

1 La santé animale

Au cours du siècle dernier, les populations humaines se sont déplacées de plus en plus facilement, régulièrement et en couvrant de plus grandes distances. La course effrénée vers le progrès et la croissance ont entraîné des mutations profondes pour notre environnement avec le dérèglement climatique, la complexification de l'accès aux ressources naturelles, ainsi que le morcellement des écosystèmes naturels. La mondialisation a aussi rendu possible les mouvements d'animaux d'élevage ou non, sur toute la planète, et donc de nouvelles interactions entre les espèces vivantes ; en particulier les agents pathogènes. Depuis 1940, 60 % des maladies infectieuses émergentes² sont zoonotiques (c.-à-d. transmissibles des animaux vertébrés à l'Homme, et inversement), dont plus de 70 % trouvent leur origine dans la faune sauvage (Jones *et al.* 2008). Les maladies émergentes présentent donc autant un risque pour la sécurité sanitaire des productions animales que pour la santé humaine. C'est d'ailleurs dans ce contexte que, dans les années 2000, l'initiative *One Health* (c.-à-d. « une seule santé ») se développe pour promouvoir une approche systémique et collégiale de la santé publique, animale et environnementale, depuis l'échelle locale à l'échelle mondiale. La prévention et la lutte contre la diffusion de maladies émergentes doivent être pensées et appliquées de sorte à minimiser les impacts sanitaires, sociaux et économiques pour les populations.

En ce sens, la surveillance épidémiologique, qui consiste au « [...] recueil systématique et continu de données pertinentes ainsi que leur consolidation et leur évaluation efficaces, s'accompagnant de la diffusion rapide des résultats aux personnes concernées, en particulier celles en mesure d'agir », est un outil important de la santé publique (Organisation Mondiale de la Santé 2019) . Les données ainsi récoltées permettent de garantir la sécurité sanitaire vis-à-vis des seuils fixés par l'OIE (Organisation mondiale de la santé animale). Elles peuvent aussi servir à des fins étiologiques, à des études d'impact de facteurs environnementaux (canicules, pollution, invasion d'espèces exotiques, ...), à des études d'évolution de comportements, ayant ou pouvant avoir un effet sur la santé, ou à mettre en place des mesures de prévention, de surveillance et de lutte vis-à-vis des maladies ciblées plus adaptées. Les études peuvent porter autant sur des indicateurs sanitaires

² L'OIE les définit comme des infections nouvelles, causées par l'évolution ou la modification d'un agent pathogène ou d'un parasite existant

Introduction générale

qu'économiques. En effet, la composante économique est très importante dans les études d'impacts sur une filière quelle qu'elle soit (Evans 2003; Horst *et al.* 1999; OCDE 2007) et différents types de coûts peuvent être distingués (Figure 1).

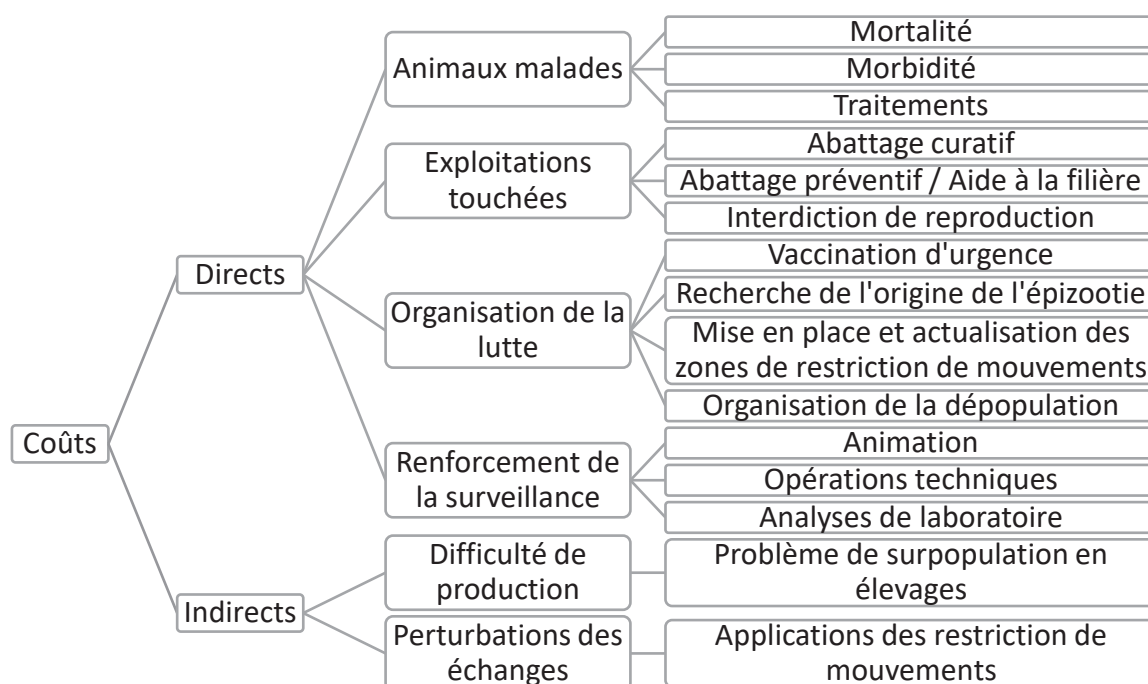


Figure 1 : Classification des coûts.

