

Surveillance et contrôle des *Culicoides* vecteurs de fièvre catarrhale du mouton en France métropolitaine

Analyse du cadre actuel
de gestion et propositions
d'amélioration



Composition du groupe de travail :

Denis AUGOT, Ingénieur de recherche de l'Anses, JE 2533 - USC Anses VECPAR, Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Pharmacie, 51 rue Cognacq Jay, 51096 REIMS cedex

Tél : +33 (0)3 26 91 37 06, denis.augot@anses.fr

Thomas BALENGHIEN (Président du groupe de travail), entomologiste médical au Cirad, UMR CMAEE, Cirad 15/INRA 1309, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5

Tél : +33 (0)4 67 59 37 53, Fax : +33 (0)4 67 59 37 95, thomas.balenghien@cirad.fr

Reginald DE DEKEN, Institut de Médecine Tropicale d'Anvers, Nationalestraat 155, B-2000 Anvers, Belgique.

Tél : +32 (0)3 2476270, rddeken@itg.be

Jean-Claude DELECOLLE, Entomologiste médical, Institut de Parasitologie et Pathologie Tropicale de Strasbourg, Faculté de Médecine de Strasbourg, 3, rue Koeberlé 67000 Strasbourg

Tél : +33 (0)3 68 85 55 11, jean-claude.delecolle@unistra.fr

Claire GARROS, entomologiste médical au Cirad, UMR CMAEE, Cirad 15/INRA 1309, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5

Tél : +33 (0)4 67 59 37 01, Fax : +33 (0)4 67 59 37 95, claire.garros@cirad.fr

Pierre JAY-ROBERT, Maître de conférences à l'Université Paul Valéry – Montpellier III, UMR CEFE, CNRS 5175 – UM2, 1919 route de Mende, 34090 Montpellier

Tél : +33 (0)4 67 14 24 61, Fax : +33 (0)4 67 14 24 59, pierre.jay-robert@cefe.cnrs.fr

Emmanuel LIENARD, Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23 chemin des capelles, BP 87614, 31076 Toulouse cedex 03

Tél : +33 (0)5 61 19 39 48, e.lienard@envt.fr

Sara MOUTAILLER, Entomologiste médicale à l'Anses, UMR BIPAR, INRA 956 -Anses-Paris XII- ENVA, 23 Avenue du Général de Gaulle, 94706 Maisons-Alfort Cedex

Tél : +33 (0)1 49 77 46 50, sara.moutailler@anses.fr

Marie-Laure SETIER-RIO, Chargée de projet à l'EID Méditerranée, 165 avenue Paul Rimbaud, 34184 Montpellier cedex 4

Tél : +33 (0)4 67 63 72 94, Fax : +33 (0)4 67 63 54 05, mlsetierrio@eid-med.org

Coordination de l'expertise :

Frédéric JOURDAIN, Centre National d'Expertise sur les Vecteurs, centre IRD France-Sud, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 41 62 49, fax: +33 (0)4 67 41 63 30, frederic.jourdain@ird.fr

Yvon PERRIN, Centre National d'Expertise sur les Vecteurs, centre IRD France-Sud, 911 avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 41 64 46, fax: +33 (0)4 67 41 63 30, yvon.perrin@ird.fr

Ont également contribué à l'élaboration de ce document :

Thierry BALDET, entomologiste médical au Cirad, UMR CMAEE, Cirad 15/INRA 1309, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 59 39 98, Fax : +33 (0)4 67 59 37 95, thierry.baldet@cirad.fr

Gérard DUVALLET, Professeur émérite de l'Université Paul Valéry – Montpellier III, UMR CEFE, CNRS 5175 – UM2, 1919 route de Mende, 34090 Montpellier
Tél : +33 (0)4 67 14 23 15, fax: +33 (0)4 67 14 24 59, gerard.duvallet@univ-montp3.fr

Vincent ROBERT, DR1 de l'Institut de Recherche pour le Développement, Entomologiste médical, UMR MIVEGEC, IRD 224-CNRS 5290-UM1-UM2, Centre IRD France-Sud, 911 avenue agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France
Tél: +33 (0)4 67 41 61 27, fax: +33 (0)4 67 41 63 30, vincent.robert@ird.fr

Sommaire

Résumé.....	4
Contexte de la saisine.....	5
Liste des sigles utilisés.....	7
1. Analyse du réseau de surveillance de l'activité des <i>Culicoides</i>	8
1.1. Nombre de pièges et répartition.....	8
1.2. Fréquence d'utilisation des pièges.....	11
1.3. Tri et identification des prélèvements réalisés.....	12
1.4. Conclusions.....	13
2. Analyse des mesures de police sanitaire.....	14
2.1. Présence et distribution des vecteurs.....	14
2.2. Confinement des animaux.....	20
2.3. Le traitement insecticide des animaux, bâtiments et véhicules de transport.....	22
2.3.1. Conclusions des synthèses précédentes.....	22
2.3.2. Actualisation des connaissances disponibles.....	23
2.4. Conclusions.....	26
3. Axes de recherches à développer.....	29
3.1. En matière de surveillance.....	29
3.2. En matière de lutte anti-vectorielle.....	31
Références.....	32

Résumé

La présente expertise a pour principal objectif de proposer des axes d'amélioration de la stratégie de surveillance et de contrôle des *Culicoides*, vecteurs du virus de la fièvre catarrhale du mouton (FCM), suite à la saisine de la Direction Générale de l'Alimentation.

