembre 2021).
- IFCE**, L'Institut français du cheval et de l'équitation. <https://www.ifce.fr/>, (consulté le 30 septembre 2021).
- IFCE**, 2015a. Annuaire écus 2015. IFCE - Réseau Economique de la Filière Equine. Le Pin au Haras, 63 pages.
- IFCE**, 2015b. Institut Français du cheval et de l'équitation (IFCE), Rapport d'activité de l'IFCE de 2015. https://www.ifce.fr/wp-content/uploads/2016/07/RA_2015-web-V2.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).
- IFCE**, 2019. Combien d'équidés en France ? La population équine française doit être estimée un cheptel en baisse depuis 2012. https://www.ifce.fr/wp-content/uploads/2019/07/IFCE_OESC_Note_thematique-Effectifs-equides_juillet2019.pdf, (consulté le 30 septembre).
- IFCE**, 2020. Bilan statistique de la filière équine française (chiffre clé 2020). <https://equipedia.ifce.fr/fileadmin/bibliotheque/6.Statistiques/6.1.Ecus-depliant/Depliant-chiffres-cles-2020.pdf>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Johnson, B.J.**, Stover, S.M., Daft, B.M., Kinde, H., Read, D.H., Barr, B.C., Anderson, M., Moore, J., Woods, L., Stotz, J., Blanchard, P., 1994. Causes of death in racehorses over a 2 year period. *Equine Vet. J.* 26, 327-330.
- Julie, A.C.**, Alex, B.M., M., B., 2002. Kriging Method Evaluation for Assessing the Spatial Distribution of Urban Soil Lead Contamination. *J. Environ. Qual.* 31, 1576–1588
- Kaneene, J.B.**, Miller, R.A., Ross, W.A., Gallagher, K., Marteniuk, J., Rook, J., 1997a. Risk factors for colic in the Michigan (USA) equine population. 30, 23-36.
- Kaneene, J.B., Ross, W.A.**, Miller, R.A., 1997b. The Michigan equine monitoring system. II. Frequencies and impact of selected health problems. *Prev. Vet. Med.* 29, 277-292.
- Kaplan, E.L.**, Meier, P., 1958. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association* 53, 457–481.
- Keeling, M.J.**, Danon, L., Vernon, M.C., House, T.A., 2010. Individual identity and movement networks for disease metapopulations. *Proc. Nat.l Acad. Sci. U.S.A.* 107, 8866–8870.
- Keeling, M.J.**, Danon, L., Vernon, M.C., House, T.A., 2010. Individual identity and movement networks for disease metapopulations. *Proc. Nat.l Acad. Sci. U.S.A.* 107, 8866–8870.
- Keeling, M.J.**, Rohani, P., 2008. Modeling infectious Deases in Humans and Animals Princeton University Press.
- Keeling, M.J.**, Woolhouse, M.E., Shaw, D.J., Matthews, L., Chase-Topping, M., Haydon, D.T., Cornell, S.J., Kappey, J., Wilesmith, J., Grenfell, B.T., 2001. Dynamics of the 2001 UK foot and mouth epidemic: Stochastic dispersal in a heterogeneous landscape. *Science* 294, 813–817.
- Kettle, A.N.B.**, Wernery, U., 2016. Glanders and the risk for its introduction through the international movement of horses. *Equine Veterinary Journal* 48, 654-658
- Knubben, J.M., Gyga, L., Stauffacher, M.**, 2008. Horses in Switzerland: results of a representative survey of population, housing and use in 2004. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 150, 387-397.

- Leblond, A., L., L., Sabatier, P., Sasco, A.J., 2001.** Epidémiologie descriptive des causes de la mort chez le cheval : résultats d'une enquête effectuée auprès de vétérinaires praticiens francophones. *Ann. Méd. Vét.* 145, 122-129.
- Leblond, A., Villard, I., Leblond, L., Sabatier, P., Sasco, A.J., 2000.** A retrospective evaluation of the causes of death of 448 insured french horses in 1995. *Vet. Res. Comm.*, 85-102.
- Lindner, A., Offeney, F., 1992.** Einsatzdauer, abgangsraten und ursachen bei Sportpferden. *Dtsch. Tierartzl. Wochenschr* 99, 39-42.
- Lo Iacono, G., Robin, C.A., Newton, J.R., Gubbins, S., Wood, J.L., 2013.** Where are the horses? With the sheep or cows? Uncertain host location, vector-feeding preferences and the risk of African horse sickness transmission in Great Britain. *J. R. Soc. Interface* 10, 20130194.
- Martin, A.D., Quinn, K.M., Park, J.H., 2011.** MCMCpack: Markov chain Monte Carlo in R. *J. Stat. Software* 42, 323.
- Matheron, G., 1962** *Traité de géostatistique appliquée. Tome I, Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, No.14.* Editions Technip, Paris.
- Matheron, G., 1963a.** Principles of geostatistics. *Economic Geology* 58, 1246–1266
- Matheron, G., 1963b.** *Traité de géostatistique appliquée, II : Le Krigeage. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, No.24.* Editions B. R. G. M., Paris.
- McGowan, T.W., Pinchbeck, G., Phillips, C.J., Perkins, N., Hodgson, D.R., McGowan, C.M., 2010.** A survey of aged horses in Queensland, Australia. Part 1: management and preventive health care. *Aust. Vet. J.* 88, 420-427.
- McKean, J.D., 2001.** The importance of traceability for public health and consumer protection. *Revue Scientifique et Technique* 20, 363-371.
- Merlin, A., Gaudaire, D., Letorey, L., Delerue, M., Amat, J.P., Lecouturier, F., Madeline, A., Deshiere, A., Aubert, C., Poudevigne, F., Quinio, C., Martin, F., Strugar, S., Coulibaly, E., Depecker, A., Grancollot-Chabot, M., Hans, A., 2021.** Synthèse des foyers d'anémie infectieuse des équines reportées en France entre 2017 et 2019.
- Merlin, A., Schneider, J., Cazeau, G., Sala, C., Linster, M., Foucher, N., Ferry, B., Delerue, M., Amat, J.P., 2020.** Identification of levers for improving dead equine traceability: A survey of French equine owners' perception of regulatory procedures following their animal's death *Prev. Vet. Med.* 174, 104834, 0167-5877.
- Morley, P.S., Townsend, H.G., 1997.** A survey of reproductive performance in Thoroughbred mares and morbidity, mortality and athletic potential of their foals. *Equine Vet J.* 29, 290-297.
- Morris, R.S., 1991.** Information systems for animal health: objectives and components. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE* 10, 13-23.
- Newell, C., 1988.** *Methods and models in demography.* London: Belhaven.
- Observatoire, I., 2019.** *Métiers, formations et marché de l'emploi, dans la filière équine rapport* <https://www.equiresources.fr/contenu/observatoire/rapports-nat-reg/Rapport%20EMF%20PDL%202019%20VF.pdf>, (consulté le 30 septembre 2021).
- OIE, 2016.** Chapitre 12.9. Infection par le virus de l'artérite virale équine. In: *Organisation mondiale de la santé animale, Code sanitaire pour les animaux terrestres.* OIE, Paris, France.

- Okabe, A.**, Boots, B., Sugihara, K., 1992. Spatial Tessellations. Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. J. Wiley.
- Patersen, C.G.J.**, 1896. The Yearly Immigration of Young Plaice Into the Limfjord From the German Sea Report of the Danish Biological Station (1895) 6, 5–84.
- Qin, Q.**, Wang, H., Lei, X., Li, X., Xie, Y., Zheng, Y., 2019. Spatial variability in the amount of forest litter at the local scale in northeastern China: Kriging and cokriging approaches to interpolation. *Ecology and Evolution* 10, 778-790.
- Renka, R.J.**, 1984. Interpolation des données sur la surface d'une sphère. *ACM Transactions on Mathematical Software* 10, 417-436.
- RESPE**, 2010. Fiche technique : le RESPE. Haras Nationaux. Le Pin au Haras.
- RESPE**, 2014. Surveillance maladies des poulain. <https://respe.net/maladie-equine/>, (consulté le 30 septembre 2021).
- RESPE**, 2016 Réseau d'épidémiosurveillance en pathologie équine. <http://www.respe.net/>, (consulté le 20 juin 2016).
- RESUMEQ**, Le Réseau national de surveillance des causes de mortalité des équidés - Un dispositif de surveillance de la filière équine qui a vu le jour en 2015. <https://www.plateforme-esa.fr/article/resumeq-le-reseau-national-de-surveillance-des-causes-de-mortalite-des-equides-un-dispositif>, (consulté le 30 septembre 2021).
- RGPD**, Règlement Général sur la Protection des Données. <https://www.cnil.fr/fr/comprendre-le-rgpd>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Robin, C.A.**, Lo Iacono, G., Gubbins, S., Wood, J.L.N., Newton, J.R., 2012. The accuracy of the National Equine Database in relation to vector-borne disease risk modelling of horses in Great Britain. *Equine Vet. J.* 45, 302-308.
- Robin, C.A.**, Wylie, C.E., Wood, J.L.N., Newton, J.R., 2010. Making use of equine population demography for disease control purposes: Preliminary observations on the difficulties of counting and locating horses in Great Britain. *Equine Vet. J.* 43, 372–375.
- Rolland-Guillard, L.**, Charrance, G., Morand, E., 2020. Quelles méthodes pour estimer la taille d'une population difficile à enquêter ? <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02928767/document>, (consulté le 30 septembre 2021).
- Rosanowski, S.**, Cogger, N., Rogers, C.W., 2013. An investigation of the movement patterns and biosecurity practices on Thoroughbred and Standardbred stud farms in New Zealand. *Prev Vet Med* 108, 178-187.
- Rossi, S.**, Toigo, C., Hars, J., Pol, F., Hamann, J.L., Depner, K., Le Potier, M.F., 2011. New Insights on the Management of Wildlife Diseases Using Multi-State Recapture Models: The Case of Classical Swine Fever in Wild Boar. *PLoS ONE* 6(9): e24257.
- Rstudio**, 2019. NEWS for R version 3.6.1. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release.save/NEWS.2.pdf>.
- SARPO**, 2004. Counting wildlife manual. WWF-Southern Africa Regional Programme Office https://wwf-awsassets.panda.org/downloads/counting_wildlife_mozambique_english.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).
- Seber, G.A.F.**, 1965. A note on the multiple recapture census. *Biometrika* 52, 52:249-259.

- Sibson, R.**, 1981. A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. In: Barnett, V., Ed., *Interpreting Multivariate Data*, John Wiley & Sons. New York, 21-36.
- Sluyter, F.J.H.**, 2001. Traceability of equidae: a population in motion. . Traceability of equidae: a population in motion. *Revue Scientifique et technique de l'OIE* 20, 500-509.
- Stigler, S.M.**, 1986. *The history of statistics: the measurement of uncertainty before 1900*. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge.
- Swinton, J.**, Harwood, J., Grenfell, B.T., Gilligan, C.A., 1998. Persistence thresholds for phocine distemper virus infection in harbour seal *Phoca vitulina* metapopulations. *J Anim Ecol* 67, 54–68.
- Tapprest, J.**, Borey, M., Dornier, X., Morignat, E., Calavas, D., Hendriks, P., Ferry, B., Sala, C., 2015. Assessment of fallen equine data in France and their usefulness for epidemiological investigations. *Res. Vet. Sci.* 104, 96-99.
- Tapprest, J.**, Foucher, N., Hendriks, P., 2016. Le réseau national de surveillance des causes de mortalité des équidés (Resumeq) : une nouvelle modalité de surveillance de la filière équine. *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation*. https://be.anses.fr/sites/default/files/M-074%202016_12_12%20Resumeq.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).
- Tapprest, J.**, Morignat, E., Dornier, X., Borey, M., Hendriks, P., Ferry, B., Calavas, D., Sala, C., 2017. Fallen stock data: An essential source of information for quantitative knowledge of equine mortality in France. *Equine Veterinary Journal* 49, 596-602.
- Thomas, L.**, Buckland, S.T., Rexstad, E.A., Laake, J.L., Strindberg, S., Hedley, S.L., Bishop, J.R.B., Marques, T.A., Burnham, K.P., 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47, 5-14.
- Tobler, W.**, 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46, 234-240.
- Toma, B.**, Dufour, B., Bénet, J.J., Sanaa, M., Shaw, A., Moutou, F., 2010. *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures*, 3ème édition. AEEMA, Maisons-Alfort, France.
- TRACE**, The Trade Control and Expert System. https://ec.europa.eu/food/animals/traces_en, (consulté le 30 septembre 2021).
- TripleS**, Guidelines for designing and implementing a syndromic surveillance system. https://webgate.ec.europa.eu/chafea_pdb/assets/files/pdb/20091112/20091112_d08_giss_en_ps.pdf, (consulté le 30 septembre 2021).
- Valon, F.**, Marcillaud-Pitel, C., Fortier, G., Chaffaux, S., Tritz, P., D'Ablon, X., Hendriks, P., Leblond, A., 2012. 2012. Le RESPE : réseau d'épidémiosurveillance en pathologie équine. *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation* 49, 11-16.
- Vial, C.**, Aubert, M., Perrier-Cornet, P., 2011a. Le développement de l'équitation de loisir dans les territoires ruraux : entre influences sectorielles et périurbanisation. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°3, 549-573.
- Vial, C.**, Aubert, M., Perrier-Cornet, P., 2011b. Les choix organisationnels des propriétaires de chevaux de loisirs dans les espaces ruraux. *Economie rurale* n°321, 342-347.
- Zoe, E.S.**, 1938. The estimation of the total population of a lac 348-35

Annexe I : Rapport d'analyse statistique, enquête sur l'évaluation de la qualité des données SIRE

Auteurs : Halifa Farchati^{1,2,3}, Aurélie Merlin¹, Mathilde Saussac², Xavier Dornier³, Mathilde Dhollande³, David Garon⁴, Jackie Tapprest¹, Carole Sala²

¹ ANSES, Laboratoire de santé animale, site de Normandie, Unité physiopathologie et épidémiologie des maladies équine, Goustranville, France

² Université de Lyon-ANSES, Unité épidémiologie et appui à la surveillance, F-69364 Lyon cedex 07, France

³ IFCE, Institut Français du Cheval et de l'Equitation, 19230 Arnac Pompadour Cedex, France

⁴ Université de Caen Normandie, Unité ABTE EA 4651, équipe ToxEMAC, Caen, France

Remerciements : Amat Jean-Philippe, Delerue Marie, Dhollande Romain, Margelidon Carole, Schneider Julie, Teyssier Caroline, Wujek Marion et toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Resumé

Le manque de connaissances démographiques (nombre et localisation) de la population équine rend difficile l'évaluation et la modélisation des événements sanitaires en filière équine et limite l'efficacité des dispositifs de surveillance. En France, la principale source de données démographiques équines est le Système d'Information Relatif aux Equidés (SIRE) géré par l'Institut Français du Cheval et de l'Equitation (IFCE). La base SIRE enregistre, sur une base déclarative, mais obligatoire, les informations liées aux équidés sur le territoire français ainsi que celles de leurs propriétaires et de leurs détenteurs. L'objectif de notre étude était d'évaluer la qualité des données enregistrées dans la base SIRE afin d'identifier les biais potentiels, pour un usage en épidémiologie et modélisation, liés aux potentiels défauts de mise à jour des informations par les propriétaires et détenteurs. Pour ce faire, deux enquêtes en ligne ont été réalisées via le logiciel Sphinx iQ2® et diffusées entre mars et août 2019 auprès de 6 244 détenteurs et de 13 869 propriétaires d'équidés enregistrés dans la base SIRE et ayant donné leur accord pour être contactés par mail. Après six mois d'enquête, 2 788 et 1 217 questionnaires exploitables en provenance respectivement des propriétaires et détenteurs ont été reçus, soit des taux de réponse de 20,1 % et 19,5 %. L'enquête a montré que 4,9 % (n = 57) des 1 166 répondants ayant été sollicités en tant que détenteurs d'un site de détention d'équidés déclaré ouvert dans la base SIRE n'en avaient plus au moment de l'enquête. À l'opposé, 68,6 % (n = 35) des 51 répondants dont le lieu de détention était enregistré comme fermé dans la base SIRE ont déclaré être encore détenteurs d'équidés au moment de l'enquête. Concernant les 2 738 propriétaires en relation avec au moins un équidé supposé vivant (pas de date de mort enregistrée dans la base SIRE), 3,6 % (n = 99) des répondants ont déclaré ne plus être propriétaires d'équidés. Parmi les 50 répondants pour lesquels tous les équidés étaient enregistrés morts dans la base SIRE, 32 % (n = 16) ont pourtant déclaré être toujours propriétaire d'au moins un équidé vivant. D'autre part, 33 % des 2 303 propriétaires avaient changé d'adresse sans la mettre à jour dans la base SIRE. Concernant les équidés, pour 69,4 % (n = 338/487) des équidés mâles, la castration n'avait pas été enregistrée dans SIRE et pour 5,9 % (162/2738) la mort n'avait pas été déclarée. En conclusion, la qualité générale des données évaluées semble satisfaisante mais certains défauts d'actualisation des données par les propriétaires et détenteurs doivent être pris en compte lors de la valorisation de ces données.