Les mesures de police sanitaire (c.-à-d. Surveillance événementielle³, gestion des suspicions et de lutte) vis-à-vis des maladies réglementées sont prises en charge par l'Etat. Les mesures de surveillance programmée⁴ et certaines mesures de lutte sont à la charge des éleveurs auxquels s'ajoutent les pertes économiques liées à la circulation de la maladie dans les élevages qui peuvent être catastrophiques pour les éleveurs. La Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale (ESA), qui associe l'ensemble des acteurs majeurs

³ On qualifie d'événementielle toute activité de surveillance qui repose sur la déclaration spontanée de cas ou de suspicions de la maladie surveillée par les acteurs sources de données. Dans un dispositif de surveillance événementielle, il est donc impossible de connaître à l'avance le nombre, la nature et la localisation des données qui seront collectées.

⁴ On qualifie de programmé tout dispositif de surveillance reposant sur l'acquisition des données par des actions programmées à l'avance et selon une méthodologie permettant d'inférer les résultats trouvés à la population suivie. Par opposition à la surveillance événementielle, il est possible de définir à l'avance le nombre, la nature et la localisation des données qui vont être collectées par le dispositif. La surveillance programmée peut être conduite de manière exhaustive (sur l'ensemble de la population cible) ou sur un échantillon de cette population. Lorsqu'elle est conduite sur un échantillon, celui-ci peut être représentatif (par sélection aléatoire), avec des collectes ponctuelles de données (enquêtes), ou répétées (population sentinelle). L'échantillon peut également être orienté sur une sous-population à risque.

Introduction générale

de la surveillance au niveau national, s'est donnée comme objectifs d'évaluer et d'améliorer l'efficacité des différents dispositifs de surveillance de maladies réglementées (Calavas 2017). Les analyses d'efficacité ont pour but d'identifier la manière économiquement la plus efficace de réaliser un objectif préétabli et apportent des éléments de décision aux gestionnaires de la santé publique (Tago *et al.* 2014; Hénaux *et al.* 2015; Waret-Szkuta *et al.* 2017; Hénaux *et al.* 2017; Rivière *et al.* 2017; Raboisson *et al.* 2018).

Les études socio-économiques conduites par l'OIE ont montré que le coût des dispositifs de surveillance et de prévention des maladies émergentes et ré-émergentes peuvent être considérés comme minimes, comparés au coût des crises sanitaires (Organisation Internationale des Epizooties 2013). En effet, la détection précoce des foyers, suivie de la mise en place d'un dispositif de lutte adapté peut contribuer à réduire à la fois l'impact sanitaire et économique de la maladie détectée. Plus la détection est précoce, plus la réponse apportée peut être réfléchie, murie et donc adaptée à la situation (Organisation Mondiale de la Santé 2005).

Pourtant, malgré la surveillance épidémiologique et les dispositifs de lutte vis-à-vis des dangers sanitaires réglementés présents sur le territoire, ces trente dernières années ont vu se succéder des maladies à fort impact socio-économique qui ont mis en exergue la faillibilité des dispositifs alors en place : la réémergence de l'encéphalopathie spongiforme bovine en France en 2001, la grippe aviaire H5N1 apparue en France en 2006, la grippe mexicaine H1N1 d'origine porcine en 2009, la tuberculose bovine depuis 2010, et la fièvre catarrhale ovine (FCO) qui a ré-émergé en 2015, après un premier épisode épizootique, qui avait fortement impacté les éleveurs, en 2007-2009 (Lesage 2014).

2 La Fièvre Catarrhale Ovine

2.1 Présentation générale de la FCO

La fièvre catarrhale ovine est une arbovirose (c.-à-d. une maladie transmise par la piqûre d'arthropodes hématophages) affectant les ruminants, qu'ils soient domestiques (bovins, ovins, caprins) ou sauvages (cervidés, camélidés). Quelques études ont prouvé que les carnivores domestiques ou sauvages peuvent aussi être infectés par ingestion de produits ou animaux infectés (Alexander *et al.* 1994; Jauniaux *et al.* 2008). Aujourd'hui, 27

Introduction générale

sérotypes⁵ du virus responsable de la FCO ont été identifiés (Schulz *et al.* 2016; Zientara *et al.* 2014). Ils sont notés « BTV- » suivi du numéro du sérotype (p. ex. BTV-1, BTV-8).

Le moucheron hématophage du genre *Culicoides* Latreille (Diptera : *Ceratopogonidae*) est considéré comme le principal vecteur de la FCO. Parmi les centaines d'espèces qui composent ce genre, *Culicoides imicola* Keiffer était considéré comme le vecteur historique de la FCO dans la zone méditerranéenne mais, aujourd'hui, d'autres espèces largement répandues en France continentale, comme le complexe d'espèces *Culicoides obsoletus* (Meigen)/*Culicoides scoticus* Downes & Kettle, ainsi que *Culicoides dewulfi* (Goetghebuer), *Culicoides chiopterus* (Meigen) et *Culicoides pulicaris* (Linnaeus), sont impliquées dans la transmission de la FCO en Europe (Caracappa *et al.* 2003; Carpenter *et al.* 2008; De Liberato *et al.* 2005; Dijkstra *et al.* 2008; Meiswinkel *et al.* 2007; Mellor et Pitzolis 1979; Romon *et al.* 2012; Savini *et al.* 2004; Torina *et al.* 2004; Venail *et al.* 2012).

Initialement confiné aux zones tropicales et subtropicales, le virus a opéré une migration vers les zones plus tempérées au cours des dernières décennies, grâce aux mouvements commerciaux de grande envergure des animaux de production ainsi qu'au réchauffement climatique qui a permis aux populations de vecteurs de survivre dans ces nouvelles niches écologiques (Purse *et al.* 2015). De plus, la compétence vectorielle d'espèces de culicoïdes endémiques à ces niches a joué un rôle majeur dans la diffusion du virus sous de nouvelles latitudes.