Concernant le réseau de surveillance déjà en place, il est prioritaire d'effectuer une analyse des données recueillies depuis 2009, afin d'identifier les pièges fonctionnant de manière homogène, ce qui pourrait permettre d'alléger le réseau de surveillance. De plus, il s'agit d'un préalable indispensable pour déclarer des périodes d'inactivité des populations de *Culicoides* par zone sur le territoire métropolitain. Il est également proposé d'adapter la fréquence de piégeage à un rythme de deux nuits de capture successives toutes les deux semaines pendant toute l'année, au lieu d'une nuit de capture hebdomadaire ou mensuelle selon la saison, ce qui représente le même nombre de piégeages dans l'année mais permet de suivre plus finement la dynamique des populations.

Une analyse critique des mesures de police sanitaire imposées par la réglementation européenne a été réalisée. Les enquêtes visant à déterminer la présence et la distribution des vecteurs dans les élevages suspectés d'être infectés présentent un intérêt limité en termes d'évaluation et de gestion du risque, et se heurtent de plus à l'impossibilité opérationnelle actuelle de réaliser de telles enquêtes. L'analyse de la littérature ne permet pas de statuer sur l'efficacité des mesures de confinement des animaux, en raison du degré d'endophagie des vecteurs qui varie fortement selon les espèces. En l'état actuel des connaissances sur les gîtes larvaires et les sites de repos, les traitements insecticides dans l'environnement sont à proscrire étant donné leur impact environnemental. Il n'existe pas de données permettant de juger de l'efficacité de traitements insecticides des bâtiments ou des véhicules de transport. Quant aux traitements insecticides des animaux, s'ils n'offrent pas une protection à 100 % contre les piqûres de *Culicoides*, ils doivent en théorie diminuer l'intensité de la transmission : c'est donc la seule mesure de lutte anti-vectorielle à envisager en l'absence de vaccin en prenant en compte l'impact environnemental.

Ce rapport présente les axes de recherche à développer en priorité, à savoir l'analyse statistique des données de surveillance, le développement d'outils d'identification morphologique et moléculaire, l'étude de la compétence vectorielle des différentes espèces dont on suspecte le rôle vectoriel et la modélisation de la distribution spatiale des espèces d'intérêt. Dans le domaine de la lutte anti-vectorielle, il convient d'évaluer précisément l'efficacité des mesures de lutte au laboratoire et sur le terrain, ainsi que l'impact de ces mesures sur l'environnement et en particulier la faune non cible.

Les recommandations de lutte anti-vectorielle consignées dans ce document ont été établies sur la base d'études menées dans un contexte de transmission du virus de la FCM par les *Culicoides*, mais sont également valables dans le contexte de la transmission par les *Culicoides* du virus de Schmallenberg récemment apparu en Europe.

Contexte de la saisine

Les *Culicoides* sont des petits diptères hématophages de la famille des Cératopogonidés. Ces insectes peuvent piquer aussi bien des mammifères (dont l'homme) que des oiseaux ou des reptiles. Plus de 1 340 espèces ont été recensées dans le monde, dont environ 90 sont présentes en France métropolitaine. Les *Culicoides* sont responsables de la transmission de différents agents pathogènes, que ce soient des virus (virus de la fièvre catarrhale du mouton, virus de la peste équine, virus d'Akabane...), des protozoaires (par exemple, des genres *Haemoproteus* ou *Hepatocystis*) ou des filaires (*Onchocerca sp.*) et sont des vecteurs principalement d'importance vétérinaire.

Historiquement, la fièvre catarrhale du mouton (FCM) était considérée comme une maladie exotique pour l'Europe, endémique uniquement à Chypre et réalisant des incursions dans le sud de la péninsule ibérique là où *Culicoides imicola*, son principal vecteur afro-asiatique était présent. A partir de 1998, la FCM devient une maladie émergente en Europe du fait, d'une part de l'extension de l'aire de répartition de *C. imicola* dans le bassin méditerranéen et, d'autre part, de la transmission de sérotypes exotiques du virus par des espèces paléarctiques autochtones en Europe de l'ouest et du nord.

En effet, à partir de 2006, une circulation importante du sérotype 8 de la FCM a été observée dans l'ensemble de l'Europe non méditerranéenne en l'absence de *C. imicola*. Ce sont plusieurs dizaines de milliers d'élevage bovins et ovins qui ont ainsi été touchés entre 2006 et 2008. Conformément à la réglementation européenne (Règlement n°1266/2007 de la Commission du 26 octobre 2007 modifié par le règlement (CE) N° 1108/2008 de la Commission du 7 novembre 2008), le réseau de surveillance des *Culicoides*, qui entre 2002 et 2006 a ciblé principalement la zone méditerranéenne et les populations de *C. imicola*, a été étendu à l'ensemble du territoire métropolitain (160 pièges à partir de 2009). Cette réglementation définit également des mesures de police sanitaire à mettre en œuvre en cas de suspicion de circulation du virus.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la saisine du CNEV relative à la surveillance et au contrôle des *Culicoides*. La présente expertise a pour principal objectif de proposer des améliorations concernant les stratégies de surveillance et de contrôle des *Culicoides* vecteurs du virus de la FCM.