Introduction

Créée en 1976 et gérée par l'IFCE (Institut Français du Cheval et de l'Équitation), le SIRE (Système d'Information Relatif aux Équidés) est un fichier central de gestion de l'état civil des équidés sur le territoire français. Il enregistre, sur une base déclarative, mais obligatoire (R653-14 du Code Rural²), les informations liées aux équidés vivants sur le territoire français (sexe, race, date de naissance, généalogie, etc) ainsi que celles des propriétaires et des détenteurs qui leur sont rattachés (nom, prénom, adresse, etc) et qui accompagnent chaque équidé tout au long de sa vie. Ces données sont mises à jour quotidiennement en fonction du traitement administratif des dossiers. Ces informations collectées à des fins zootechniques, de traçabilité et de gestion de la filière ont un intérêt réel en surveillance sanitaire. Une étude menée sur les liens entre détenteurs et propriétaires d'équidés en France au moyen d'une analyse spatialisée du réseau social et les croisements des bases SIRE et EDI-Span a montré la nécessité de mener une enquête pour évaluer la qualité des données de la base SIRE et notamment la proportion de données à jour en vue de leur utilisation en modélisation. Il a été identifié que certaines informations comme la mort de l'équidé, le changement de propriétaire, ou les changements d'adresse n'étaient pas mises à jour régulièrement par les propriétaires et les détenteurs, notamment non professionnels.

Cette étude prend place dans le projet de Valorisation combinée des données démographiques et sanitaires équines (ValDonEqui) financé par l'IFCE et le Fonds Eperon. Un des objectifs du volet démographique du projet est d'identifier les pistes d'amélioration de la qualité des données SIRE. Deux enquêtes en ligne ont été réalisées auprès des propriétaires et des détenteurs déclarés dans SIRE. L'objectif de ces enquêtes était d'évaluer la qualité de données de la base SIRE en termes d'exactitude et de complétude pour évaluer les biais à l'usage de certaines informations ayant un intérêt en démographie, épidémiologie, surveillance ou modélisation.

L'enquête *détenteur* visait à caractériser le détenteur, notamment le nombre, le type et les propriétaires d'équidés détenus, ainsi que les lieux de détention (commune, année d'ouverture).

Concernant l'enquête *propriétaire*, le point d'entrée était un équidé sélectionné parmi ceux reliés à un propriétaire dans SIRE. L'enquête portait sur le propriétaire lui-même et l'équidé sélectionné; les questions étaient légèrement différentes dans le cas où l'équidé sélectionné était enregistré mort, ou vivant dans la base SIRE. Les questions visaient à caractériser le propriétaire (commune de résidence, propriétaire/détenteur...), ses équidés (type, nombre) et ses lieux de détention (localisation, type d'équidés détenus).

² L'IFCE « *procède pour le compte de l'Etat à l'identification des équidés et assure la tenue du fichier central des équidés immatriculés ainsi qu'au suivi des propriétaires et détenteurs pour participer à la traçabilité des équidés* »

Matériel Et Méthodes

Définitions

Détenteur : toute personne physique ou morale qui est en possession d'un équidé ou est chargée de pourvoir à son entretien, à titre onéreux ou non, permanent ou temporaire, y compris durant le transport de l'équidé, sur un marché ou lors de concours, de courses ou d'événements culturels.

Propriétaire : toute personne physique ou morale enregistrée dans la base SIRE, comme propriétaire d'équidé sur une ou plusieurs cartes d'immatriculation d'équidé.

Dans le cadre de ce travail, sont définis comme :

- **Populations**, l'ensemble des détenteurs et propriétaires enregistrés dans la base SIRE,
- **Enquêtés**, l'ensemble des détenteurs et propriétaires échantillonnés auxquels le questionnaire a été envoyé,
- **Répondants**, l'ensemble des détenteurs et propriétaires ayant répondu à l'enquête avec des données exploitables.

Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé à partir d'extractions des tables détenteurs et équidés du SIRE en dates du 30 et du 15 décembre 2018 respectivement.

La table des détenteurs contenait des informations sur le détenteur lui-même (numéro identifiant, nom, prénom, champ indiquant si le détenteur acceptait ou non d'être contacté), et des informations sur le lieu de détention (code postal, code INSEE, date d'ouverture, nombre d'équidés à l'ouverture (facultatif), date de fermeture le cas échéant et date d'enregistrement dans la base SIRE).

L'extraction contenait les informations de 89 208 lieux de détention appartenant à 76 501 détenteurs différents, ouverts entre le 19/12/2003 et le 07/12/2018 et enregistrés entre le 03/05/2006 et le 07/12/2018. Parmi ces lieux, 6 501 étaient déclarés fermés et 82 707 ouverts. Étant facultative la déclaration du nombre d'équidés à l'ouverture des lieux de détentions, le taux de remplissage de ce champ était de 87,8 % (n = 78 346) sur les 89 208 lieux. 15 % (n = 11 739) des 78 346 lieux de détention n'avaient aucun équidé à l'ouverture. La moitié des lieux étaient enregistrés pour 3 équidés à l'ouverture. En moyenne, un lieu de détention à l'ouverture avait 7,3 équidés, et au maximum 600 équidés.

La table des équidés contenait des informations liées à l'équidé (numéro SIRE, numéro de puce, numéro international, sexe, race, date de naissance, date de mort éventuellement, date d'enregistrement, numéro SIRE des mère et père), des informations concernant le dernier propriétaire connu (numéro identifiant, nom, prénom, code Insee de la commune de résidence, date du début de propriété de l'équidé, date de mise à jour des informations et un champ indiquant si le propriétaire acceptait d'être contacté) et des informations liées

à l'éleveur pour les équidés d'origine constatée (nom, prénom et code Insee de la commune de résidence). L'extraction contenait 737 789 propriétaires différents (en utilisant l'identifiant propriétaire) de 2 441 861 équidés (morts ou vivants) enregistrés entre le 08/10/1977 et le 30/10/2018. 7 179 équidés sont enregistrés sans propriétaire connu dans SIRE (nom du propriétaire : « PROPRIETAIRE NON COMMUNIQUEE », identifiant propriétaire : « 9999996 »). La moitié des propriétaires étaient reliés à un seul équidé (mort ou vivant). La distribution du nombre d'équidés par propriétaire (pour ceux ayant un propriétaire enregistré au SIRE) varie entre 1 et 2 976. En moyenne, les propriétaires étaient reliés à 3,3 équidés (morts ou vivants).

Ont été enquêtés 13 869 (1,9 %) propriétaires et 6 404 (8,4 %) détenteurs pour lesquels une adresse mail était disponible et qui avaient indiqué accepter d'être contactés. Tous les détenteurs enquêtables ont été sélectionnés quel que soit le statut de l'ensemble des lieux de détention (ouvert ou fermé). Pour chaque propriétaire enquêtable, un équidé était sélectionné comme point d'entrée de l'enquête (équidé de référence plus loin dans le texte) afin d'obtenir des informations sur cet équidé, le propriétaire et les éventuels autres équidés dont la personne enquêtée pouvait être propriétaire ou/et détenteur. La sélection de l'équidé de référence a été réalisée de la manière suivante :

- Si le propriétaire n'était relié qu'à un seul équidé, cet équidé était sélectionné, quel que soit son statut (mort ou vivant) enregistré dans SIRE;
- Si le propriétaire était relié à plusieurs équidés tous de statut « vivant », un tirage aléatoire était effectué pour sélectionner un seul équidé;
- Si le propriétaire était relié à plusieurs équidés tous enregistrés comme morts, l'équidé avec la date de mort la plus récente était sélectionné pour limiter le biais de mémoire;
- Si le propriétaire était relié à plusieurs équidés de statuts différents (vivant et mort), un équidé était sélectionné de manière aléatoire parmi les équidés vivants.

Collecte des données

Les deux questionnaires, *propriétaire* et *détenteur*, ont été mis en place via le logiciel Sphinx iQ2® (4.15). Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'IFCE qui a envoyé les mailings aux 13 869 propriétaires et 6 404 détenteurs enquêtables. Les personnes enregistrées comme propriétaires et détenteurs étaient ainsi enquêtées deux fois.

Le mail contenait un code d'identification unique à reporter dans le questionnaire afin de faire le lien avec les informations de la base SIRE. Pour les propriétaires, ce mail précisait également le nom et l'identifiant de l'équidé concerné par l'enquête afin de faciliter son identification par le propriétaire.

L'enquête a été réalisée entre mars 2019 et août 2019 et deux relances ont été effectuées en mai et juillet. L'enquête a été réalisée en conformité avec la loi informatique et liberté n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée. Les personnes répondantes étaient ainsi informées, de l'analyse anonyme de leurs données, de leur droit d'accès et de rectification de leurs informations auprès de l'ANSES.

Analyse des données

Le traitement et l'analyse des données ont été réalisés avec R.3.6.1 et son interface RStudio.

Résultats

Taux de réponses et taux de réponses exploitables

Les taux de réponse étaient de 21,1 % (2925/13 869) pour les propriétaires et de 19,9 % (1 243/6 404) pour les détenteurs (Table A.I. 1).

Certains détenteurs (n = 14) et propriétaires (n = 87) avaient mal renseigné le code d'identification qui leur avait été attribué. Parmi les répondants, pour 12 détenteurs et 45 propriétaires le même code d'identification avaient été utilisé (doublons ou triplons). Les 12 questionnaires *détenteur* et les 35 questionnaires *propriétaire* qui correspondaient à des vrais doublons ou triplons (toutes les réponses étaient identiques) ont été dédoublonnés.

Au final, le nombre de questionnaires exploitables était de 1 217 (taux de 19,5 %) pour les détenteurs et de 2 788 (taux de 20,1 %) pour les propriétaires (Table A.I. 1).

En outre, 37 propriétaires et huit détenteurs avaient fait un retour par mail directement au lieu de répondre à l'enquête. Ces retours n'ont pas été exploités au regard du peu d'informations fournies.

Pour les détenteurs, six ont déclaré ne plus être détenteurs, un détenait des chevaux d'élevage et de sport mais a trouvé que le questionnaire n'était pas adapté et un n'a pas jugé nécessaire de renseigner le questionnaire, ayant eu un contrôle récemment.

En ce qui concerne les 37 propriétaires ayant répondu par mail :

- 14 étaient les propriétaires actuels de l'équidé de référence mais ne voulaient pas répondre pour des raisons diverses (informations à jour dans la base SIRE, ou dans la base de France Galop, domicile à l'étranger, questionnaire non adapté, etc.),
- 18 n'étaient plus propriétaires de l'équidé de référence,
- cinq ne voyaient pas l'intérêt de renseigner le questionnaire, l'équidé de référence étant mort.

Le taux de réponses exploitables variait d'un département à l'autre (Table A.I. 1).

TABLE A.I. 1. Taux de réponse et taux d'exploitables par enquête

Enquête	Nombre envoyés	Nombre reçus	Taux de réponse (%)	Nombre exploitables	Taux exploitable (%)	Nombre de retours par mail
Propriétaires	13 869	2 925	21,1	2 788	20,1	37
Détenteurs	6 244	1 243	19,9	1 217	19,5	8

Pour l'enquête *détenteur*, les taux de retour par département variaient de 0 à 50 %, les taux les plus faibles ($\leq 10\%$) étant observés dans les *Yvelines* (78), *l'Ille-et-Vilaine* (35), *le Cantal* (15), *Paris* (75), *le Gard* (30), *la Seine-Saint-Denis* (93), *le Val-d'Oise* (95) et les plus importants ($\geq 30\%$) dans le *Val-de-Marne* (94), *le Territoire de Belfort* (90), *les Ardennes* (08), *l'Aude* (11), *le Tarn* (81) et les *Hautes-Pyrénées* (65) ((Figure A.I 1a).

En ce qui concerne l'enquête *propriétaire* (Figure A.I 1b), les taux variaient de 0 et 32 %. Les taux les plus importants ($> 25\%$) étaient observés dans les départements de le *Territoire de Belfort* (90), *les Hauts-de-Seine* (92), *le Tarn* (81), *le Val-de-Marne* (94), *l'Aisne* (02), *la Creuse* (23) et *l'Essonne* (91). Les moins importants ($\leq 10\%$) concernaient la *Haute-Marne* (52), *la Corse-du-Sud* (2A), et la *Haute-Corse* (2B).

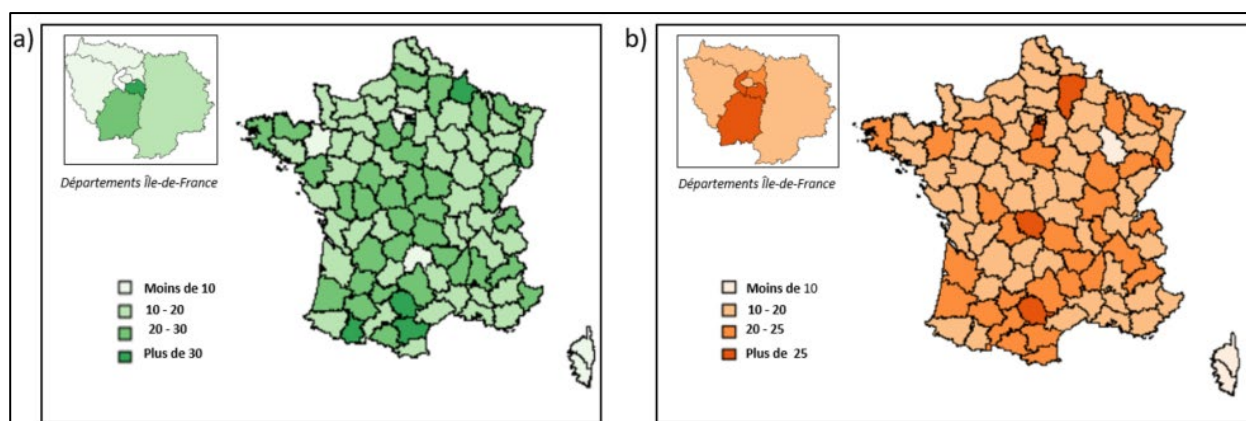


FIGURE A.I 1. Répartition des taux de réponses exploitables (%) par départements des enquêtes a) détenteurs et b) propriétaires

Evaluation des biais d'échantillonnage et de réponse

Afin d'évaluer les biais d'échantillonnage, liés au fait que tous les propriétaires et détenteurs n'étaient pas enquêtés faute d'adresse mail et/ou d'accord, nous avons comparé les distributions de certaines variables des propriétaires, détenteurs et équidés de référence entre populations, enquêtés et répondants (réponses exploitables) selon les modalités enregistrées dans la base SIRE.