2.2 Le virus et ses conséquences sanitaires

Le virus responsable de la FCO est un virus à ARN double brin de la famille des *Reoviridae* et du genre *Orbivirus* désigné BTV (*bluetongue virus*) par la suite. Les antigènes à la surface du virus, permettant l'identification du sérotype du virus, entraînent l'acquisition d'anticorps spécifiques par l'hôte lors de l'infection. Ces anticorps persistent chez l'hôte pendant de nombreuses années (Ward, Carpenter, et Osburn 1994) et sont transmis à la descendance lors de la prise du colostrum, le premier lait ingéré après la mise-bas. Chez les veaux, ces anticorps colostraux peuvent être détectés jusqu'à 16 semaines après la naissance (Vitour *et al.* 2011).

Pour chaque sérotype, coexistent de nombreuses souches de BTV du fait de l'évolution génétique des virus. Comme la pathogénicité varie de manière importante selon les sérotypes et les souches, et que les signes cliniques dépendent de l'espèce infectée, la

⁵ Catégorisation d'un virus en fonction des antigènes présents à la surface du virus

Introduction générale

pose d'un diagnostic en se basant uniquement sur les signes cliniques est rendue ardue. En effet, ce sont généralement les ovins qui sont touchés par les formes sévères de la maladie tandis que les bovins infectés sont majoritairement asymptomatiques (Saegerman, Berkvens, et Mellor 2008). Paradoxalement, la cyanose de la langue (symptôme duquel dérive le nom anglais de la maladie) n'est présente que chez moins de 3 % des ovins et bovins infectés (Le Gal *et al.* 2008). Les signes cliniques pour lesquels il y a eu un consensus de la part des vétérinaires sont les suivants :

- chez les ovins viandes : abattement et amaigrissement rapide (signe du creux du flanc), hyperthermie, atteinte de la face (jetage, larmolement, œdème de la face, ptyalisme), avec une atteinte de plusieurs animaux d'un même lot ;
- chez les bovins laitiers et allaitants : baisse brutale et persistante de la production laitière (vaches laitières), hyperthermie, atteinte des yeux (exorbités, larmoyants, rouges), nez crouteux/sale (croûtes, ulcérations, jetage), raideur des membres voire boiteries sévères (plus fréquente chez les bovins laitiers), avec peu ou plusieurs animaux atteints (Zanella, Chartier, et Biteau-coroller 2010). Des avortements ont également été observés chez les bovins dans des proportions variables en fonction des souches de virus (Pandolfi *et al.* 2018).

2.3 Voie de transmission et cycle de réplication du virus

Le vecteur du BTV, le culicoïde, joue un rôle essentiel dans le cycle de réplication du virus (Figure 2). En effet, le virus est transmis au vecteur lors de son repas de sang sur un animal virémique. S'en suit une période d'incubation extrinsèque où le virus se multiplie dans l'organisme du vecteur puis rejoint les glandes salivaires, permettant l'infection d'un nouvel hôte lors de la prochaine piqûre du vecteur. La durée de cette période varie selon les sérotypes du virus et de la température, et peut par exemple être de seulement trois jours en condition optimale pour le BTV-9 (Simon Carpenter *et al.* 2011). Même si de nouvelles voies de transmission ont été mises en évidence (orale ou trans-placentaire (Courtejoie, Bournez, *et al.* 2019)), la transmission vectorielle est la voie de circulation principale du virus puisque la circulation du BTV n'est observée que lorsque les conditions nécessaires à la survie et à la multiplication des culicoïdes sont présentes. La diffusion de la maladie imputable aux culicoïdes peut se faire par vol actif ou passif. Le vol actif est très localisé puisqu'il couvre un rayon d'environ un à deux kilomètres autour du lieu de vie des moucheron. Ce qu'on appelle vol passif correspond à un vol où le culicoïde est porté par les vents, parfois sur plusieurs centaines de kilomètres (Sellers 1991). Ce type de dispersion des vecteurs représente donc un risque majeur de diffusion à longue distance de la FCO.

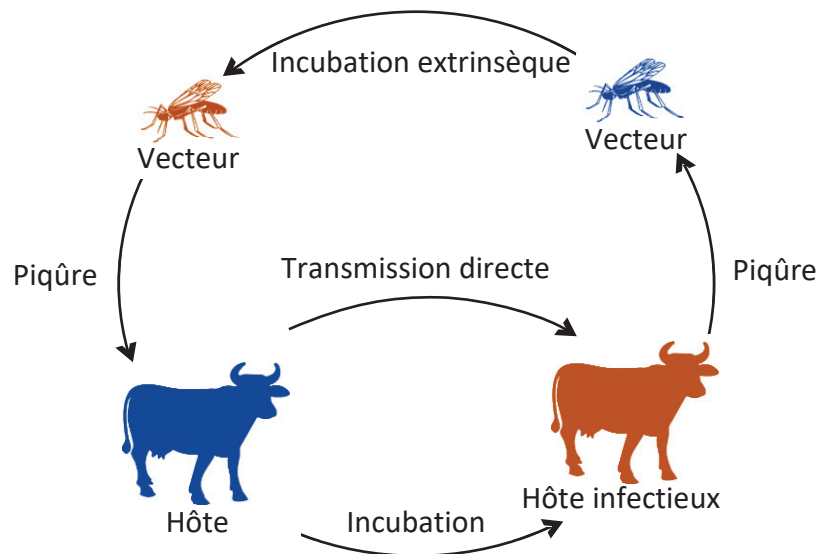


Figure 2 : Cycle de transmission du BTV

Les hôtes ont eux aussi une importance capitale puisqu'ils constituent le réservoir du virus. La durée de présence du virus dans l'organisme de l'hôte (détectable par réaction en chaîne par polymérase – Rt-PCR) peut aller jusqu'à deux mois pour les bovins (Katz *et al.* 1994). Cette longue période ainsi que la proportion importante d'infections asymptomatiques chez les bovins en font des hôtes particulièrement importants dans la propagation de la maladie. En effet, les bovins peuvent rentrer en contact avec de nouvelles populations de vecteurs lors de déplacements entre les différentes pâtures au sein de leur élevage, mais aussi lors des mouvements commerciaux. Dans ce second cas, les bovins peuvent effectuer des mouvements de grande amplitude, ce qui peut occasionner une diffusion de la FCO sur de grandes distances avant même que celle-ci ne soit détectée.