Ainsi, la première partie de ce rapport consiste en une analyse du dispositif de surveillance actuel, débouchant sur des propositions d'évolution. La deuxième partie propose une analyse critique des mesures de police sanitaire (désinsectisation des animaux, des véhicules de transport, des locaux et de leurs abords en cas de suspicion ou de confirmation de foyers de FCM ; recensement des lieux favorables au développement et à la survie des *Culicoides* ; enquêtes entomologiques pour préciser la présence et l'abondance de vecteurs autour des cas suspects ou confirmés) imposées par la réglementation européenne. Ce travail d'analyse a finalement permis de dégager des axes de recherche à développer, présentés en troisième partie.

Enfin, il convient de souligner que les activités du groupe de travail *Culicoides* ont été concomitantes à l'isolement du virus Schmallerberg en Allemagne à l'automne 2011 et à sa découverte dans des centaines d'élevages en Allemagne, en Belgique, aux Pays-Bas, en Angleterre, en France, au Luxembourg, en Espagne et en Italie. Les premières informations disponibles suggérant la probable implication des *Culicoides* dans la transmission de ce virus, le groupe de travail *Culicoides* a décidé de prendre en compte cette émergence au sein des différents axes de la réflexion.

Addendum

Le 5 juin 2012, date de publication de ce rapport, une version modifiée du règlement CE/1266/2007 a été publiée. Les modifications apportées n'ont pas pu être prises en compte dans ce rapport.

Liste des sigles utilisés

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (née de la fusion de l'AFSSA et d'autres agences)

CE : Commission Européenne

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

CNEV : Centre National d'Expertise sur les Vecteurs

DEET : N,N-diéthyl-3-méthylbenzamide

EID-Med : Entente Interdépartementale pour la démoustication du littoral méditerranéen

EFSA : European Food Safety Authority

FCM : Fièvre Catarrhale du Mouton

IPPTS : Institut de Parasitologie et Pathologies Tropicales de Strasbourg

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

OVI : Onderstepoort Veterinary Institute

PBO : Pipéronyl Butoxide

PBS : Phosphate Buffered Saline, pour tampon phosphate salin

ULV : Ultra-Low volume

1. Analyse du réseau de surveillance de l'activité des *Culicoides*

Le réseau de surveillance de l'activité des *Culicoides*, tel qu'il fonctionne actuellement, a été mis en place en 2009. Conformément aux exigences réglementaires de l'époque (règlement n° 1266/2007 du 26 octobre 2007, modifié par le règlement n° 1108/2008 du 7 novembre 2008), il avait pour objectif de :

- déterminer la dynamique de population des *Culicoides* ;
- caractériser les modalités de passage de l'hiver de ces populations, et en particulier déterminer les dates de début et de fin de l'inactivité des populations de *Culicoides*.

Nous avons choisi d'analyser le fonctionnement du réseau de surveillance, en nous intéressant successivement au nombre de pièges et à leur répartition, à leur fréquence d'utilisation et au niveau de tri et d'identification des prélèvements. Pour chaque point, nous évaluerons l'adéquation entre le fonctionnement actuel et les objectifs réglementaires. De plus, pour chaque point, nous discuterons de modifications possibles du réseau afin de valoriser les données existantes et d'approfondir les connaissances concernant la dynamique et la répartition des populations de *Culicoides* en fonction d'éventuelles évolutions des objectifs de la surveillance. Le fonctionnement du réseau sera notamment mis en perspective avec la découverte du virus Schmallerberg. En effet, des virus proches de ce dernier, comme le virus Akabane, sont transmis par des *Culicoides*, et du génome du virus Schmallerberg a été identifié chez des *Culicoides* capturés sur le terrain en Belgique, au Danemark et en Italie. Ces éléments laissent penser que ce virus est transmis par les *Culicoides*, même si la transmission expérimentale en laboratoire n'a pas encore été réalisée.

1.1. Nombre de pièges et répartition

Le réseau fonctionne actuellement avec 160 pièges. La localisation des pièges à l'échelle nationale a été proposée par la coordination du réseau en se basant sur les régions agricoles françaises (zones d'agriculture homogènes). Ont été sélectionnées les régions agricoles qui semblaient importantes pour l'élevage, avec comme contrainte une répartition homogène des pièges sur l'ensemble du territoire (1 à 2 pièges par département).

Cette proposition a été soumise et amendée ou validée par les techniciens des Services vétérinaires de chaque département. A l'intérieur de la zone agricole, la localisation des pièges est laissée à l'appréciation des services vétérinaires qui devaient sélectionner un élevage du type de production dominante pour le département. Lorsque 2 pièges sont localisés dans le même département, une distance minimale entre les 2 sites de captures a été imposée (distance à vol d'oiseau supérieure à 30 km).