Les répondants (réponses exploitables) et les enquêtés présentaient des distributions des variables similaires (Table A.I. 2).

Globalement, les distributions du sexe, et de l'âge des équidés, des enquêtés et des répondants étaient similaires à celles de la population, avec une légère surreprésentation des équidés ayant entre 10 et 15ans et une légère surreprésentation des hongres. Concernant la race, il y avait une sous-représentation des ânes et des chevaux de trait et une forte surreprésentation des chevaux de selle parmi les enquêtés et les répondants.

TABLE A.I. 2. Répartition (%) de la race, du sexe, de l'âge et du statut de l'équidé dans la population, l'échantillon enquêté et des réponses exploitables

Variables	Modalités SIRE	Population	Enquêtés	Répondants
Race	Ane	7,0	3,1	3,0
	Course	19,5	17,2	16,3
	Poney	18,5	20,1	19,1
	Selle	37,1	54,7	57,1
	Trait	17,9	4,9	4,6
Sexe	Femelle	53,2	52,2	52
	Hongre	20,7	25,7	27,7
	Mâle	26,1	22,1	20,4
Âge	<=2	6,0	7,0	7,2
	]2-5]	11,5	11,5	12,0
	]5-10]	21,6	21,3	21,4
	]10-15]	19,7	27,7	27,8
	]15-20]	17,9	16,4	16,6
	>20	23,3	16	15,1
Statut de l'équidé	Mort	16,8	2,4	1,8
	Vivant	83,2	97,7	98,2
Ecart entre date de mise à jour et date du début de l'enquête	Zéro	18,8	21,7	25,8
	1-5 ans	41,1	62,1	62,0
	6 ans et plus	40,0	16,2	12,2
Ecart entre date du début de propriété de l'équidé sélectionné et date du début de l'enquête	0-5ans		39,41	44,4
	6-15 ans		50,3	46,0
	16 ans et plus		10,3	9,5
Nombre d'équidés par propriétaire	1-5	90,2	66,3	73,1
	6-10	4,9	13,1	11,7
	11-100	4,7	19,5	14,4
	100-500	0,2	1,0	0,7
	Plus de 500	0	0,1	0,1

En ce qui concerne le statut de l'équidé (mort/vivant), du fait de la méthode d'échantillonnage utilisée (cf section « [Echantillonnage](#) »), une sous-représentation des équidés morts dans l'enquête était attendue (pour un propriétaire ayant des équidés morts et vivants, nous avons sélectionné un équidé vivant). Néanmoins, cette sous-représentation des équidés morts était encore plus importante parmi les répondants. Les propriétaires dont l'équidé de référence était mort avaient probablement moins de chance d'avoir une adresse mail à jour, bien que l'on ait privilégié la mort la plus récente (quand plusieurs équidés morts) lors de l'échantillonnage. De plus, il est possible que pour des raisons affectives, certains propriétaires n'aient pas souhaité répondre pour ne pas raviver le souvenir de leur équidé mort. Par ailleurs, la distribution de l'écart entre la date de dernière mise à jour des informations des enquêtés présentait une surreprésentation des propriétaires ayant mis à jour leurs informations depuis moins de 5 ans et une sous-représentation des enquêtés ayant mis à jour leurs informations depuis plus de 6 ans. En ce qui concerne la date du début de propriété de l'équidé sélectionné, nous avons comparé l'écart entre la date du début de propriété et la date du début de l'enquête pour les enquêtés avec celui des répondants (puisque dans la population, un propriétaire est associé à plusieurs équidés donc plusieurs dates du début de propriété). Les distributions de

ces deux écarts étaient presque identiques. En outre, les enquêtés ayant au plus 5 équidés étaient sous-représentés par rapport à ceux de la population.

Les répartitions par département des détenteurs et des propriétaires respectivement enregistrés dans la base SIRE, enquêtés et répondants étaient assez proches (Figure A.I 2).

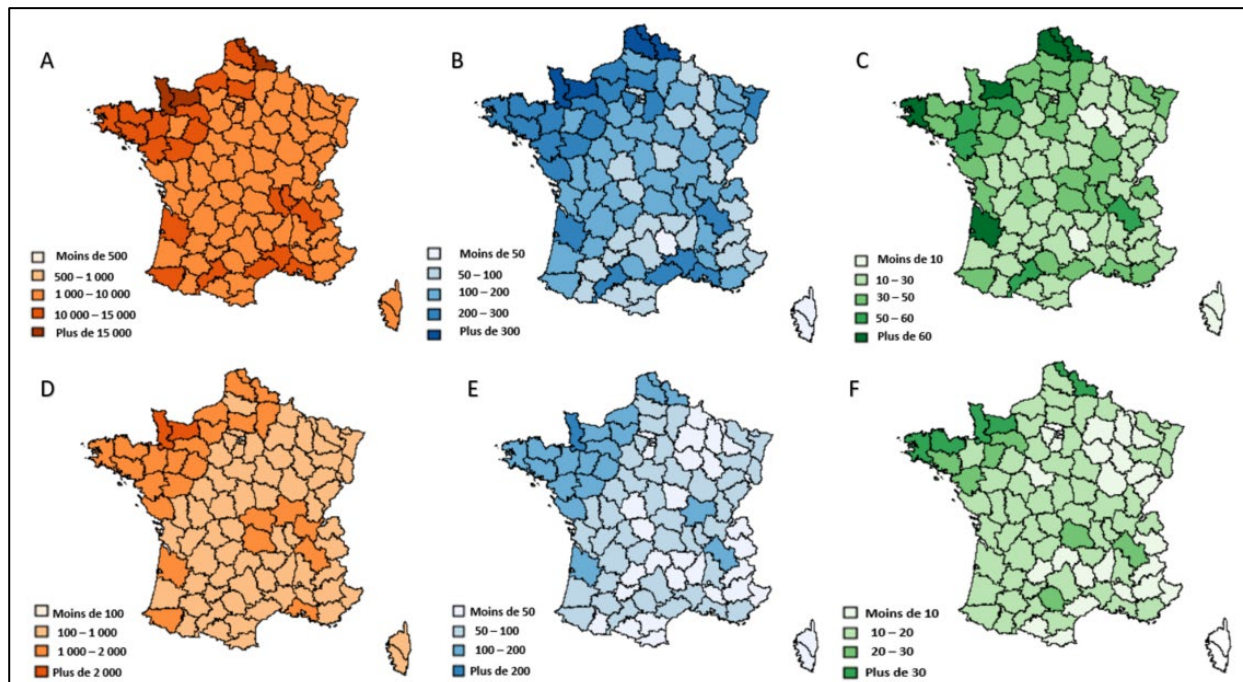


FIGURE A.I 2. Nombre, par département, de propriétaires (A) et détenteurs (D) enregistrés dans la base SIRE, de propriétaires (B) et détenteurs (E) enquêtés et de répondants aux enquêtes propriétaire (C) et détenteur (F)

Enquête propriétaire

Information sur les équidés

STATUT DE L'EQUIDE SELECTIONNE

L'échantillon d'équidés de référence incluait 2,3 % d'équidés enregistrés comme morts et 97,7 % d'équidés enregistrés comme toujours vivants dans SIRE. Afin de contrôler la qualité de l'information, il était demandé, dans l'enquête, si l'équidé de référence était vivant ou mort (Table A.I. 3). La très grande majorité (86,3 %) des équidés de référence étaient encore vivants au moment de l'enquête. 6,3% des répondants ignoraient si l'équidé était encore vivant, n'étant plus propriétaire de l'équidé au moment de l'enquête. Le changement de propriété n'avait donc pas été déclaré à l'IFCE par le nouveau propriétaire, ou déclaré à une date postérieure à celle de l'extraction des données.

TABLE A.I. 3. Nombre et proportion (%) d'équidés de référence selon leur statut mort/vivant

Statut de l'équidé	Nombre d'équidés	%
Vivant	2407	86,3
Mort	206	7,4
Ne sait pas	175	6,3
Total	2788	100

SEXE DE L'EQUIDE

La question du sexe n'était posée qu'aux propriétaires connaissant le statut (mort/vivant) de l'équidé référencé (n = 2 481). La répartition par sexe pour les équidés vivants était similaire à celle des équidés morts (Table A.I. 4). Les équidés étaient, pour un peu plus de la moitié, des femelles et pour un peu moins de la moitié des mâles et hongres.

TABLE A.I. 4. Nombre et proportion d'équidés par sexe selon le statut vivant/mort

Statut de l'équidé	Sexe	Nombre	%
Vivant (n = 2303)	Femelle	1 199	52,1
	Hongre	970	42,1
	Male	134	5,8
Mort (n = 178)	Femelle	92	51,7
	Hongre	71	39,9
	Male	15	8,4

INFORMATION SUR LES EQUIDES MORTS

Sur 2 788 équidés de référence pour lesquels un retour a été obtenu, 206 équidés étaient morts aux dires des répondants dont 178 étaient propriétaires au moment de la mort de l'équidé et étaient concernés par les questions suivantes.

La majorité des équidés morts étaient décédés au cours des cinq dernières années (Figure A.I 3) et presque un quart des équidés étaient morts dans l'année précédant l'enquête. Il est probable que plus la date de mort

de l'équidé de référence était récente, plus les propriétaires avaient de motivation à répondre au questionnaire.

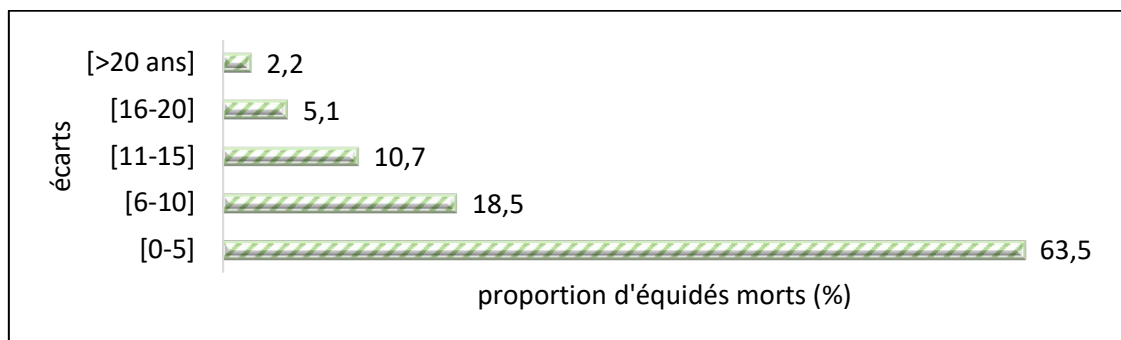


FIGURE A.I.3. Répartition des écarts (années) entre date de mort de l'équidé de référence et la date de réponse au questionnaire (178 équidés morts)

En majorité, les équidés mouraient sur leur lieu de de détention ([Table A.I. 5](#)).

TABLE A.I. 5. Lieu de mort des équidés

Lieu de mort	Nombre d'équidés morts	%
Sur son lieu de détention habituel	150	84,3
Dans une structure vétérinaire	20	11,1
A l'abattoir	4	2,3
Autre	4	2,3
Total	178	100

De surcroît, pour la plupart des équidés morts (79,8 %), les répondants avait fait appel à une société d'équarrissage pour le traitement du cadavre ([Table A.I. 6](#)). Dans 6 % des cas, les répondants avaient fait appel à une société de crémation.

TABLE A.I. 6. Nombre et répartition (%) des modalités d'enlèvement des équidés morts

Modalité d'enlèvement	Nombre d'équidés concernés	%
Une société d'équarrissage	142	79,8
Une société de crémation	11	6,2
Je ne sais plus	16	8,9
Autre	9	5,1
Total	178	100

Parmi ceux qui avaient fait appel à une société d'équarrissage (n = 142), les deux tiers des répondants avaient eux-mêmes appelé la société d'équarrissage ([Table A.I. 7](#)). Parmi les personnes ayant réalisé eux-mêmes l'appel, 93,7 % (89) étaient également le détenteur de l'équidé.

TABLE A.I. 7. Personne ayant demandé l'enlèvement de l'équidé

Demandeur d'enlèvement	Effectifs	%
Moi-même	95	66,9
La structure vétérinaire	14	9,9
L'écurie de propriétaires	9	6,3
Le centre équestre	8	5,6
Un particulier	4	2,8
Je ne sais plus	3	2,1
Autre	3	2,1
Total	142	100

Caractéristiques des propriétaires et de l'hébergement des équidés

COMMUNE DE RESIDENCE DES REPONDANTS

Etaient concernés par cette question les répondants dont l'équidé de référence était vivant et qui étaient toujours propriétaires de cet équidé (n = 2 303) au moment du renseignement du questionnaire.

La majorité (97,7 %) étaient identifiables en France et certains propriétaires (1,4 %) vivaient à l'étranger, essentiellement dans les pays proches (Allemagne, Angleterre, Belgique, Espagne, Irlande, Italie, Luxembourg, Monaco, Pays-Bas, Portugal, Suisse) (Table A.I. 8).

TABLE A.I. 8. Nombre et proportion de répondants selon la localisation de la commune de résidence

Commune de résidence	Nombre d'équidés	%
Identifiable en France	2 249	97,7
Identifiable à l'étranger	33	1,4
Non identifiable	21	0,9
Total	2303	100

PROPRIETE D'EQUIDES

Parmi les 2 613 répondants connaissant le devenir de l'équidé de référence, 94,9 % (n = 2 481) étaient bien le dernier propriétaire de l'équidé de référence : 2 303 pour lesquels l'équidé était vivant et 178 pour lesquels l'équidé était mort (Table A.I. 9). Tous les répondants (n = 175) qui ne connaissaient pas le statut de l'équidé n'étaient plus propriétaires de cet équidé au moment de l'enquête.

TABLE A.I. 9. Statut de l'équidé de référence selon le statut de la propriété

		Statut de l'équidé de référence		
		Vivant (%)	Mort(%)	Total (%)
Propriétaire de l'équidé de référence	Oui	2 303 (88,1)	178 (6,8)	2 481 (94,9)
	Non	104 (4,0)	28 (1,1)	132 (5,1)
	Total	2 407 (92,1)	206 (7,9)	2 613 (100)

Aux répondants ayant déclaré que l'équidé de référence était vivant (n = 2 303), nous avons demandé si cet équidé était en copropriété. Seule une minorité de ces équidés était en copropriété (Table A.I. 10). Un peu

plus de la moitié (52,7 %) des équidés en copropriété étaient des chevaux de selle et 24,4 % des chevaux de course.

La majorité (71,8 %) des 2 788 répondants étaient également propriétaires d'autres équidés que celui de référence.