3 Une nouvelle dynamique pour la FCO

3.1 De fréquentes incursions à une pérennisation de l'infection

Au cours du XX^{ème} siècle, le virus de la FCO a circulé à bas bruit pendant de longues années dans des régions tropicales et subtropicales et on le retrouvait à la veille de l'an 2000 en Afrique, sur l'ensemble du continent américain, ainsi qu'en Asie du sud et en Australie (sous les latitudes entre 40°N et 35°S) (Wilson et Mellor 2009). A partir de 1998, le front de propagation de différents sérotypes du BTV s'est fait de plus en plus pressant (Figure 3) avec la progression des sérotypes 1, 4, 9 et 16 par la Turquie, la Grèce ainsi que l'ex-Yougoslavie entre 1998 et 2002, des sérotypes 2 et 4 par la Tunisie, l'Italie et la France entre 2000 et 2005, et des sérotypes 1 et 4 par le Maroc, le Portugal et l'Espagne entre 2000 et 2004 (Mellor *et al.* 2008; Saegerman, Berkvens, et Mellor 2008).

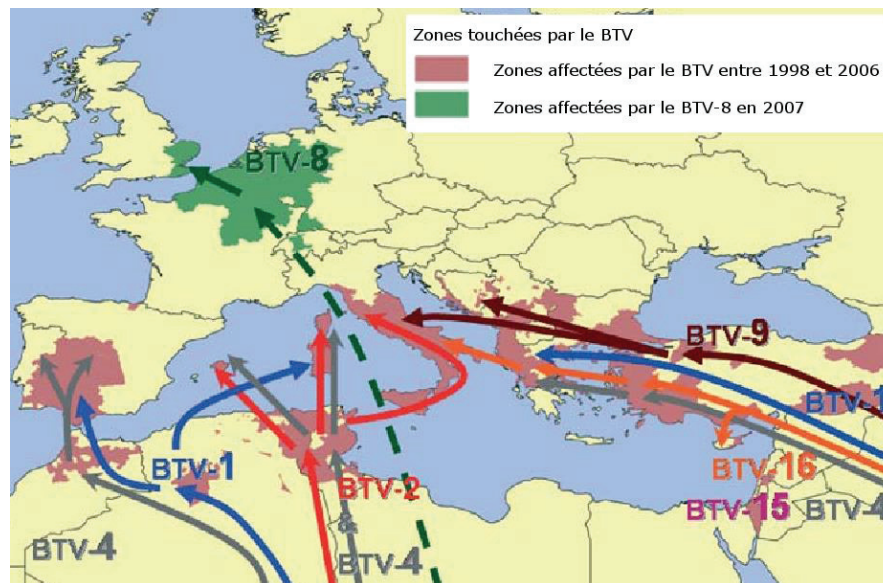


Figure 3 : Carte des zones touchées par le BTV entre 1998 et 2007 en Europe (Purse *et al.* 2008)

3.2 La détropicalisation des vecteurs

Les incursions du BTV de différents sérotypes sur les nouvelles zones décrites en Figure 3 présentaient une particularité : elles se situaient hors des zones de distribution de *C. imicola*, le vecteur de diffusion historique du BTV (Wilson et Mellor 2009). En effet, il est désormais évident que les changements climatiques, et notamment l'augmentation des températures dans le bassin méditerranéen, a permis une expansion de l'aire de répartition de *C. imicola* (Purse *et al.* 2005). La remontée vers le Nord de cette population a engendré la rencontre avec de nouvelles espèces de culicoïdes endémiques à ces nouvelles aires qui pour certaines se sont avérées être vectrices du BTV (Purse *et al.* 2005). Il s'agit notamment du complexe d'espèces *C. obsoletus* / *C. scoticus* (Savini *et al.* 2003; Racloz *et al.* 2006; Mehlhorn *et al.* 2007), ainsi que de *C. dewulfi* (Meiswinkel *et al.* 2007), *C. chiopterus* (Balenghien *et al.* 2008; Dijkstra *et al.* 2008) et *C. pulicaris* (Caracappa *et al.* 2003).