Réglementairement, l'unité géographique de référence pour la surveillance de la fièvre catarrhale du mouton est un carré de 45 x 45 km ou la « région », telle que définie à l'article 2, point p de la directive 64/432/CEE, c'est-à-dire le département en France. En ce sens, le nombre de pièges et leur répartition satisfait les critères réglementaires en remplissant le critère d'au moins un piège par département (à noter qu'un seul piège est

présent dans Paris et sa petite couronne). Réglementairement, le nombre de pièges pourrait donc être réduit à 1 par département, soit 93 pièges.

En imposant au moins un piège par département, la réglementation assure une répartition homogène des pièges sur le territoire. En revanche, elle ne donne aucune indication sur le choix du site de capture par unité territoriale.

La répartition actuelle des espèces de *Culicoides* résulte de l'influence, tant passée que présente, de facteurs intrinsèques (capacité de propagation, amplitude écologique et potentiel adaptatif et évolutif) et extrinsèques (géographie, climat, géologie et interactions biotiques). Les activités humaines, comme par exemple les activités agricoles, peuvent modifier l'environnement et donc avoir une influence sur la répartition des espèces. La finesse de la description de la répartition des espèces dépend du nombre de pièges utilisés et de leur fréquence. Le nombre actuel permet d'estimer la répartition globale des principales espèces de *Culicoides*. En effet le réseau de surveillance capture chaque année autour de 70 espèces sur les plus de 80 recensées en France. Cette différence peut s'expliquer par le fait que piéger uniquement dans les élevages limite l'exploration de certains territoires et le nombre d'espèces que l'on peut rencontrer, et ne permet pas de mettre en évidence de possibles modifications fines de la distribution de ces espèces.

Par ailleurs, les *Culicoides* capturés dans le cadre du réseau de surveillance servent d'« insectothèque » qu'il est possible de consulter *a posteriori* en fonction des nécessités épidémiologiques. Par exemple, le virus de Schmallenberg pourrait être recherché chez les *Culicoides* capturés en 2011 pour aider à l'identification des vecteurs de ce virus en France.

La dynamique de population des insectes dépend essentiellement de paramètres climatiques. Aussi, pour déterminer la dynamique de population des *Culicoides*, il faut disposer des pièges dans chaque grande zone climatique française (climats océanique, océanique dégradé, continental, montagnard et méditerranéen). Du fait de la variabilité de l'abondance des *Culicoides* entre sites, un seul piège par zone climatique ne suffit pas. Déterminer l'échelle géographique à laquelle une variabilité de l'abondance est observable – par exemple, est-ce que deux pièges localisés dans le même département suivent la même dynamique de population ? – permettra de fixer le niveau d'observation nécessaire. Par ailleurs, les différences de dynamique de l'abondance d'une année à l'autre étant réelles, il faut plusieurs années d'observation (au minimum deux, idéalement au moins trois) pour décrire l'abondance et la diversité d'un site.

Le début et la fin de l'activité, déclarée lorsqu'il y a moins de 5 femelles pares par nuit de capture par piège, des populations de *Culicoides* peuvent être déclarés par zone géographique ou pour l'ensemble du territoire métropolitain continental. Une déclaration par zone nécessite de disposer de pièges sur l'ensemble du territoire, se pose alors le problème de la détermination des zones. Si on se base sur les limites administratives, une déclaration par département est possible, même si une déclaration par région permet une gestion plus simple et plus certaine. En revanche, l'utilisation des limites administratives n'a pas forcément de sens écologique car une même région peut présenter des zones climatiques hétérogènes (le climat de la Lozère est très différent de celui des autres départements du Languedoc-Roussillon). Une déclaration sur l'ensemble du territoire métropolitain continental – la Corse pouvant présenter une activité toute l'année – nécessite l'utilisation de pièges uniquement dans les zones géographiques où les populations

sont actives les plus tardivement en fin d'année et les plus précocement en début d'année, à savoir les régions de la façade atlantique et du bassin méditerranéen. La déclaration à l'échelle du pays entraîne une période d'inactivité courte, alors qu'elle pourrait être plus longue dans certaines régions (nord-est de la France).