TABLE A.I. 10. Nombre et proportion (%) d'équidés de référence étant en copropriété

Copropriété	Nombre d'équidés	%
Oui	201	8,7
Non	2102	91,3
Total	2303	100

DETENTION D'EQUIDES

Environ 25 % des 2 788 répondants à l'enquête *propriétaire* étaient détenteurs (en permanence ou occasionnellement) d'équidés ne leur appartenant pas (Table A.I. 11). Ils hébergeaient en moyenne sept équidés avec un minimum de un et un maximum de 100. La majorité des répondants hébergeaient un seul équidé ne leur appartenant pas et la moitié en hébergeait trois.

TABLE A.I. 11. Nombre et proportion (%) de répondants détenant des équidés dont ils ne sont pas propriétaires

Détention d'équidé d'autrui	Nombre	%
Oui en permanence	430	15,4
Oui occasionnellement	246	8,8
Non	2 112	75,8
Total	2 788	100

Plus de la moitié des répondants (62,8 %) étaient à la fois propriétaires et/ou détenteurs de leur équidé (vivant ou morts) ou d'équidés ne leur appartenant pas (Table A.I. 12) :

- 55 répondants dont l'équidé de référence était mort détenaient uniquement des équidés ne leur appartenant pas. Cependant sur 45 répondants parmi eux, nous ne pouvons pas confirmer avec certitude qu'ils les détenaient uniquement puisqu'ils possédaient d'autres équidés et la question n'avait pas été posée,
- 42 n'étaient plus propriétaires de l'équidé de référence mais détenaient des équidés ne leur appartenant pas. 40 parmi eux pourraient éventuellement détenir d'autres équidés (question non posée).
- 1 654 répondants dont l'équidé de référence était vivant :
Parmi ces derniers, 1 075 hébergeaient l'équidé de référence mais pas d'autres équidés ne leur appartenant pas. Parmi eux 900 pourraient éventuellement héberger d'autres équidés leur appartenant (question non posée). De plus, 516 hébergeaient l'équidé de référence avec d'autres équidés ne leur appartenant pas. Enfin, 63 n'hébergeaient pas l'équidé de référence mais d'autres

équidés ne leur appartenant pas. Parmi eux 53 possédaient d'autres équidés mais la question n'avait pas été demandée s'ils les hébergeaient.

TABLE A.I. 12. Nombre et proportion (%) de répondants selon le statut propriétaire/détenteur vis-à-vis de l'équidé de référence et selon son statut mort/vivant

		Statut de l'équidé de référence			
		Vivant (%)	Mort (%)	Ne sais pas (%)	Total (%)
Détenteur	Oui	1 654 (59,3)	55 (2)	42 (1,5)	1 751 (62,8)
	Non	753 (27)	151 (5,4)	133 (4,8)	1 037 (37,2)
	Total	2 407 (86,3)	206 (7,4)	175 (6,3)	2 788 (100)

TYPE DE STRUCTURE D'HEBERGEMENT DE L'EQUIDE DE REFERENCE

La question sur la structure d'hébergement n'était posée qu'aux répondants propriétaires de l'équidé de référence qu'il soit vivant ou mort et qui en étaient propriétaires au moment de la mort (n=2 481). La majorité de ces équidés étaient hébergés chez le propriétaire en tant que particulier (Figure A.I 4).

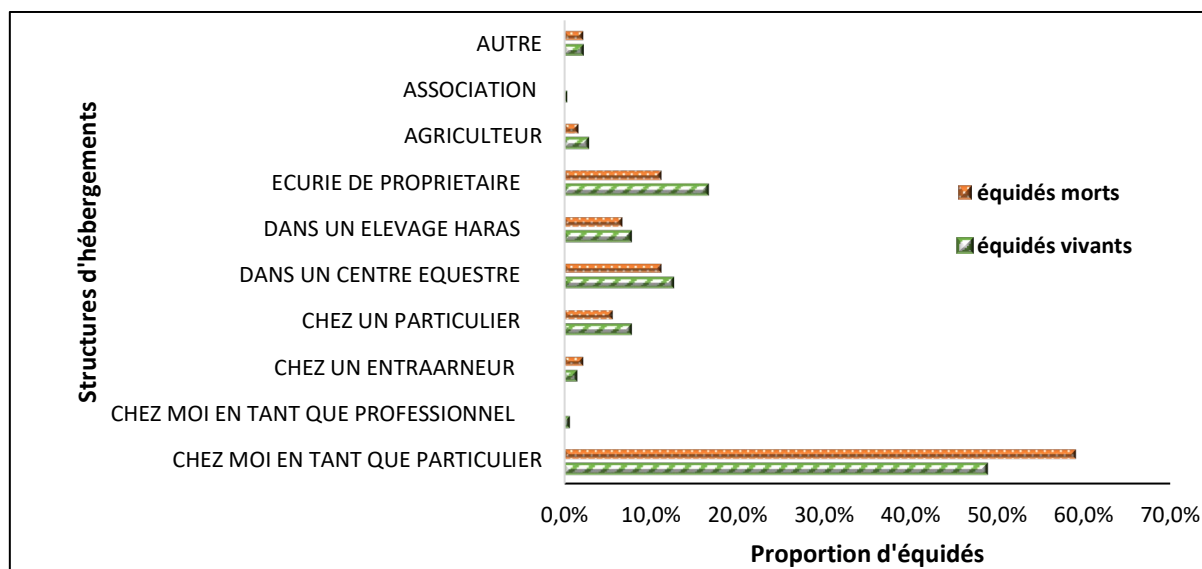


FIGURE A.I 4. Répartition (%) des propriétaires selon la structure habituelle d'hébergement de l'équidé de référence

NOMBRE DE COMMUNES D'HEBERGEMENT

Cette question concernait les répondants propriétaires d'autres équidés (n = 2 004). La plupart des répondants hébergeaient leurs équidés dans une seule et même commune (Figure A.I 5). Le nombre d'équidés d'autrui en propriété n'avait pas d'impact significatif sur le nombre de communes d'hébergement (Test du Chi-2, p > 0,05).

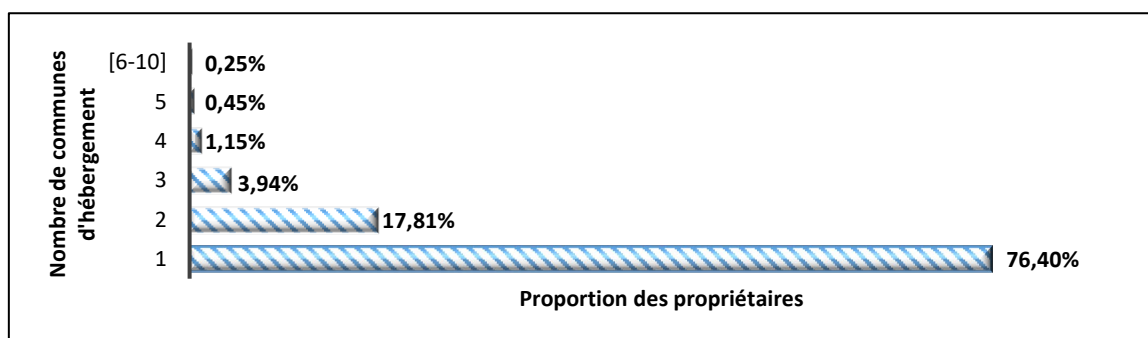


FIGURE A.I.5. Proportion (%) de répondants selon le nombre de communes d'hébergement de leurs équidés

TYPES D'EQUIDES D'AUTRUI HEBERGES

Etaient concernés par cette question les répondants qui hébergeaient des équidés ne leur appartenant pas ($n = 676$). Etaient demandés exclusivement le type des équidés dont le répondant était détenteur mais non propriétaire. Plus de la moitié des répondants hébergeaient un seul type d'équidé (Table A.I. 13). Lorsque différents types étaient hébergés, les associations les plus fréquentes étaient loisir/sport (47/144), loisir/retraite (39/144), loisir/sport/retraite (22/81), loisir/sport/élevage (18/81), et loisir/sport/élevage/retraite (23/35).

TABLE A.I. 13. Nombre et proportion de répondants selon le nombre de types d'équidés hébergés

Nombre de types d'équidés	Nombre de propriétaires	%
1	405	59,9
2	144	21,3
3	81	12
4	35	5,2
5	10	1,5
6	1	0,1
Total	676	100

DECLARATION DES EQUIDES A L'IFCE

Cette question ne concernait que les répondants déclarant avoir d'autres équidés dont ils étaient propriétaires ($n = 2\,004$). La majorité (91,6 %) de ces propriétaires déclaraient tous leurs équidés à l'IFCE (Table A.I. 14).

TABLE A.I. 14. Nombre et proportion de répondants selon la fréquence de déclaration des équidés à l'IFCE

Equidés déclarés	Nombre de répondants	%
Tous	1835	91,6
Seulement certains	52	2,6
Aucun	17	0,8
Je ne sais pas	100	5
Total	2004	100

La majorité de ceux qui déclaraient tous leurs équidés étaient également détenteurs (de l'équidé de référence ou d'autres équidés ne lui appartenant pas). Parmi les huit répondants qui ont indiqué ne déclarer aucun

équidé (Table A.I. 15), deux hébergeaient des équidés dont ils n'étaient pas propriétaires et six n'hébergeaient que leurs propres équidés.

TABLE A.I. 15. Nombre et proportion de répondants selon la fréquence de déclaration des équidés à l'IFCE et selon s'ils détiennent des équidés

		Détenteurs		
		Oui (%)	Non (%)	Total (%)
Déclaration des équidés à l'IFCE	Tous	1363 (68,3)	472 (23,6)	1835 (91,6)
	Seulement certains	41 (2)	11 (0,51)	52 (2,6)
	Aucun	8 (0,4)	9 (0,4)	17 (0,8)
	Je ne sais pas	64 (3,2)	36 (1,8)	100 (5,0)
	Total	1476 (73,7)	528 (26,3)	2004 (100)

ACTIVITE PROFESSIONNELLE DU PROPRIETAIRE EN LIEN AVEC LES EQUIDES

Cette question ne concernait que les 2 303 répondants encore propriétaires de l'équidé de référence au moment du renseignement du questionnaire (donc équidé vivant). La majorité de ces répondants (78,7 %, n = 1 813) étaient des *non-professionnels* (l'activité professionnelle n'est pas en lien avec la filière équine) (Table A.I. 16).

Les *non-professionnels* étaient significativement plus souvent propriétaires d'autres équidés (Test du Chi-2, p <0,05) (Table A.I. 16). Ceci implique que le fait de posséder d'autres équidés n'impliquait pas forcément d'être *professionnel* (c'est-à-dire d'avoir une activité professionnelle en lien avec la filière équine). Nous aurions peut-être pu observer le contraire si on tenait compte du nombre d'équidés en propriété (question non posée).

TABLE A.I. 16. Nombre (proportion) de répondants selon leur activité professionnelle et la possession d'autres équidés que celui de référence

		Activité professionnelle en lien avec les équidés		
		Oui	Non	Total
Propriétaire d'autres équidés	Oui	427 (18,5)	1 225 (53,2)	1652 (71,7)
	Non	64 (2,8)	587 (25,5)	651 (28,3)
	Total	490 (21,3)	1 813 (78,7)	2303 (100)

Les plupart des répondants dont l'activité professionnelle n'est pas en lien avec la filière équine détenaient des équidés (Test du Chi-2, p <0,05) (Table A.I. 17). Il aurait été intéressant de demander le nombre d'équidés en propriété afin d'identifier si les *professionnels* possédaient plus d'équidés.

Les *professionnels* n'étaient pas forcément détenteurs (Table A.I. 17). Parmi les 1 204 répondants à la fois détenteurs et *non-professionnels*, 76,47 % (920) détenaient au moins l'équidé de référence mais aucun équidé ne leur appartenant pas.

TABLE A.I. 17. Nombre (proportion) de répondants selon leur activité professionnelle et la détention d'équidés

		Activité professionnelle en lien avec les équidés		
		Oui (%)	Non (%)	Total (%)
Détenteurs	Oui	420 (18,2)	1 203 (52,3)	1 623 (70,5)
	Non	71 (3,1)	609 (26,4)	680 (29,5)
	Total	490 (21,3)	1 813 (78,7)	2 303 (100)

Enquête détenteurs

Personnes étant toujours détenteurs actuellement

Sur les 1 217 répondants, 6,2 % ne détenaient plus d'équidés au moment de l'enquête (Table A.I. 18), pour la plupart depuis moins de 5 ans (Table A.I. 19).

TABLE A.I. 18. Nombre et proportion de répondants détenteurs ou non d'équidés au moment de l'enquête

Détenteurs	Effectifs	%
Non	76	6,2
Oui	1141	93,8
Total	1217	100

TABLE A.I. 19. Nombre et proportion de répondants n'étant plus détenteurs selon l'écart entre l'année de cessation de l'activité et la date de retour de l'enquête

Ecart	Nombre d'anciens détenteurs	%
[0-5]	60	79
[6-11]	13	17,1
[12-33]	3	3,9
Total	76	100

Localisation des lieux de détention d'équidés avec le nombre moyen d'équidés détenus

Les 76 répondants qui n'étaient plus détenteurs avaient enregistré un (en majorité), deux ou trois commune(s) ayant au moins un lieu de détention (Figure A.I 6). Ils détenaient en moyenne 5,7 équidés (Table A.I. 20). Nous pouvons noter que 52 d'entre eux détenaient au plus 3 équidés.

En ce qui concerne ceux qui étaient encore détenteurs au moment de l'enquête ($n = 1\,141$), un peu plus de la moitié détenaient entre 1 et 4 équidés, et seuls cinq répondants détenaient plus de 100 équidés. La majorité détenaient leurs équidés sur une seule commune et seuls huit détenteurs en détenaient sur plus de cinq communes (Figure A.I 6).

Le nombre moyen d'équidés détenus des détenteurs actuels était significativement supérieur à celui des répondants ayant déclaré ne plus être détenteurs (Test de Wilcoxon, $p < 0,05$).

TABLE A.I. 20. Nombre d'équidés détenus selon le statut du répondant (détenteur/non détenteur)

Statut de détenteur	Nombre d'équidés détenus				
	Minimum	Médiane	Moyenne	Maximum	Ecart type
Non détenteur actuellement (n=76)	1	2	5,7	50	10,3
Encore Détenteurs (n=1 141)	1	4	9,3	150	13,2
Tous (n=1 217)	1	2	9,1	150	13,1

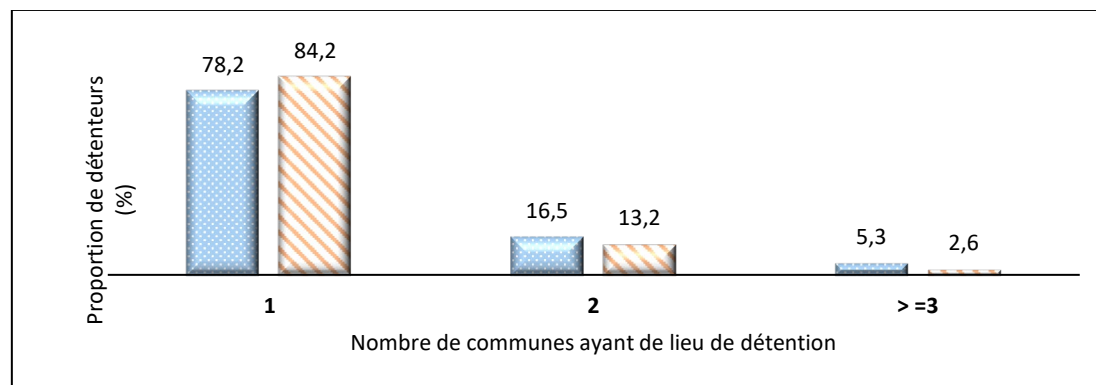


FIGURE A.I.6. Répartition (%) des détenteurs en fonction du nombre de communes de détention d'équidés

Nombre de propriétaires différents dont les équidés sont détenus par les répondants encore détenteurs (n = 1141)

Il n'était pas précisé dans la question si le détenteur devait se compter en tant que propriétaire dans le cas où il hébergeait ses propres équidés. 32,8 % ont ainsi déclaré ne détenir que leurs propres équidés (0 propriétaires différents). Pour les 33,6 % ayant déclaré détenir les équidés d'un seul propriétaire il n'était pas possible de savoir s'il s'agissait de ses propres équidés ou non. Moins de 20 % des répondants détenteurs détenaient, avec certitude, des équidés de plus de deux propriétaires différents (Figure A.I.7).