Cependant, ces espèces endémiques présentent une sensibilité aux faibles températures hivernales qui interrompent l'activité des adultes, réduisent leur population (en mettant les adultes en phase de « quasi-hibernation »), et ralentissent la réplication du virus au cours du cycle gonotrophique (Figure 4) (Venter, Boikanyo, et de Beer 2019; Sellers 1996; Perie *et al.* 2005). Ces populations de culicoïdes survivent à l'hiver sous forme de larves en diapause (Ninio 2011). L'hiver ne permet toutefois pas l'éradication de la maladie, puisque des résurgences de la FCO ont été observées après une période d'hivernage de plus de 6 mois. Cette résurgence du BTV pourrait avoir différentes origines. La première serait la survie des vecteurs porteurs du virus. Toutefois, les culicoïdes (qui restent infectés à vie)

Introduction générale

survivent jusqu'à quatre mois (Mellor, Boorman, et Baylis 2000) et aucun cas de transmission verticale n'a pu être observé en laboratoire (Mellor 1990). Cette durée de vie limitée, associée aux températures hivernale en France continentale, devraient ne pas permettre la survie des populations de vecteurs, mais dans certaines zones, les diptères sont à même de survivre à l'hiver grâce aux conditions climatiques plus clémentes. La deuxième composante potentielle de l'hivernage du BTV pourrait être sa survie dans les hôtes domestiques. Ceux-ci ne restent infectieux que quelques mois (deux mois pour les bovins (Di Gialleonardo *et al.* 2011) mais la virémie peut en de rare occasion durer six mois et ainsi permettre l'hivernage (Singer, MacLachlan, et Carpenter 2001). La troisième hypothèse serait que, même durant l'hiver, le virus circule entre les vecteurs et les hôtes domestiques (bovins, ovins, caprins) quand les conditions climatiques sont relativement favorables. Pour corroborer cette hypothèse, des captures ont mis en évidence l'activité des culicoïdes et en particulier de femelles pares dans les étables au cœur de l'hiver italien (Magliano *et al.* 2018). Enfin, une quatrième hypothèse avancée est une circulation à bas bruit entre vecteurs et hôtes sauvages. Bien que certaines espèces de ruminants sauvages soient des hôtes du virus de la FCO (p. ex. les cerfs élaphe), les observations de prévalence réalisées au cours d'études de terrain ainsi que l'absence de preuve d'infection d'un vecteur par un hôte sauvage, rendent cette hypothèse peu probable en France (Niedbalski 2015; Rossi *et al.* 2014). Il serait cependant réducteur de penser que seule l'une de ces hypothèses serait l'explication de l'hivernage du BTV : il est certainement la résultante des trois premières hypothèses dont chacune trouve les conditions de sa réalisation en France continentale.

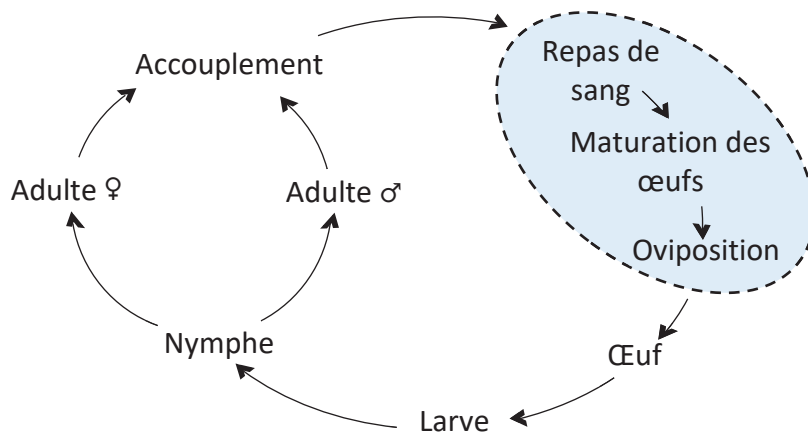


Figure 4 : Cycle de vie des *Culicoides* (Slama, Babba, et Chaker 2017). La sous-partie du cycle encerclée en pointillés correspond au cycle gonotrophique.

4 La FCO en France

4.1 Des mesures réglementaires imposées

La FCO est une maladie strictement animale (non zoonotique), qui n'affecte pas la qualité des produits d'origine animale (lait et viande). Elle est inscrite sur la liste des dangers sanitaires de première catégorie pour les espèces animales (Anonyme 2013b) et dans la liste des maladies du Code sanitaire pour les animaux terrestres de l'OIE. De fait, chaque nouveau cas confirmé doit obligatoirement être notifié. La notification d'un foyer (c.-à-d. d'un élevage avec au moins un animal infecté) en zone indemne entraîne la perte du statut officiel de pays indemne, la mise en place de mesures de lutte (à l'échelle locale, nationale ou transnationale) et avec de fortes implications économiques tant pour l'Etat que pour les éleveurs. Ce statut indemne est recouvrable après deux années consécutives sans aucune détection de foyer. Les mesures de lutte obligatoires sont imposées par l'union européenne (Anonyme 2007) et ont pour objectif de maintenir le rang des exploitations françaises dans le marché national et communautaire.

Dans le cadre de la lutte contre les épizooties, la surveillance est un préalable indispensable à une lutte efficace. Dans le cas du maintien du statut officiel de pays indemne vis-à-vis de la FCO, une enquête sérologique doit être mise en œuvre au moins une fois par an (Anonyme 2000; 2007). Elle doit viser les animaux sensibles et être en mesure de détecter au minimum une prévalence cible de 20 % avec un degré de certitude de 95 %, sur la base d'un quadrillage géographique de 45 x 45 km. Cette surveillance programmée est complétée par une surveillance événementielle reposant sur la détection des signes cliniques, afin de détecter l'introduction du virus dans une zone indemne ou une réémergence. Les éleveurs et leurs vétérinaires sont les deux piliers sur lesquels cette surveillance événementielle repose.