L'intérêt de déclarer les périodes d'inactivité des populations de *Culicoides* par zones serait réel, notamment pour les zones bénéficiant d'un hiver plus long et plus rigoureux. Elles verraient alors leur période d'inactivité augmenter. Par exemple, l'hiver 2011/2012 ayant été relativement clément (à l'exception de trois semaines très froides en janvier/février), aucune période d'inactivité n'a pu être déclarée. La détermination de zones aurait permis de déclarer une période d'inactivité pour une bonne partie du territoire français, l'activité des populations de *Culicoides* s'étant maintenue uniquement dans quelques départements de la façade atlantique. Les dynamiques de population étant déterminées par les conditions climatiques, il doit être possible, en se basant sur les données entomologiques actuellement disponibles, de déterminer des zones cohérentes. En revanche, ces zones ne recouvreront pas nécessairement les zones et périodes à risque de transmission, qui sont déterminées aussi par l'origine et la diffusion du virus. Des zones pourraient être proposées puis réévaluées chaque année pour raccourcir une période d'inactivité (mise en défaut des dates retenues) ou au bout de trois années pour allonger une période d'inactivité (période *a priori* sous-estimée). Reste à définir les contours à utiliser pour la définition des zones. Par ailleurs, il semble que les pièges situés dans les élevages laitiers soient les plus sensibles à la détection de l'activité des *Culicoides* (début tardif de la période d'inactivité et reprise précoce). Ceci peut s'expliquer par la présence autour du piège d'un grand nombre d'animaux (troupeau regroupé tous les jours), ce qui n'est pas le cas dans un élevage allaitant (élevage de race à viande) lorsque le piège est à la pâture. En cas de diminution du nombre de pièges du réseau de surveillance, les pièges en élevage laitier pourraient être privilégiés pour cet aspect de la surveillance.

La surveillance de l'introduction sur le territoire d'espèces exotiques, connues pour être présentes dans les pays limitrophes, nécessite la mise en place d'un dispositif de piégeage dans des zones où l'espèce est absente, mais contigu aux zones où elle est établie. C'est ce type de surveillance qui a été mis en place à partir de 2002 pour détecter l'éventuelle introduction de *Culicoides imicola* sur le littoral méditerranéen depuis la Corse, ou de l'Espagne vers les Pyrénées-Atlantiques et les Pyrénées-Orientales ou de l'Italie vers les Alpes-Maritimes. La surveillance systématique des espèces exotiques en provenance de pays voisins nécessite la mise en place d'un réseau de capture le long de toutes les frontières du territoire. Par ailleurs, si les vecteurs surveillés peuvent être transportés par avion ou bateau, des dispositifs de surveillance doivent être installés dans les ports et aéroports. Seul un dispositif couvrant l'ensemble du territoire peut mettre en évidence une espèce exotique invasive, éventuellement transportée passivement par les vents, à distance des zones actuelles de distribution. La sensibilité de ce type de réseau dépend notamment du nombre et de la fréquence des pièges utilisés. Dans le cas de la surveillance des *Culicoides*, cet aspect de la surveillance ne semble pas prioritaire, dans la mesure où, en l'absence d'espèce exotique, certaines espèces autochtones (sans doute principalement les espèces du groupe *Obsoletus*¹) ont transmis le virus de la fièvre catarrhale du mouton (et vraisemblablement

¹ Un groupe est un ensemble d'espèces phylogénétiquement proches, où seules des petites différences morphologiques – parfois uniquement à certains stades – permettent de les distinguer. Les principales espèces du groupe *Obsoletus* sont *C. obsoletus*, *C. scoticus*, *C. chiopterus* et *C. dewulfi*.

celui de Schmallerberg) et d'autant plus que cet aspect de la surveillance demande un important effort pour des implications limitées dans la gestion de la maladie.

L'analyse des données recueillies par le réseau de surveillance de 2009 à 2011 (160 pièges, 25 campagnes de piégeage par an, environ 70 espèces capturées, environ 1 250 400 *Culicoides* ont été capturés en 2010) représente un défi méthodologique. L'utilisation de méthodes de classification associées à des analyses triadiques partielles, dont le but est d'identifier une structuration spatiale des sites de captures et d'en étudier la stabilité temporelle, peut permettre de déterminer des ensembles de pièges aux caractéristiques communes (diversité et dynamique). Une telle analyse statistique n'est pas du ressort du groupe de travail *Culicoides* du CNEV et doit être entreprise par les instituts responsables de la surveillance.

Ce regroupement pourrait permettre de savoir s'il est possible d'identifier des groupes homogènes, et en sélectionnant un ou plusieurs sites de captures à l'intérieur de ces groupes de déterminer un nombre optimum de pièges pour le réseau de surveillance. Néanmoins, rigoureusement, le règlement n° 1108/2008 en vigueur indique que seule « la fréquence de fonctionnement des pièges à aspiration peut être ajustée en fonction des données obtenues au cours des trois premières années de leur fonctionnement ». L'unité géographique en zone réglementée reste donc l'unité de 45 x 45 km, « à moins que des conditions environnementales spécifiques ne justifient la modification de ces dimensions », ou la « région » définie plus haut.

1.2. Fréquence d'utilisation des pièges

Les piégeages sont réalisés une fois par semaine pendant la période probable de reprise de l'activité (mi-février à fin avril) et de fin de l'activité (début novembre à fin décembre). Les pièges sont posés au moins une heure avant le coucher du soleil et relevés au moins une heure après le lever du soleil, le lundi ou le mardi de chaque semaine. Le reste de l'année, les piégeages sont réalisés une fois par mois, la semaine étant imposée (semaines de lune noire limitant les interférences de la lumière lunaire sur le piégeage lumineux), mais pas le jour de la semaine (de manière à permettre d'attendre le jour où les conditions climatiques sont les plus propices, c'est-à-dire absence de pluie, mais surtout de vent). Ce rythme permet, à la fois de déterminer les dates de début et fin d'activité des populations de *Culicoides*, et de suivre la dynamique de population de ces insectes. Ainsi, le rythme est conforme aux exigences réglementaires qui préconisent : « une nuit par semaine pendant le mois précédant le début escompté de la période saisonnièrement indemne de vecteurs et pendant le mois précédant la fin escomptée de ladite période » et « une nuit par mois pendant la période saisonnièrement indemne de vecteurs ».