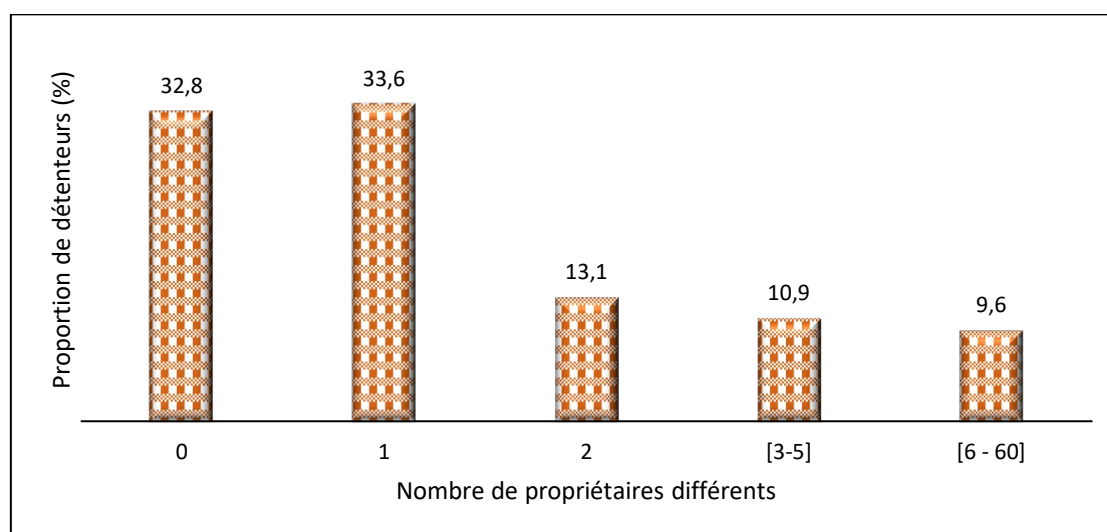


FIGURE A.I.7. Répartition des détenteurs selon le nombre de propriétaires différents dont les équidés sont détenus

Type d'équidés détenus

Les types d'équidés les plus fréquemment détenus étaient les équidés de loisir (68,7 % des détenteurs), à la retraite (48 %), d'élevage (42 %), et de sport (31 %) (Table A.I. 21). Le détenteur ayant le plus d'équidés d'un même type détenait 145 équidés de type élevage. Peu de personnes détenaient des équidés de type lait ou viande.

TABLE A.I. 21. Nombre moyen d'équidés et nombre de détenteurs par type

Types d'équidés	Nombre de détenteurs actuel (%*)	Nombre d'équidés actuellement détenus (%)	min	max	moyenne	mode
Loisir	787 (69,0)	4 141 (34,0)	1	115	5,3	2
Sport	348 (30,5)	1 496 (12,3)	1	55	4,3	1
Course	59 (5,2)	329 (2,7)	1	100	5,6	1
Travail	111(9,7)	633 (5,2)	1	35	5,7	1
Elevage	488(42,8)	3 579 (29,4)	1	145	7,3	1
Viande	13(1,1)	97(0,8)	1	25	7,5	1
Lait	6 (0,5)	37(0,3)	1	10	6,2	10
Retraite	552(48,4)	1 625(13,3)	1	60	2,9	1
Autre	80(7,0)	237(2,0)	1	20	2,9	1

* La somme des pourcentages est supérieure à 100% du fait qu'un détenteur pouvait avoir plusieurs types d'équidés.

La plupart des détenteurs détenaient un ou deux types d'équidés (Table A.I. 22). Les associations les plus fréquentes étaient loisir / retraite (35,2 %), loisir / élevage / retraite (25,4 %), loisir/sport/élevage/retraite (53,6 %), loisir/sport/travail/élevage/retraite (53,8 %).

Pour ceux ayant un seul type, deux types, trois types d'équidés, respectivement 85,1 % (349), 76,3 % (258), 75 % (183) les détenaient dans une seule commune.

TABLE A.I. 22. Nombre et répartition des détenteurs selon le nombre de types d'équidés détenu

Nombre de types	Nombre de détenteurs	%
0*	6	0,5
1	410	35,9
2	338	29,6
3	244	21,4
4	97	8,5
5	39	3,4
6	6	0,5
7	1	0,1
Total	1141	100

*Ces répondants ne voulaient probablement pas renseigner le vrai nombre d'équidés.

Année de début de détention

Cette question ne concernait que les répondants ayant déclaré être détenteur d'équidés et n'était pas obligatoire. Seuls 54 % (n = 616) détenteurs ont répondu à la question. Si une personne déclarait des lieux de détentions dans plusieurs communes, on lui demandait l'année du début de détention dans chaque commune.

L'année du début de détention présentée dans le [Table A.I. 23](#) est la plus ancienne des années déclarées par un même détenteur.

TABLE A.I. 23. Nombre et proportion de détenteurs selon l'écart entre année du début de détention et l'année 2019

Ecart (en année)	Effectifs	%
[0-10]	289	46,9
[11-20]	172	27,9
[21-30]	93	15,1
[31-50]	59	9,6
Plus de 50 ans	3	0,5
Total	616	100

Croisement des données de l'enquête avec la base SIRE

Afin d'évaluer la qualité et la complétude des informations enregistrées dans la base SIRE, nous avons confronté certaines informations issues de l'enquête avec celles enregistrées dans la base SIRE :

- Pour l'équidé de référence ont été comparés : le statut de l'équidé (vivant/mort), la date de mort si pertinent ainsi que le sexe,
- Pour le propriétaire ont été comparés le statut de propriété d'équidés (dernier propriétaire enregistré ou non), l'enregistrement du statut de détenteur d'équidés et la commune de résidence,
- Pour les détenteurs : la cohérence avec le statut de détenteurs d'équidés a été vérifiée.

Statut de l'équidé de référence

Parmi les 2 738 équidés enregistrés vivants dans la base SIRE, 162 (1,6 %) étaient en fait morts ([Table A.I. 24](#)), soit que leur mort n'avait pas été déclarée à l'IFCE, soit qu'ils étaient morts entre la date de l'extraction et la date du retour du questionnaire. 25 % (n = 42) de ces équidés pouvaient être d'origine non constaté puisque leurs dates de naissance n'étaient pas renseignées dans SIRE. Parmi les 120 équidés restant, 54,2 % étaient âgés de plus de 21 à 39 ans, 33,3 % âgés de 11 à 20 ans et un poulain de 2ans. Le croisement de ces 162 équidés morts non déclarés dans SIRE avec la date du début de leur propriété a montré que 63,6 % des écarts entre cette date avec la date du début de l'enquête étaient entre 11 et 39 ans.

Parmi les 50 équidés enregistrés morts dans la base SIRE et pour lesquels un questionnaire a été retourné, un équidé a été déclaré vivant lors de l'enquête. Ceci pourrait être dû à une erreur de saisie du répondant (un remplacement d'un autre équidé au lieu de celui référencé) ou une erreur de la base SIRE.

TABLE A.I. 24. Comparaison du statut vivant/mort de l'équidé de référence enregistré dans la base SIRE et le statut renseigné dans l'enquête

		Statut enquête			
		Je ne sais pas (%)	Mort (%)	Vivant (%)	Total (%)
Statut SIRE	Mort	5 (0,2)	44 (1,6)	1 (0,0)	50 (1,8)
	Vivant	170 (6,1)	162 (5,8)	2 406 (86,3)	2738 (98,2)
	Total	175 (6,3)	206 (7,4)	2 407 (86,3)	2788 (100)

Ecart entre date de mort déclarée lors de l'enquête et la date de mort enregistrée dans la base SIRE (date de retour du livret à l'IFCE)

Pour trois équidés, l'écart entre la date de mort indiquée dans l'enquête et la date de mort enregistrée dans la base SIRE était négatif ; ce qui signifie soit eu une erreur de saisie dans la base SIRE, soit une mauvaise réponse du répondant (qui a répondu à l'enquête par rapport à un autre équidé que celui de référence), soit un biais de mémoire du répondant. Pour la majorité des équidés morts ($n = 28$), le retour du livret à l'IFCE et l'enregistrement de la mort ont été faits dans l'année du décès (Figure A.I 8). Parmi ceux-ci, dix avaient utilisé le service de l'ATM pour la demande d'enlèvement.

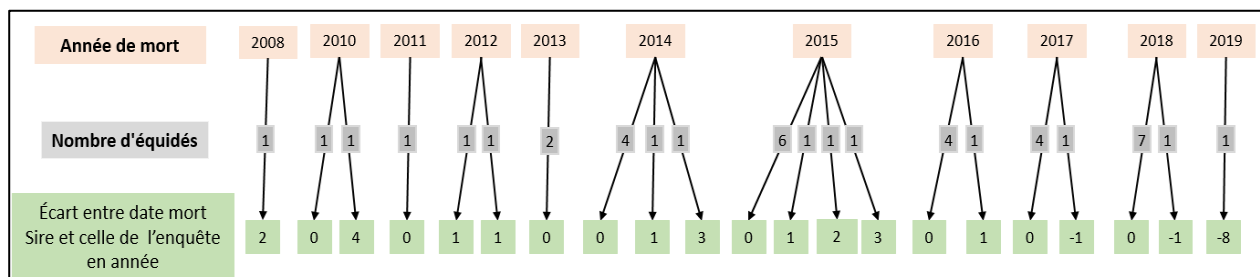


FIGURE A.I 8. Nombre d'équidés selon l'écart entre date de mort enregistrée dans la base SIRE et celle déclarée dans l'enquête

Statut de propriétaire d'équidés

Parmi les 50 questionnaires faisant référence à un équidé enregistré mort dans la base SIRE (*i.e* pas d'équidés vivants lié au propriétaire dans la base), 16 répondants ont indiqué être propriétaires d'autres équidés au moment de l'enquête (Table A.I. 25). Ceci pourrait s'expliquer par une non déclaration à l'IFCE de ces autres équidés ou l'acquisition d'équidés entre la date d'extraction de la base SIRE et la date de retour du questionnaire ou une déclaration en tant que propriétaire au SIRE sous une autre « personne SIRE ».

Selon la base SIRE, 2 738 des enquêtés ayant répondu étaient enregistrés en tant que propriétaires d'au moins l'équidé de référence et que cet équidé était vivant (Table A.I. 26). Cependant 99 répondants ont déclaré qu'ils n'étaient ni propriétaires de l'équidé de référence ni propriétaires d'autres équidés au moment de l'enquête, soit que la mort de l'équidé ou le changement de propriétaire n'ont pas été déclarés à l'IFCE, soit que ces changements ont eu lieu entre la date d'extraction des données et le retour du questionnaire. Les équidés de référence, des 24 répondants parmi ces 99, pourraient être d'origine non constatée puisque leur date de naissance n'était pas renseignée. Parmi ceux dont la date de naissance de l'équidé était renseignée ($n = 25$), 33,3 % étaient âgés de 21 à 37 ans, 46,7 % de 11 à 20 ans. L'écart entre la date du début de propriété de l'équidé de référence et la date du début de l'enquête de ces 99 répondants variait entre 1 à 39 ans. Le début de propriété de 43 % de ces équidés date de 10 à 39 ans et 20,2 % entre 1 à 5 ans.

De plus, 175 répondants, n'étant plus propriétaires de l'équidé de référence, ignoraient le devenir de l'équidé (dont l'équidé était supposé vivant et pour cinq supposé mort). Pour ces équidés le changement de propriétaire soit n'a pas été déclaré, soit a eu lieu entre la date d'extraction et la date de retour du

questionnaire. Le début de propriété des 46 % des 175 équidés de référence date de plus de 10 ans (11-36 ans) et 27,0 % date de 1 à 5 ans.

TABLE A.I. 25. Nombre (proportion) des répondants selon leur statut (propriétaire ou non) enregistré dans la base SIRE et leur statut déclaré dans l'enquête

		Propriétaire enquête		
		Oui	Non	Total
Propriétaire SIRE	Oui	2639 (94,7)	99 (3,6)	2 738 (98,2)
	Non	16(0,6)	34 (1,2)	50 (1,8)
	Total	2 655 (95,2)	133 (4,8)	2 788 (100)

Statut de propriétaire-détenteur

Dans la base SIRE, 923 répondants à l'enquête *propriétaire* étaient enregistrés en tant que détenteurs d'équidés dans la base SIRE (Table A.I. 26). Cependant 16,6 % (n = 153) de ces deniers ont déclaré ne pas être détenteur, ni de l'équidé de référence, ni d'équidés ne leur appartenant pas. Pour ces 153 propriétaires :

- 40 ne détenaient ni l'équidé de référence ni d'équidés ne leur appartenant pas et ne possédaient pas d'équidés hormis l'équidé de référence. On peut donc conclure avec certitude qu'ils n'étaient plus détenteurs d'équidés et qu'ils n'avaient pas déclaré la fermeture de leur site de détention à l'IFCE.
- 113 ne détenaient ni l'équidé de référence ni d'équidés ne leur appartenant pas. Cependant, ils possédaient d'autres équidés dont on ignore s'ils les détenaient (question non posée). Pour ces propriétaires il n'était pas possible de savoir si les informations de la base SIRE concernant le lieu de détention étaient à jour ou pas.

Parmi les 1 865 propriétaires qui n'étaient pas enregistrés dans la base SIRE comme détenteurs, 52,6 % (n = 981) se sont déclarés détenteurs lors de l'enquête (Table A.I. 26). Ceci confirme la forte sous-déclaration des lieux de détention à l'IFCE. Cependant, en l'absence de clé unique entre les tables SIRE équidés et détenteur, le croisement des données s'est avéré difficile et un certain nombre de propriétaires ont pu ne pas être retrouvés dans la table détenteur. Il est aussi possible, que ces propriétaires aient commencé à héberger des équidés entre la date d'extraction et la date du retour de l'enquête.

La caractérisation des 981 répondants de l'enquête *propriétaire* qui ont répondu être détenteurs et qui n'ont pas été retrouvés dans la *table détenteur* de SIRE, a montré que :

364 (37,1 %) de ces répondants possédaient dans SIRE 11,3 équidés en moyenne, 57,8 % parmi eux étaient propriétaires de 1 à 5 équidés. Ces 364 répondants hébergeaient selon l'enquête, en moyenne, 6,8 équidés ne leurs appartenant pas.