Les mesures de lutte à disposition incluent la mise en quarantaine, la restriction des déplacements d'animaux domestiques, la lutte anti-vectorielle et la vaccination des animaux domestiques (Drouet 2010). La vaccination est le moyen le plus simple et le plus efficace pour réduire les pertes induites par la maladie et tenter de l'éradiquer. En effet, ils confèrent une immunité protectrice en favorisant la production d'anticorps similaires à ceux obtenus lors d'une infection naturelle. Ils peuvent être dirigés contre un seul sérotype (c.-à-d. monovalent) ou deux (c.-à-d. bivalent). Les restrictions de mouvements visent à limiter la diffusion du virus dans de nouvelles aires géographiques en établissant des zones concentriques autour des foyers. Au plus proche du foyer, les restrictions sont plus fortes tandis qu'en s'éloignant du foyer les contraintes deviennent plus clémentes. A chaque nouvelle confirmation de cas, l'étendue de ces zones est réactualisée. Les modalités d'application de ces restrictions ont varié au cours du temps comme expliqué dans le §4.2 de

Introduction générale

cette introduction pour s'adapter à la situation sanitaire et répondre au mieux aux attentes des acteurs de la filière bovine (Bournez *et al.* 2017; Drouet 2010).

4.2 Deux épisodes épidémiologiques de FCO

4.2.1 De 2006 à 2009

4.2.1.a La situation

La première épidémiologie de FCO ayant touchée la France métropolitaine remonte à l'année 2006. Elle a été causée par le sérotype 8 pour lequel il s'agissait de la première incursion avérée sur le continent. De nombreux pays de l'Europe du Nord-Ouest ont été touchés : Allemagne, Belgique, Pays-Bas, Luxembourg, France. Alors que la France n'avait été que faiblement touchée en automne 2006 (6 foyers), la FCO a traversé la France depuis le Nord-Est jusqu'au Sud-Ouest avec plus de 15 000 foyers en 2007 et plus de 27 000 foyers en 2008 (Figure 5).

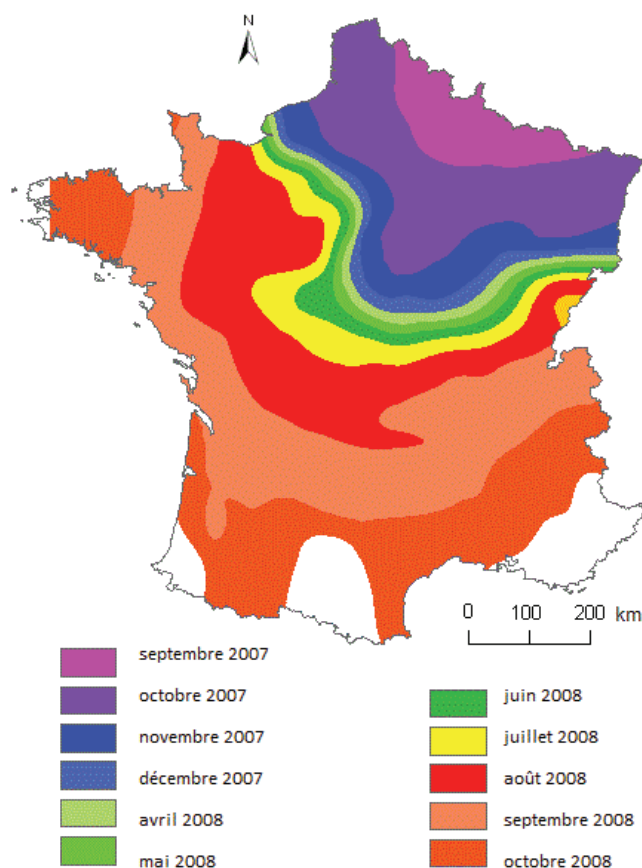


Figure 5 : Progression du front de progression de l'épidémiologie de FCO à BTV-8 prédite par un modèle spatial (Pioz *et al.* 2011).

Introduction générale

4.2.1.b Les mesures de surveillance et de contrôle

Dès la confirmation des foyers, des mesures de restriction de mouvements ont été mises en place afin de confiner ou, à minima, de limiter la propagation du virus (Drouet 2010). Les zones de restrictions étaient découpées comme telles : un périmètre interdit (PI) autour des foyers (rayon de 20 km), une zone de protection (ZP) de 80 km autour du PI, une zone de surveillance (ZS) de 50 km autour de la ZP, et enfin le reste du territoire défini comme une zone indemne (ZI). Les mouvements commerciaux d'animaux domestiques étaient interdits au sein du PI et vers une zone de statut moins restrictif. Toutefois, les animaux ayant un résultat négatif au test de dépistage par Rt-PCR obtenaient une dérogation à ces interdictions et pouvaient ainsi se déplacer vers des zones plus clémentes ou des pays européens partenaires (Anonyme 2000; 2007). D'autres mesures complémentaires étaient prévues, comme la désinsectisation des animaux, bâtiments et véhicules, la réalisation d'enquêtes dans les foyers et les zones réglementées, ainsi que l'abattage total dans les foyers (Drouet 2010).

Avant 2008, l'utilisation de vaccin n'était pas possible à l'échelle nationale, faute de doses disponibles. Les mesures de restriction de mouvements ainsi que les mesures de désinsectisation (aucune mesure d'abattage systématique n'a été mise en œuvre) n'ont pas suffi à réduire ou même à circonscrire le virus dans sa zone d'émergence. De plus, devant l'ampleur de l'épizootie en 2007 et 2008, de toutes les enquêtes initialement prévues pour déterminer la voie d'infection, seules celle portant sur des foyers isolés ont été réalisées (Drouet 2010). Une campagne de vaccination obligatoire avec des vaccins à virus inactivés dirigés contre le sérotype 8, a finalement été mise en place du printemps 2008 jusqu'à l'automne 2010. Cette vaccination des animaux a permis d'alléger les restrictions de mouvements, puisque certains partenaires européens n'acceptaient sur leur territoire que des animaux vaccinés. L'impact positif de la vaccination, couplé à l'acquisition d'une immunité protectrice de la population infectée, a provoqué un effondrement du nombre de foyers : moins d'une centaine en 2009, et aucun en 2010 et 2011.