Pour déterminer les périodes de début et de fin d'activité des vecteurs, un rythme de capture d'une nuit par semaine est satisfaisant. En revanche, pour déterminer la dynamique de population des *Culicoides*, un rythme de capture d'une nuit par mois paraît insuffisant au regard de la très grande variabilité temporelle de l'abondance (en tout cas évaluée par piégeage lumineux). Un rythme de capture d'une nuit toutes les 2 semaines pendant toute l'année serait un bon compromis permettant de décrire correctement la dynamique de

population, tout en limitant le délai nécessaire à la déclaration de l'inactivité (2 semaines contre 1 actuellement), et cela sans augmenter le nombre de semaines de capture (26 piégeages dans les 2 configurations). L'idéal pour évaluer rigoureusement l'abondance serait de procéder à 2 nuits de capture consécutives par site, toutes les 2 semaines, ce qui nécessiterait l'implication des éleveurs (pour relever le piège entre les 2 nuits). De plus, en toute rigueur, pour permettre la comparaison entre nuits, les heures de début et de fin de capture devraient être les mêmes. L'utilisation de programmeurs électriques devrait être généralisée pour déclencher le début et l'interruption du piégeage.

Ce protocole paraît peu réaliste dans la configuration actuelle du réseau, mais pourrait être envisagé dans le cas d'un réseau avec un nombre de pièges moins important. En effet, augmenter la fiabilité dans les données d'abondance récoltées pourrait être un compromis à l'éventuelle diminution du nombre de pièges du réseau.

Actuellement, la déclaration d'entrée ou de sortie de la période d'inactivité des populations de *Culicoides* est basée sur un seuil de 5 femelles pares par piège et par nuit (définition utilisée par l'ensemble des pays européens, à l'exception de l'Italie, qui considère un seuil de 10 femelles par piège et par nuit et une absence de *C. imicola*). Le taux de parité des femelles est pris en compte, dans la mesure où des femelles nullipares, c'est-à-dire n'ayant pas encore pondu d'oeufs, n'ont aucune chance d'être infectantes, la transmission verticale n'ayant jamais été démontrée dans le modèle *Culicoides*/virus de la FCO. En revanche, le seuil de 5 femelles a été fixé de manière tout à fait arbitraire. Une manière d'objectiver ce seuil aurait été de réaliser, dans plusieurs sites, des suivis d'incidence de la FCO et des suivis d'abondance des populations de *Culicoides*, de manière à déterminer les seuils d'abondance nécessaires à la transmission. Ces expérimentations relativement lourdes à mettre en place n'ont pas pu être menées au moment de l'émergence du virus de la FCO en Europe et sont maintenant irréalisables dans un contexte d'absence apparente de circulation virale. Aussi, si ce seuil est arbitraire, nous ne disposons pas d'éléments objectifs pour en fixer un autre.

1.3. Tri et identification des prélèvements réalisés

Dans le cadre du réseau de surveillance actuel, les pots de collecte contenant un volume inférieur à 3 ml d'insectes sont entièrement analysés. Pour les pots de collecte d'un volume plus important, seule une fraction du volume total (3 ml) est analysée et les résultats extrapolés à l'aide du volume total d'insectes. Tous les *Culicoides* du pot de collecte (ou de la fraction du pot) sont triés et identifiés à l'espèce. L'exception principale concerne les femelles des espèces *C. obsoletus* et *C. scoticus* qui ne sont pas séparées morphologiquement et regroupées sous le terme de complexe *Obsoletus*². Suivant les sites, ce complexe peut représenter de 30 à 80 % des individus capturés. Beaucoup moins abondantes, les espèces *C. cataneii* et *C. gejjelensis* sont regroupées sous le terme de complexe *Gejjelensis* et les espèces *C. sejjadinei* et *C. tauricus* sont regroupées sous le terme de complexe *Sejjadinei*.

² Un complexe est un ensemble d'espèces phylogénétiquement proches, et dont certains stades (en général les femelles) ne sont pas morphologiquement distinguables de manière certaine. Le complexe *Obsoletus* comporte principalement en France *C. obsoletus* et *C. scoticus*.

Tous les individus identifiés sont séparés par sexe et les femelles par statut physiologique (femelles nullipares, pares ou gorgées³). Ce niveau d'identification n'est pas exigé par la réglementation européenne, mais il est le plus pertinent pour étudier la distribution et la dynamique des *Culicoides* et pour permettre une recherche de virus *a posteriori* dans les collections d'insectes. En effet, la présence de virus doit être recherchée dans des lots monospécifiques de femelles à jeun et pares. Aussi, il apparaît nécessaire, en dehors des complexes, de conserver l'espèce comme taxon de base pour l'identification.