133 (13,6 %) ne détenaient que l'équidé de référence. 484 (49,3 %) détenaient l'équidé de référence mais étaient propriétaire d'autres équidés dont on ignore s'ils les détenaient (question non posée). Ces 484

répondants étaient propriétaires dans SIRE de 7,6 équidés en moyenne et 76,7 % étaient propriétaires de 1 à 5 équidés.

En résumé, la majorité des propriétaires n'ayant pas déclaré de lieux de détention à l'IFCE détiennent et/ou possèdent plusieurs équidés.

Le nombre d'équidés détenus avait un effet significatif sur le fait de se déclarer détenteur dans la base SIRE (Test de Wilcoxon, $p < 0,05$), plus on détenait d'équidés plus on se déclarait à l'IFCE.

TABLE A.I. 26. Nombre et proportion des répondants à l'enquête propriétaire selon leur statut de détenteur enregistré dans la base SIRE et celui déclaré dans l'enquête

		Propriétaire-détenteur enquête		
		Oui	Non	Total (%)
Détenteur SIRE	Oui	770(44,0)	153 (14,8)	923 (33,1)
	Non	981(56,0)	884 (85,2)	1 865 (66,9)
	Total	1 037 (37,2)	1 751 (62,8)	2 788 (100)

Sexe de l'équidé de référence

La question était posée afin d'évaluer la sous notification des castrations à l'IFCE. Par facilité, nous n'avons pas bloqué la question à la conditionnalité que l'équidé de référence soit un mâle.

Le taux de cohérence pour les 1 294 équidés enregistrés femelles dans SIRE était de 98,7 % ($n = 1277$) (Table A.I. 27). Selon l'enquête huit étaient des mâles entiers et 13 des hongres. Il est très probable que ces incohérences correspondent à une erreur de saisie des répondants, ou au fait que le répondant ait répondu pour un autre équidé que celui de référence

Parmi les 700 équidés déclarés hongres dans la base SIRE, quatre n'étaient pas castrés selon le retour de l'enquête et quatre étaient des femelles. Ces incohérences peuvent être expliqués de la même façon que précédemment.

En ce qui concerne la castration, 32,9 % ($n = 338$) des 1 028 hongres n'étaient pas déclarés à l'IFCE sans doute parce les contrôles d'identité et donc de la castration ne sont réalisés que pour les équidés participant à des manifestations officielles (concours, courses, etc) et concernent au final une faible proportion d'équidés.

TABLE A.I. 27. Nombre et proportion d'équidés selon le sexe enregistré dans la base SIRE et celui déclaré dans l'enquête

		Sexe enquête			
		Femelle	Hongre	Mâle	Total
Sexe SIRE	Femelle	1277 (51,5)	13 (0,5)	4 (0,2)	1294 (52,2)
	Hongre	6 (0,5)	690 (27,8)	4 (0,2)	700 (28,2)
	Mâle	8 (0,3)	338 (13,6)	141 (5,7)	487 (19,6)
	Total	1291 (52)	1041 (42)	149 (6)	2481 (100)

Communes de résidence des propriétaires

Concernant les 2 303 propriétaires dont la commune de résidence était demandée, 33 % ont indiqué résider dans une commune différente de celle enregistrée dans la base SIRE, ce qui implique qu'ils n'avaient pas mis à jour leurs données personnelles. Pour 2,2 % la commune n'était soit pas renseignée dans SIRE ($n = 33$) et la plupart d'entre eux habitant à l'étranger, soit erronée dans l'enquête ($n = 21$).

Parmi les propriétaires ayant changé de commune de résidence, 55,7 % avaient déménagé dans une commune distante de 1,4 à 30Km et la moitié avait déménagé dans une commune dans un rayon de 22,1Km (Figure A.I 9). Il est probable que ces propriétaires malgré leur déménagement, n'aient pas changé de lieu de détention pour leurs équidés.

La distance moyenne entre la commune déclarée et celle de la base SIRE étaient de 113,5Km, avec un maximum de 909,5Km.

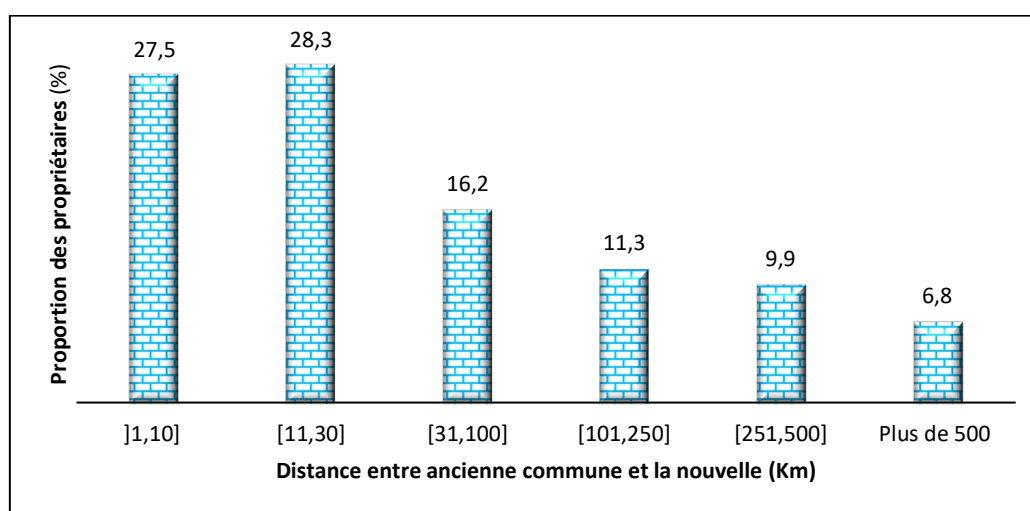


FIGURE A.I 9. Répartition des propriétaires ayant changé d'adresse selon la distance entre celle enregistrée dans la base SIRE et celle déclarée dans l'enquête (759 propriétaires)

Statut Détenteur

Parmi les 1 166 (95,8 %) répondants au questionnaire *détenteur*, ayant au moins un lieu de détention enregistré ouvert dans la base SIRE (Table A.I. 28), 57 ont déclaré ne plus en avoir au moment de l'enquête. Ceci implique qu'ils n'avaient pas déclaré la fermeture de leurs lieux de détention à l'IFCE (ils n'étaient plus détenteurs d'équidés).

En outre, sur les 51 répondants qui ne possédaient pas de lieux de détention connus ouverts dans SIRE, 35 ont déclaré en avoir au moment de l'enquête. Ceci indique que ces 35 répondants ont ouvert au moins un lieu de détention sans le déclarer à l'IFCE.

Il n'est cependant pas exclu qu'une partie des ouvertures ou fermetures des lieux de détention d'équidés ait eu lieu entre la date d'extraction de la base et la date du retour de l'enquête.

Les détenteurs non enregistrés dans la base SIRE détenaient en moyenne 6,8 équidés et au maximum 62 équidés. Parmi eux, sept détenaient des équidés dans deux communes différentes et 25 sur une seule commune.

Le nombre moyen d'équidés détenus par les 1 109 détenteurs enregistrés dans la base SIRE n'était pas significativement différent de celui des 32 détenteurs non enregistrés (Test de Wilcoxon, $p > 0,05$).

TABLE A.I. 28. Nombre (proportion) des répondants selon leur statut de détenteur enregistré dans la base SIRE et celui déclaré dans l'enquête

		Détenteurs dans les enquêtes		
		Oui	Non	Total
Détenteurs dans SIRE	Oui	1109 (91,1)	57 (4,7)	1166 (95,8)
	Non	32 (2,6)	19 (1,6)	51 (4,2)
	Total	1141 (93,8)	76 (6,2)	1217 (100)

Conclusion Et Perspectives

Cette enquête a permis d'évaluer la qualité (exactitude et complétude) de certaines informations de la base SIRE. Si la qualité est globalement très satisfaisante, certains défauts d'actualisation et/ou de déclaration par les propriétaires et les détenteurs doivent être pris en compte lors de la valorisation des données. Pour un meilleur suivi des événements sanitaires de la filière, il est cependant nécessaire de disposer d'informations les plus complètes et à jour possible. Par exemple, en cas d'apparition d'un foyer de maladie contagieuse, il est fondamental de pouvoir identifier les lieux de détention d'équidés situés à proximité du foyer et également d'être en mesure de contacter les détenteurs et les propriétaires concernés afin de mener une enquête épidémiologique et de gérer au mieux le foyer pour éviter la dissémination de la maladie.

La répétition régulière d'enquêtes similaires à celles que nous avons menées pourrait être complémentaire aux actions déjà menées par l'IFCE. En effet celui-ci réalise de manière annuelle des campagnes de communication auprès des propriétaires et détenteurs afin d'inciter la mise à jour des informations (e-mailing à tous les détenteurs de la base, actu web, posts facebook), et depuis fin novembre 2019 des tests de validation des coordonnées lors des appels à l'accueil téléphoniques sont réalisés avec pour objectif une généralisation de la vérification pour tous les appels. Néanmoins l'effet de ce genre de campagne est malheureusement assez faible. Une approche sociologique pourrait aider à comprendre les freins et identifier les leviers pour inciter au respect des obligations réglementaires, auprès des particuliers notamment.

Il serait également pertinent d'inciter les propriétaires et détenteurs à fournir des contacts valides (adresse mail, adresse de résidence, numéro de téléphone) et à autoriser l'IFCE à les utiliser pour leur communiquer des informations utiles et/ou les solliciter au travers d'enquêtes qui permettront de mieux connaître la filière équine française, mais également de recueillir les besoins et difficultés afin de les prendre en compte.

Par ailleurs, cette enquête a permis d'évaluer la robustesse de certaines hypothèses (par exemple, un propriétaire déclarant un équidé déclare tous les équidés qu'il possède ; un propriétaire héberge ses équidés

au(x) même(s) endroit(s), etc) nécessaires à l'estimation de la répartition spatiale de la population équine en France. De plus, elle nous a permis d'obtenir un échantillon d'équidés et propriétaires pour lesquels les communes de résidence du propriétaire et de stationnement de l'équidé sont connues avec certitude. Ces données seront utilisées à court terme pour réaliser un travail de modélisation de la distribution spatiale des équidés via une approche bayésienne dont l'application en Grande Bretagne a montré des résultats intéressants.

Annexe II. Sur l'estimation de la répartition spatiale des équidés

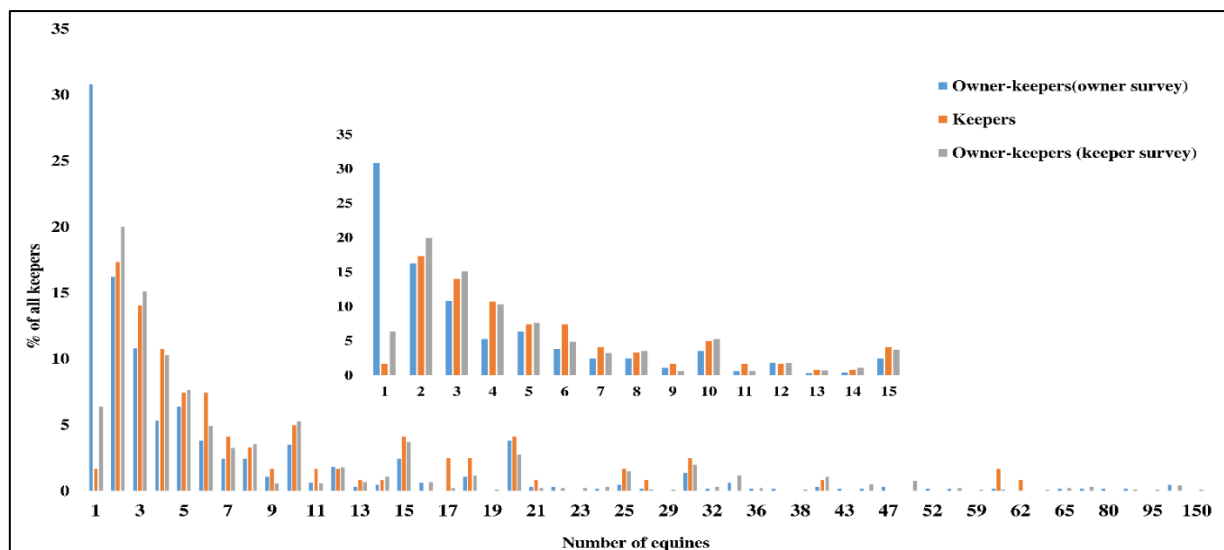


FIGURE A. II. 1. Number of equines per keeper or owner-keeper (supplementary Material)

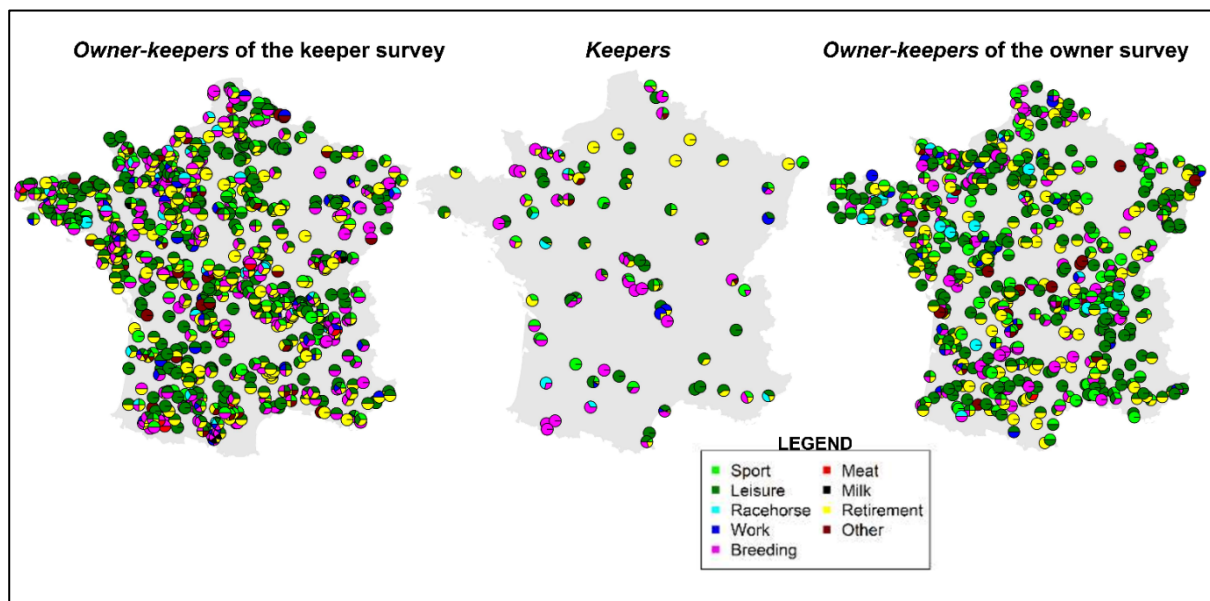


FIGURE A. II. 2. Uses/destinations of equines kept by commune (supplementary Material)

TABLE A. II. 1. Uses/destinations of equines kept (supplementary material)