4.2.1.c Bilan

La vaccination a constitué la mesure de lutte principale contre la FCO, avec une complémentarité des mesures de restriction de mouvement et de désinsectisation. Suite à l'effondrement du nombre de cas détectés et à l'absence de cas deux années consécutives, la France a recouvré son statut indemne en décembre 2012. La vaccination (devenue facultative fin 2010) fut interdite, et une surveillance programmée a été mise en place afin de démontrer l'absence de circulation du virus (pour garantir le statut officiel de pays

Introduction générale

indemne) et détecter une possible résurgence, conformément aux textes européens (Perrin *et al.* 2013; Anonyme 2000; 2007).

4.2.2 Depuis 2015

4.2.2.a La résurgence du virus

En août 2015, un cas de FCO a été détecté sur un bélier de cinq ans qui avait développé des signes cliniques évocateurs : jetage, troubles pulmonaires et œdème de la face. Parmi les 147 bovins et 208 ovins de cet élevage de l'Allier, ce bélier était le seul à présenter des signes cliniques. Le sérotype 8 a alors été mis en évidence par la recherche d'ARN viral du BTV par Rt-PCR et toutes les analyses Rt-PCR effectuées par le laboratoire national de référence (ANSES) visant les sérotypes 1, 2, 4, 9, 11 et 16 étaient négatives (Sailleau *et al.* 2015). Cette confirmation a eu pour conséquence la perte du statut indemne vis-à-vis de la FCO le 11 septembre 2015 pour la France. L'étude des séquences nucléotidiques de ce sérotype 8 a montré une très forte similarité avec le sérotype 8 circulant en France en 2008. En effet, seules 19 modifications nucléotidiques réparties sur quatre segments d'ARN entraînant la modification de quatre acides aminés ont été détectées par séquençage du génome complet de la souche (Breard *et al.* 2016).

Suite à cette détection, une première enquête locale a mis en évidence que la circulation virale n'était pas circonscrite au premier élevage, et un dispositif de surveillance programmée renforcée a permis de mettre en évidence la réémergence caractérisée de la maladie (Bournez *et al.* 2016).

4.2.2.b Spécificité clinique de la souche résurgente

Très peu de foyers ont été découverts suite à l'apparition de signes cliniques, contrairement à l'épizootie de 2006-2009. Une étude expérimentale a montré qu'un lot d'ovins infectés par la souche de 2015 présentait une virémie moins importante au pic et des symptômes moins fréquents qu'un second lot d'ovins exposés à la souche circulant lors de l'épizootie de 2006-2009 (Flannery *et al.* 2019). Bien que cette expérience n'ait été réalisée que sur des ovins, l'observation rare de signes cliniques sur les bovins entre 2015 et 2017 permet de supposer que cette souche n'est pas prompte à engendrer des signes cliniques évocateurs chez les bovins et les ovins. En effet, l'étude rétrospective des signes cliniques observés dans les foyers bovins de BTV-8 entre août 2017 et janvier 2018 a montré que les signes les plus fréquents étaient l'abattement et la dépression (41 %), la chute d'appétit et l'anorexie (35 %) et l'avortement (32 %) (Pandolfi *et al.* 2018). L'absence de signes cliniques caractéristiques de la FCO a certainement été un facteur décisif dans la propagation de cette souche du virus avant la primo-détection en août 2015.

Introduction générale

On sait que le BTV-8 possède la capacité de franchir la barrière placentaire (Desmecht *et al.* 2008; Courtejoie, Bournez, *et al.* 2019), mais, depuis décembre 2018, on observe, en plus de ces infections transplacentaires, des cas de veaux nés aveugles, chétifs et avec une espérance de vie de quelques jours. Parmi eux, 94 % étaient positifs au BTV-8 par Rt-PCR (Zientara, Sailleau, et Bréard 2019).

4.2.2.c Les mesures de surveillance et de contrôle

Dès la détection du premier cas, des restrictions de mouvements de ruminants ont été mises en place autour des foyers confirmés, afin de contenir la diffusion du virus. Les ZP et ZS ont fusionné à partir du 16 octobre 2015 (DGAL/SDSPA 2015a), permettant ainsi la circulation et le rassemblement des animaux dans l'ensemble d'une seule zone réglementée (ZR).

De même que pour l'épizootie précédente, des dérogations ont permis aux éleveurs de continuer à opérer des mouvements commerciaux et en particulier des exportations. Un test Rt-PCR négatif permettait en effet le déplacement de bovins vers des zones de meilleur statut sanitaire.

En période d'activité vectorielle, la vaccination restait le moyen le plus simple pour permettre la vente de ruminants à destination de zones indemnes de BTV-8 en France ou au sein de l'Union Européenne en respectant un délai de 60 jours après la primo-vaccination. Ce délai pouvait être réduit à la durée nécessaire à l'obtention d'une protection immunitaire avec le dit-vaccin en cas de test Rt-PCR négatif quatorze jours après l'acquisition de l'immunité (Anonyme 2000; 2007). Les animaux destinés à l'export ont, dès l'automne 2015, pu bénéficier en priorité des doses de vaccins qui n'étaient disponibles qu'en quantité limitée. Puis, avec la disponibilité de nouveaux stocks de doses, le vaccin a été rendu accessible à tous, de manière facultative et à la charge des éleveurs, à partir de mars 2016. De plus, pour faciliter les échanges commerciaux intra-communautaires, des accords ont été conclus avec l'Espagne, l'Italie et le Luxembourg pour finalement réduire ce délai à dix jours pour tous les vaccins (DGAL/SDSPA 2016a; 2016b; 2016g). Ces mêmes accords ont permis aux bovins non vaccinés d'être exportés sous réserve de protection contre les vecteurs pendant les quatorze jours précédant le mouvement et de tests Rt-PCR négatifs avant ce mouvement ; pour certains pays, un test était aussi réalisé une fois l'animal importé.