1.4. Conclusions

Depuis 2009, le réseau fonctionne à un niveau très satisfaisant grâce notamment à l'implication des agents des DD(CS)PP, qui ont la responsabilité de la mise en œuvre des piégeages, et aussi dans certains départements d'agents des groupements de défense sanitaire, d'éleveurs ou d'agents de l'EID-Med. Ce réseau remplit ses missions : i) d'inventaire, en découvrant de nouvelles espèces pour la faune de France (*Culicoides abchazicus* en 2009 et *C. manchuriensis* en 2010), ii) de description de la dynamique et de la distribution des *Culicoides* et iii) de détermination des dates de reprise et fin de l'activité des populations.

En matière de surveillance, il est prioritaire **d'effectuer une analyse triadique** (analyse multivariée et multitableaux permettant de trouver une structure spatiale et d'étudier sa stabilité dans le temps) des données entomologiques disponibles de 2009 à 2011 de manière à identifier si certains pièges fonctionnent de manière homogène. Choisir un ou plusieurs représentants au sein de ces groupes pourrait être une approche raisonnée pour déterminer le nombre optimum de pièges du réseau de surveillance. Par ailleurs, un réseau de capture couvrant l'ensemble du territoire métropolitain paraît extrêmement pertinent. Aussi, toute adaptation du dispositif devrait **conserver la représentation de l'ensemble du territoire**.

L'établissement des périodes d'inactivité des populations de *Culicoides* devrait être envisagé par zones climatiques. Cela autoriserait des périodes d'inactivité longues dans les régions où l'hiver est long et peu propice à la présence de *Culicoides* adultes. Ces zones pourraient être définies sur la base des données d'activité actuellement disponibles, en **utilisant le département comme unité géographique**. Les captures de l'année pourraient permettre, pour une zone donnée, d'interrompre la période d'inactivité en cas de capture de plus de 5 femelles pares. Les zones pourraient être redéfinies tous les 3 ans. Avec cette méthodologie, la nécessité de captures hebdomadaires devient moins critique et **la fréquence pourrait être adaptée à un rythme de 2 nuits consécutives de capture toutes les 2 semaines** pour améliorer la description de la dynamique de population.

L'espèce doit être maintenue comme niveau taxonomique pour l'identification des prélèvements issus du réseau de surveillance. Ceci nécessite de maintenir le niveau d'expertise des personnes impliquées dans l'identification morphologique, de continuer à résoudre les incertitudes taxonomiques et de développer des outils d'aide à l'identification.

³ Les femelles nullipares n'ont jamais pris de repas de sang, et donc, en l'absence de transmission verticale, elles ne peuvent pas être infectées à la différence des femelles pares (au moins un repas de sang). La prise du premier repas de sang pigmente l'abdomen, ce qui permet de différencier les deux stades. Cette pigmentation peut ne pas être visible sur des femelles fraîchement gorgées, qui sont donc classées à part.

2. Analyse des mesures de police sanitaire

L'arrêté du 22 juillet 2011 fixe les mesures techniques et administratives relatives à la lutte contre la fièvre catarrhale du mouton sur le territoire métropolitain. Cet arrêté prévoit, en cas de suspicion (article 5) :

- une enquête épidémiologique portant, entre autres, sur la présence et la distribution des vecteurs de la maladie (article 8) ;
- le confinement des animaux des espèces sensibles aux heures d'activité des vecteurs ;
- le traitement régulier des animaux à l'aide d'insecticides autorisés ;
- si nécessaire, le traitement régulier des bâtiments utilisés pour l'hébergement des animaux des espèces sensibles et de leurs abords.

Par ailleurs, en cas de confirmation d'un sérotype exotique, les véhicules utilisés pour le transport des animaux, quittant ou traversant la zone de protection établie, doivent être désinsectisés (article 14).

Ces mesures de police sanitaire sont analysées en terme de pertinence et de faisabilité opérationnelle en passant en revue successivement : i) la présence et la distribution des vecteurs, ii) le confinement des animaux (dans un contexte où l'Union européenne cherche à établir une définition d'un bâtiment protégeant de la piqûre des *Culicoides*) et iii) le traitement insecticide des animaux, bâtiments et véhicules de transport.

2.1. Présence et distribution des vecteurs

A une échelle locale, déterminer la présence des vecteurs sous-entend établir la liste des espèces de *Culicoides* présentes et leur abondance et établir la distribution des vecteurs sous-entend recenser les gîtes larvaires et les lieux de repos des *Culicoides* présents. Ces actions peuvent avoir des objectifs d'évaluation du risque ou de lutte anti-vectorielle.