		Owner survey			Keeper survey		
		Owners	Owner-keepers		Keepers	Owner-keepers	
		n	n	%	n	%	n
1 use/ destination	Leisure	178	52.4	23	53.5	229	62.4
	Sport	33	9.7	2	4.7	16	4.4
	Racehorse	11	3.2	0	0	3	0.8
	Work	3	0.9	0	0	3	0.8
	Breeding	38	11.2	11	25.6	39	10.6
	Meat	0	0	0	0	1	0.3
	Milk	0	0	0	0	0	0.0
	Retirement	64	18.8	7	16.3	64	17.4
	Other	13	3.8	0	0	12	3.3
	Total	340	100	43	100	367	100
2 uses/ destinations	Racehorse, breeding	5	3.9	2	6.1	11	3.6
	Racehorse, retirement	0	0.0	0	0	1	0.3
	Breeding, retirement	8	6.3	2	6.1	24	7.9
	Breeding, other	0	0	0	0	3	1.0
	Breeding, meat	0	0	0	0	4	1.3
	Leisure, other	4	3.1	1	3.0	9	3.0
	Leisure, breeding	4	3.1	3	9.1	47	15.4
	Leisure, retirement	45	35.4	11	33.3	108	35.4
	Leisure, sport	33	26.0	4	12.1	27	8.9
	Leisure, work	4	3.1	2	6.1	9	3.0
	Retirement, other	1	0.8	1	3.0	5	1.6
	Sport, breeding	17	13.4	4	12.1	32	10.5
	Sport, retirement	5	3.9	2	6.1	18	5.9
	Sport, other	0	0	0	0	1	0.3
	Work, retirement	1	0.8	1	3.0	2	0.7
	Work, other	0	0	0	0	1	0.3
	Work, breeding	0	0	0	0	3	1.0
		Total	127	100	33	100	305
3 uses/ destinations	Racehorse, breeding, retirement	0	0	0	0	11	5.1
	Racehorse, breeding, meat	1	1.5	0	0	1	0.5
	Racehorse, work, breeding	1	1.5	0	0	2	0.9
	Breeding, retirement, other	0	0	0	0	4	1.9
	Leisure, racehorse, retirement	1	1.5	2	6.7	3	1.4
	Leisure, breeding, retirement	7	10.6	9	30.0	53	24.8
	Leisure, sport, racehorse	1	1.5	1	3.3	1	0.5
	Leisure, sport, breeding	14	21.2	5	16.7	33	15.4

	Leisure, sport, retirement	20	30.3	6	20.0	37	17.3
	Leisure, work, breeding	3	4.5	1	3.3	7	3.3
	Leisure, racehorse, breeding	0	0	0	0	4	1.9
	Leisure, breeding, other	0	0	0	0	1	0.5
	Leisure, breeding, meat	0	0	0	0	1	0.5
	Leisure, retirement, other	0	0	0	0	7	3.3
	Leisure, sport, other	1	1.5	0	0	2	0.9
	Leisure, sport, meat	1	1.5	0	0	0	0
	Leisure, sport, work	6	9.1	0	0	5	2.3
	Leisure, work, other	0	0.0	0	0	1	0.5
	Leisure, work, retirement	1	1.5	0	0	6	2.8
	Sport, racehorse, breeding	0	0	0	0	1	0.5
	Sport, breeding, retirement	0	0	0	0	22	10.3
	Sport, retirement, other	3	4.5	0	0	1	0.5
	Sport, work, other	0	0	0	0	1	0.5
	Sport, work, breeding	1	1.5	0	0	2	0.9
	Sport, breeding, retirement	4	6.1	6	20.0	0	0
	Sport, work, meat	1	1.5	0	0	0	0
	Work, breeding, retirement	0	0	0	0	6	2.8
	Work, breeding, meat	0	0	0	0	1	0.5
	Work, meat, milk	0	0	0	0	1	0.5
	Total	66	100	30	100	214	100
4 uses/ destinations	Leisure, racehorse, breeding, retirement	0	0	1	12.5	2	2.2
	Leisure, sport, breeding, retirement	21	63.6	3	37.5	49	55.1
	Leisure, sport, racehorse, breeding	0	0	0	0	3	3.4
	Leisure, sport, milk, retirement	0	0	0	0	2	2.2
	Leisure, sport, work, other	0	0	0	0	1	1.1
	Leisure, sport, work, breeding	4	12.1	0	0	2	2.2
	Leisure, sport, work, retirement	4	12.1	0	0	5	5.6
	Leisure, sport, breeding, other	2	6.1	0	0	0	0
	Leisure, breeding, retirement, other	0	0	2	25	5	5.6

	Leisure, work, breeding, retirement	0	0	1	12.5	8	9.0
	Leisure, work, retirement, other	0	0	0	0	1	1.1
	Sport, racehorse, breeding, retirement	0	0	0	0	1	1.1
	Sport, racehorse, work, breeding	0	0	0	0	1	1.1
	Sport, breeding, retirement, other	0	0	0	0	3	3.4
	Sport, breeding, meat, retirement	0	0	0	0	1	1.1
	Sport, work, breeding, other	1	3.0	0	0	1	1.1
	Sport, work, breeding, retirement	1	3.0	0	0	3	3.4
	Sport, breeding, retirement, other	0	0	1	12.5	0	0
	Work, breeding, retirement, other	0	0	0	0	1	1.1
	Total	33	100	8	100	89	100
5 uses/ destinations	Leisure, sport, breeding, retirement, other	0	0	1	14.3	8	25
	Leisure, sport, work, breeding, retirement	3	42.9	5	71.4	16	50
	sport, racehorse, breeding, retirement, other	0	0	1	14.3	0	0
	Leisure, sport, racehorse, breeding, retirement	2	28.6	0	0	2	6.3
	Leisure, sport, racehorse, work, breeding	0	0	0	0	1	3.1
	Leisure, sport, breeding, meat, retirement	0	0	0	0	1	3.1
	Leisure, sport, work, retirement, other	0	0	0	0	1	3.1
	Leisure, work, breeding, milk, retirement	0	0	0	0	1	3.1
	Leisure, work, breeding, meat, milk	0	0	0	0	1	3.1
	Leisure, work, breeding, retirement, other	1	14.3	0	0	0	0
	Leisure, sport, racehorse, work, retirement	1	14.3	0	0	0	0

	Sport, racehorse, work, breeding, retirement Total	0	0	0	0	1	3.1
6 uses/ destinations	Leisure, sport, racehorse, work, breeding, retirement	7	100	7	100	32	100
	Leisure, sport, work, breeding, retirement, other	1	100	0	0	2	28.6
	Leisure, work, breeding, meat, milk, retirement	0	0	0	0	3	42.9
	Total	0	0	0	0	2	28.6
	Total	1	100	0	0	7	100

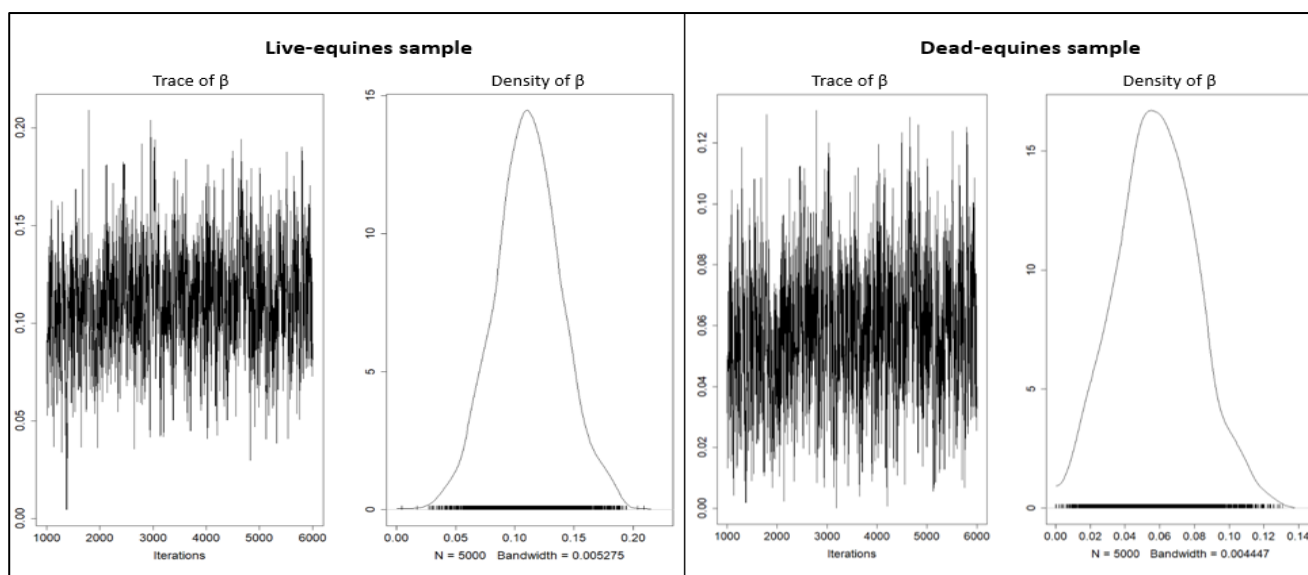


FIGURE A. II. 3. Parameter β estimation

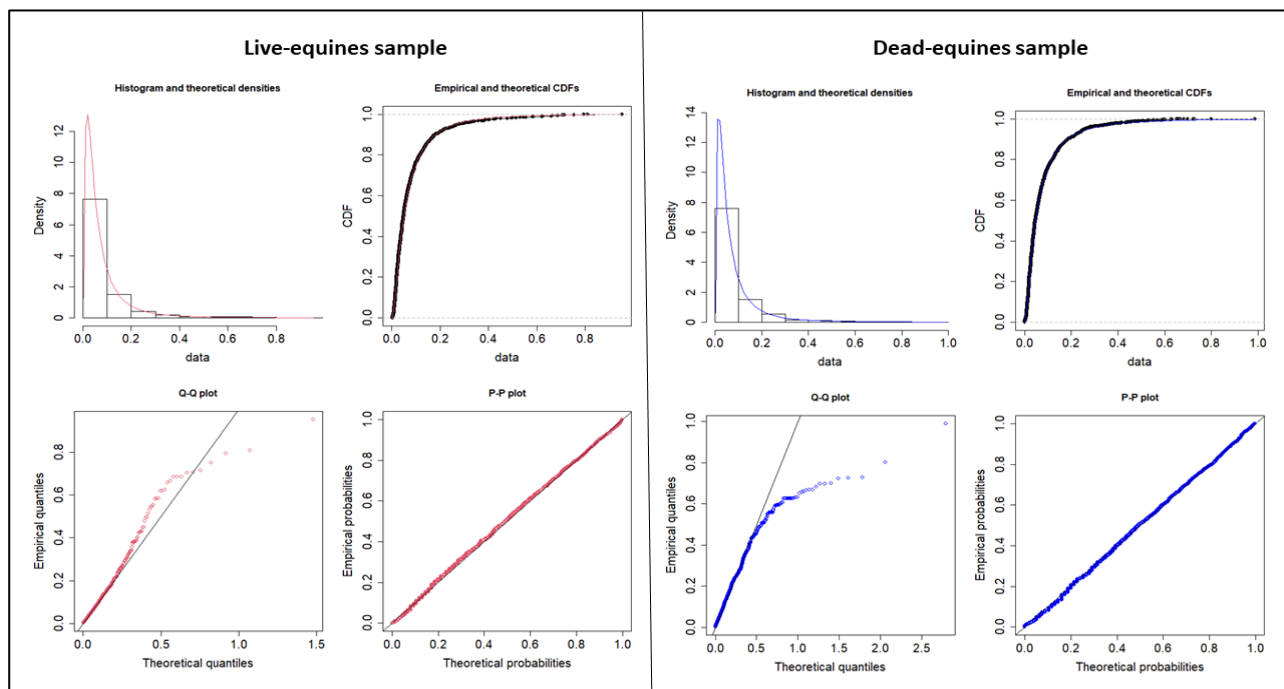


FIGURE A. II. 4. Fitter of distribution of the urban cover to lognormal distribution dead-equines and live-equines samples: estimation of σ and μ

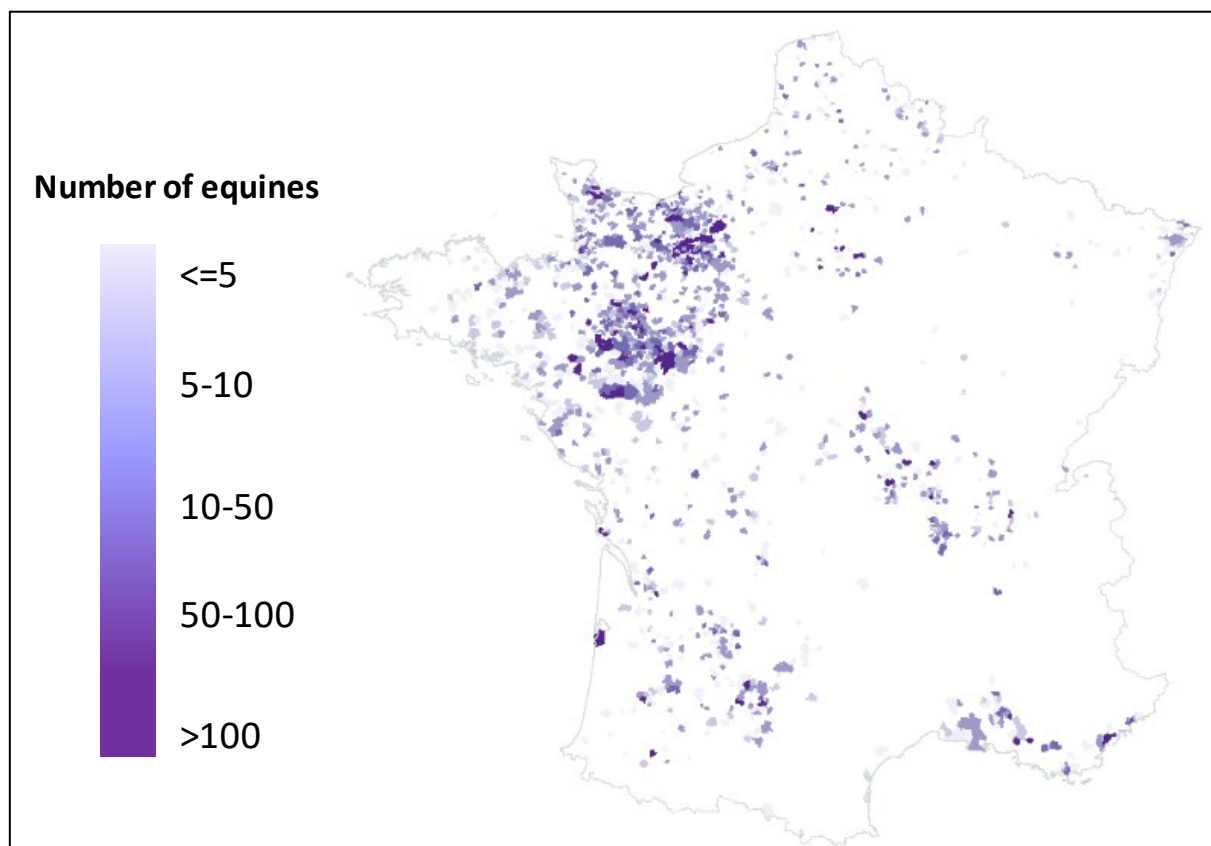


FIGURE A. II. 5. Spatial repartition of race-horses from the race-horses dataset

METHOD 1. Detail of the assignment

For each french *commune* C_k ($k = 1$ to N)

Compute $P_O(C_k) = P_O(r_0)$, with r_0 the centroid of the *commune* C_k

For each owner in *commune* C_k Randomly draw a value $\mathcal{V}$ in $[0,1]$

If $\mathcal{V} \leq P_O(C_k)$ (same *commune*)

Holding's *commune* = C_k

Else (different *commune*)