Il était par ailleurs possible de déclarer des zones saisonnièrement indemnes (ZSI) pour bénéficier de conditions de mouvements commerciaux plus clémentes qu'en ZR (Garros *et al.* 2017). Pour qu'une zone soit déclarée ZSI, il fallait démontrer l'inactivité vectorielle et l'absence de circulation virale chez les bovins. La zone était considérée en inactivité vectorielle lorsque le seuil réglementaire de cinq femelles pares (ayant au moins pris un

Introduction générale

repas de sang) par piège et par nuit (règlement 2007/1266/CE) n'était pas dépassé pendant deux semaines consécutives.

4.2.2.d Bilan

Malgré ces mesures de lutte, la quasi-totalité du territoire français était en ZR dès la fin de l'été 2016. La situation est devenue enzootique avec de nouveaux foyers chaque année malgré une pause hivernale (de décembre à juin) : 146 foyers confirmés en 2015 puis 1540 en 2016 et 1678 en 2017 (Mercier *et al.* 2018). Ces foyers ont été quasiment tous détectés dans le cadre des dépistages pré-mouvements : 88 % des foyers en 2015, 96 % en 2016 et 90 % en 2017. Le reste des foyers ont été découverts soit à l'occasion d'analyses dans le cadre de la surveillance programmée (8 % en 2015 et moins de 1 % en 2016 et 2017), soit à l'occasion de suspicions basées sur des signes cliniques (4 % en 2015, 3 % en 2016 et 7 % en 2017) (Bournez *et al.* 2017; Bronner *et al.* 2018).

La présence de la FCO sur le territoire ainsi que les mesures de lutte et de surveillance engendrent des coûts directs et indirects pour les éleveurs et pour l'Etat (Figure 1). Les coûts directs correspondent dans notre cas à la mortalité, aux coûts de traitement, de vaccination des animaux malades, des analyses à effectuer pour se soumettre à la réglementation, de la désinsectisation des animaux, bâtiments et moyens de transport, de la diminution de la fertilité, de la diminution de la production laitière, de l'augmentation de la durée d'engraissement des animaux malades, des avortements (Perrin, Ducrot, *et al.* 2010; Nusinovici *et al.* 2011; 2012a; 2012b; Tago *et al.* 2014; Prentice *et al.* 2017; Zanella *et al.* 2012). Les pertes indirectes quant à elles, sont induites, à la fois par les problèmes de fertilité des femelles vaccinées, et par la dégradation des conditions d'accueil des animaux (augmentation de la densité dans les bâtiments d'élevage) ce qui a eu pour conséquence d'augmenter la sensibilité aux maladies d'élevages, ainsi que les frais d'alimentation (Nusinovici *et al.* 2011; Prentice *et al.* 2017; Tago *et al.* 2014).

5 Objectif et stratégie scientifique

L'objectif général de cette thèse est de fournir aux gestionnaires des éléments de connaissance permettant d'appréhender l'efficacité et l'impact des mesures de surveillance et de lutte mises en place suite à la ré-émergence du BTV-8 en France continentale en 2015.

La démarche scientifique pour apporter des réponses à ces problèmes, se décline en trois parties correspondant aux trois chapitres de cette thèse. Le premier chapitre consiste en une analyse de données de surveillance afin de mieux appréhender les conséquences de la circulation de la FCO en utilisant des outils de statistiques. Dans un premier temps, nous avons mené une évaluation des coûts des mesures de surveillance (événementielle et

Introduction générale

programmée) et des mesures nécessaires aux mouvements des bovins en dehors des zones de restrictions ; dans un second temps, nous avons mesuré l'impact des mesures de restriction sur la dynamique des mouvements de bovins en période de circulation de FCO afin d'appréhender les changements dans les pratiques de ventes (en France et vers l'étranger) et de réforme des bovins.

Dans le second chapitre, nous présentons un travail de modélisation de la population de culicoïdes en France continentale, par l'analyse de données de capture réalisées entre 2009 et 2012 sur l'ensemble du territoire dans le cadre de la surveillance entomologique. Cette étude a démontré l'intérêt du partitionnement spatial actuellement utilisé dans le cadre de la surveillance entomologique, qui consiste en un découpage du territoire en 24 zones homogènes en terme de diversité et de phénologie des espèces de *Culicoides* présentes. Cette étude apporte un éclairage nouveau sur la dynamique des vecteurs en France continentale, et propose des pistes d'amélioration de la surveillance, via une meilleure répartition, dans l'espace et dans le temps, des efforts et des ressources de piégeage des *Culicoides*.

Le troisième chapitre vise à évaluer l'efficacité des dispositifs de surveillance et de lutte mis en place suite à l'émergence de la FCO en 2015, en utilisant un modèle mathématique décrivant la dynamique de transmission du BTV au sein des élevages et entre les élevages précédemment développé (Turner, Bowers, et Baylis 2012; Turner *et al.* 2019). Nous avons adapté et calibré ce modèle épidémiologique en utilisant des données relatives à la distribution des élevages et aux mouvements de bovins entre ceux-ci afin de simuler la diffusion de la maladie lors de son introduction en 2015. Différentes mesures de surveillance et de lutte ont été comparées afin d'identifier des pistes d'amélioration de ces systèmes.