For all r in $\{1 \text{ to } N, r \neq k\}$ r the centroid of the *commune*

Compute $D_r = C_k - C_r$

Compute $P_{sep}(C_r) = \frac{P_O(C_r) * D_r^{-\beta}}{\sum_{r \neq k}^N P_O(C_r) * D_r^{-\beta}}$

Do a weighted random draw by $P_{sep}(C_r)$ of an r (noted r in $\{1 \text{ to } N, r \neq k\}$)

Holding's *commune* = C_r

METHOD 2. Detail of the assignment

For each french *commune* C_k ($k = 1$ to N)

Compute $P_O(C_k) = P_O(r_0)$, with r_0 the centroid of the *commune* C_k

For each owner in *commune* C_k having m equine(s)

if $m = 1$ (this equine is kept in one *commune*) Do the algorithm 1

if $m = 2$ (those equines can be kept in one or two *commune(s)*)

Randomly draw a two values $\mathcal{V}_1$ and $\mathcal{V}_2$ in $[0-1]$

if $\mathcal{V}_1 \leq P_O(C_k)$ and $\mathcal{V}_2 \leq P_O(C_k)$ (the two equines are kept in one *commune*)

Holding's *commune* = C_k

if $[\mathcal{V}_1 > P_O(C_k) \text{ and } \mathcal{V}_2 \leq P_O(C_k)] \text{ or } [\mathcal{V}_1 \leq P_O(C_k) \text{ and } \mathcal{V}_2 > P_O(C_k)]$

The holding's *commune* of one equine = C_k

To obtain the holding's *commune* of the second equine, do the previous steps

if $\mathcal{V}_1 > P_O(C_k)$ and $\mathcal{V}_2 > P_O(C_k)$ (two equine at different location from the owner)

Do the steps 8 to 10 of the algorithm 1

Do a weighted random draw by $P_{sep}(C_r)$ of two r (noted r_1 and r_2 in $\{1 \text{ to } N, r_1 \neq k \text{ and } r_2 \neq k\}$)

Random two value Y_1 and Y_2 in $[0-1]$

if $P_O(C_{r_1}) \geq Y_1$ and $P_O(C_{r_2}) \geq Y_2$

One equine in C_{r_1} and one equine in C_{r_2}

if $P_O(C_{r_1}) \geq Y_1$ and $P_O(C_{r_2}) < Y_2$

The two equines is in C_{r_1}

if $P_O(C_{r_1}) < Y_1$ and $P_O(C_{r_2}) \geq Y_2$

The two equines is in C_{r_2}

if $P_O(C_{r_1}) < Y_1$ and $P_O(C_{r_2}) < Y_2$

$$\Delta = |P_O(C_{r_1}) - Y_1| - |P_O(C_{r_2}) - Y_2|$$

if $\Delta \leq 0$: the two equines is in C_{r_2}

Else: the two equines is in C_{r_1}

if $m \geq 3$ (those equines can be kept in one or two or three commune(s))

Randomly draw a three values V_1 , V_2 and V_3 in $[0-1]$

if $V_1 \leq P_O(C_k)$ and $V_2 \leq P_O(C_k)$ and $V_3 \leq P_O(C_k)$

Holding's commune = C_k

if $[V_1 > P_O(C_k) \text{ and } V_2 \leq P_O(C_k) \text{ and } V_3 \leq P_O(C_k)]$ OR

$[V_1 \leq P_O(C_k) \text{ and } V_2 > P_O(C_k) \text{ and } V_3 \leq P_O(C_k)]$ OR $[V_1 \leq P_O(C_k) \text{ and } V_2 \leq P_O(C_k) \text{ and } V_3 > P_O(C_k)]$

$2m/3$ of equines are kept in C_k

To obtain the holding's commune of the $m/3$ remaining equine(s) do steps 7 to 12 of algorithm 1

if $[V_1 > P_O(C_k) \text{ and } V_2 > P_O(C_k) \text{ and } V_3 \leq P_O(C_k)]$ OR

$[V_1 > P_O(C_k) \text{ and } V_2 \leq P_O(C_k) \text{ and } V_3 > P_O(C_k)]$ OR $[V_1 \leq P_O(C_k) \text{ and } V_2 > P_O(C_k) \text{ and } V_3 > P_O(C_k)]$

$m/3$ of equines are kept in C_k

To obtain the holding's commune of the $2m/3$ remaining equine(s) do steps 14 to 26 of algorithm 2

if $V_1 > P_O(C_k)$ and $V_2 > P_O(C_k)$ and $V_3 > P_O(C_k)$

Do steps 8 to 10 of method 1

Do a weighted random draw by $P_{sep}(C_r)$ of three r (noted r_1 , r_2 and r_3 in

$$\{1 \text{ to } N, r_1 \neq k \text{ and } r_2 \neq k \text{ and } r_3 \neq k\}$$

Randomly draw a three values Y_1 , Y_2 and Y_3 in $[0-1]$

if $P_O(C_{r_1}) \geq Y_1$ and $P_O(C_{r_2}) \geq Y_2$ and $P_O(C_{r_3}) \geq Y_3$

$m/3$ equine(s) in C_{r_1} , $m/3$ equine(s) in C_{r_2} and $m/3$ equine(s) in C_{r_3}

if $P_O(C_{r_1}) \geq Y_1$ and $P_O(C_{r_2}) \geq Y_2$ and $P_O(C_{r_3}) < Y_3$

$m/2$ equine(s) in C_{r_1} and $m/2$ equine(s) in C_{r_2}

Annexe III. Pour le manuscrit global

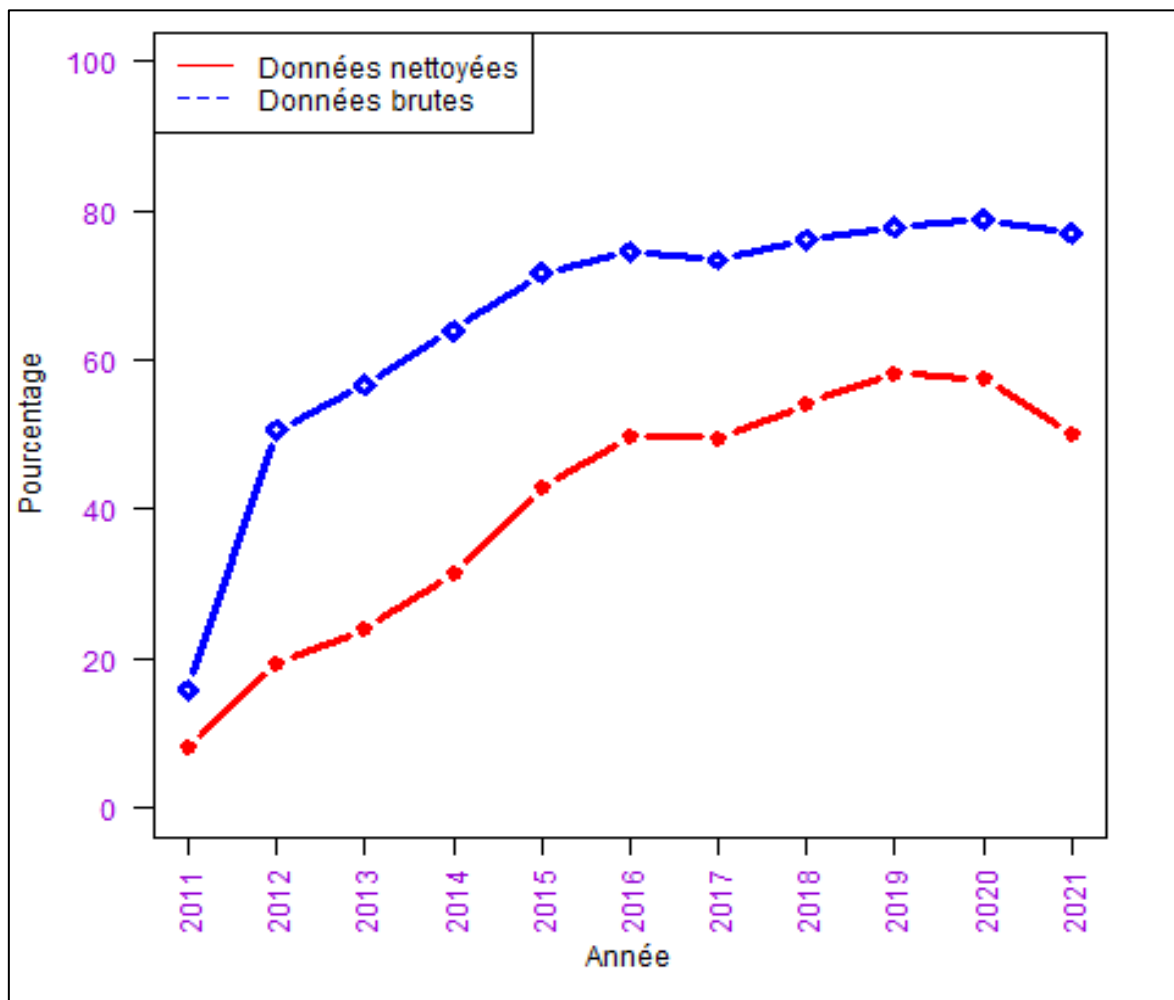


FIGURE A.III. 1. Évolution par année du pourcentage d'identifiants enregistrés dans EDI-SPAN

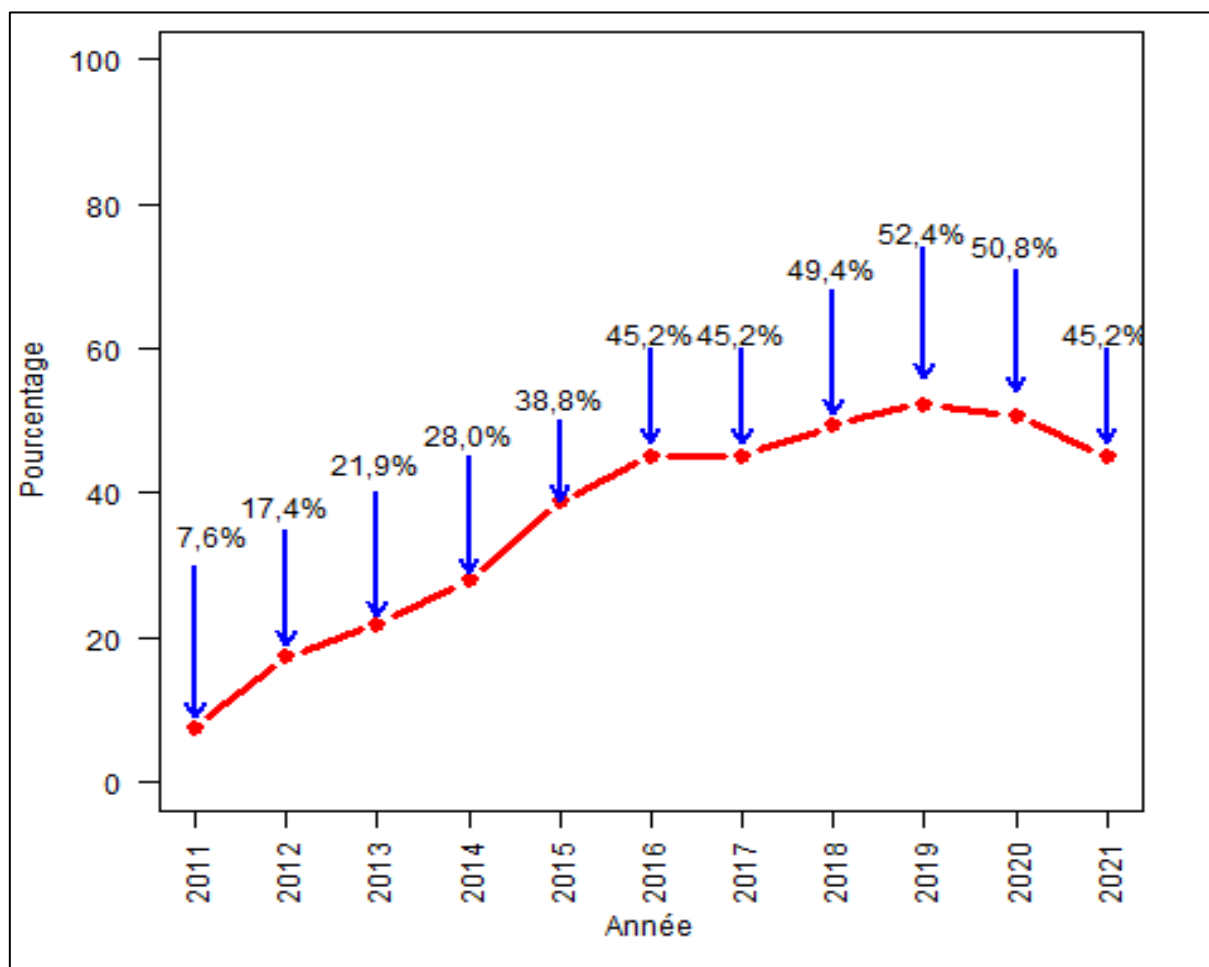


FIGURE A.III. 2. Évolution par année du pourcentage de correspondances des identifiants entre EDI-SPAN et SIRE

RÉSUMÉ

Malgré l'existence d'une base nationale d'identification des équidés centralisant les informations sur les équidés, leurs propriétaires et les détenteurs, les caractéristiques démographiques de la population équine (taille et localisation spatiale) sont mal connues, rendant difficiles le suivi, l'évaluation et la modélisation des événements sanitaires en filière équine et limitant l'efficacité des dispositifs de surveillance et de lutte. Cette situation est liée à l'organisation particulière de filière avec une mixité de particuliers et de professionnels, à un respect peu rigoureux de la réglementation et à l'absence d'obligation de déclaration de la localisation individuelle des équidés. La filière est également composée de multiples organismes et acteurs professionnels, engendrant une fragmentation des informations dans différentes bases de données non ou peu interconnectées. En investiguant la qualité des différentes sources de données disponibles et les habitudes de détention d'un échantillon de propriétaires et/ou détenteurs d'équidés, nous avons développé une méthodologie d'exploitation conjointe de ces données. Celle-ci nous a permis de réaliser au moyen d'une approche bayésienne, les premières estimations de la répartition spatiale des équidés en France à l'échelle de la commune, incluant les équidés détenus par des non-professionnels. La pertinence et la cohérence de ces résultats prometteurs seront évaluées prochainement en les confrontant aux recensements de terrain effectués dans certaines zones par les contrôleurs de l'Institut Français du Cheval et de l'Équitation.

SUMMARY

Despite the existence of a national equine identification database that centralizes information on French equines, their owners and keepers, the demographic characteristics of the equine population (size and spatial location) are poorly known, making it difficult to monitor, evaluate and model sanitary events in the equine sector and limiting the effectiveness of surveillance and control measures. This situation is linked to the particular organization of the sector with a mix of private individuals and professionals, a poor respect of the regulations and the absence of obligation to declare the individual location of the equines. The sector is also composed of multiple organizations and professional actors, resulting in a fragmentation of information in different databases that are not or only slightly interconnected. By investigating the quality of the different available data sources and the holding habits of a sample of equine owners and holders, we developed a methodology for the joint exploitation of these data. This allowed us to make, with a Bayesian approach, the first estimates of the spatial distribution of equines in France at the scale of the commune, including equines held by non-professionals. The relevance and coherence of these promising results will be evaluated in the near future by comparing them with the field censuses carried out in certain areas by the controllers of the French horse and riding institute.