Un des moyens les plus pratiques pour recenser les espèces présentes sur un site donné et d'estimer leur abondance est d'employer un piège lumineux. Si l'utilisation de ce piège n'est pas techniquement difficile – tous les services vétérinaires départementaux ont été formés à leur utilisation et en possèdent et en utilisent dans le cadre du réseau de surveillance – le dénombrement des *Culicoides* présents, et surtout leur identification requiert une expertise longue à acquérir. Par ailleurs, la distribution des espèces de *Culicoides* dans les grandes zones éco-climatiques commence à être relativement connue. Il n'y a donc qu'un intérêt limité pour l'évaluation du risque – et sans doute encore plus limité en termes de gestion du risque – à effectuer systématiquement en routine un recensement des espèces de *Culicoides* présentes sur les foyers de fièvre catarrhale du mouton en zone d'endémie. Ce recensement est, en outre, difficilement réalisable directement par les services vétérinaires. En revanche, la capture de *Culicoides* dans des élevages au moment d'une transmission intense a un intérêt certain pour aboutir à l'identification des espèces impliquées dans la transmission.

Cette capture⁴ doit être réalisée exceptionnellement dans des contextes particuliers par le Laboratoire national de référence sur les *Culicoides* (UMR15, Cirad⁵) en partenariat avec les laboratoires de recherche compétents sur les *Culicoides* (EID-Med, IPPTS, VecPar-ANSES). C'est une action prioritaire dans le cas de l'émergence du virus Schmallenberg pour confirmer le rôle vectoriel des *Culicoides* et identifier les espèces impliquées. Pour l'instant, le nombre possible de missions de ce type est limité par les ressources opérationnelles et techniques disponibles dans ces laboratoires. Il est nécessaire pour l'organisation de ces opérations de s'appuyer sur les services vétérinaires qui disposent d'une bonne connaissance du terrain et permettent d'être plus réactifs vis-à-vis d'épisodes épizootiques. En effet, l'identification de vecteurs naturellement infectés n'est possible que si l'effort de capture est concentré au moment de la transmission la plus intense. Toutefois, ces investigations pourraient être plus nombreuses et plus efficaces si un effort significatif de développement des compétences techniques (piégeages, pré-tri et identification) était réalisé au niveau des Laboratoires vétérinaires départementaux et/ou des services vétérinaires, avec dans l'idéal la désignation d'une personne référente en entomologie (à former sur les *Culicoides*, et sur les autres groupes vecteurs (tiques, stomoxes, tabanides, moustiques), par le Laboratoire national de référence et/ou les laboratoires compétents) par département ou par région, qui pourrait alors intervenir directement.

Etablir la distribution des espèces de *Culicoides* dans un élevage peut avoir une finalité de lutte anti-vectorielle. Par ailleurs, une prospection larvaire peut avoir un intérêt en complément des piégeages lumineux pour tendre vers un recensement exhaustif des espèces présentes sur un site donné, puisqu'elle peut permettre de récolter des espèces qui seraient peu ou pas capturées par piégeage lumineux.

Les gîtes de repos des *Culicoides* sont très mal connus et associés à la végétation, sans beaucoup plus de précision. La détermination des gîtes de repos sur une exploitation est un travail très chronophage, nécessitant une certaine expertise dans la capture et dans l'identification des *Culicoides*. Ce travail ne peut être entrepris en routine par les services vétérinaires. Par ailleurs, en l'état actuel des connaissances sur l'écologie des *Culicoides*, même quelques indications de localisation des gîtes de repos n'auraient qu'un intérêt très limité dans la gestion du risque de transmission ; les traitements insecticides de l'environnement, avec les produits actuellement disponibles ont montré leur inefficacité (Satta *et al.* 2004) et ont des conséquences néfastes pour l'environnement et en particulier pour la faune non cible.

Les gîtes larvaires des *Culicoides* sont dans la majorité des cas constitués de boues humides plus ou moins chargées en matières organiques en décomposition d'origine animale ou végétale. Ainsi on peut trouver des larves dans la vase du bord de mares, étangs, lacs, rivières, ruisseaux, tourbières, dans les terreaux des trous d'arbres, les mousses et plantes en décomposition (cf. tableau 1). Certaines espèces supportent des variations importantes de pH (acidité des tourbières), de salinité, ou de composition même du biotope (bouses de vaches). La plupart des habitats larvaires contiennent des associations d'espèces.

La plupart des espèces de *Culicoides* sont ubiquistes, c'est-à-dire qu'on peut retrouver leurs larves dans des habitats relativement divers. Un certain nombre sont plus localisées dans

⁴ Dans cet objectif, les *Culicoides* devraient être collectés dans une solution tampon (PBS), triés rapidement et placés et conservés à -80 °C de manière à permettre un isolement viral

⁵ Arrêté du 29 décembre 2009 (modifié par l'arrêté du 19 octobre 2011) désignant les laboratoires nationaux de référence dans le domaine de la santé publique vétérinaire et phytosanitaire

des biotopes saumâtres littoraux ou continentaux comme par exemple : *C. maritimus*, *C. submaritimus*, *C. circumscriptus*, *C. nubeculosus*, *C. riethi*, *C. puncticollis* et *C. newsteadi* (pour ne citer que les principales). D'autres comme *C. semimaculatus*, *C. fagineus*, *C. clintoni*, *C. begueti* et *C. haranti* ont des habitats larvaires liés aux trous d'arbre. D'autres comme *C. caucoliberensis* sont exclusives des creux de rochers en bordure de mer. D'autres encore, comme *C. brunnicans*, *C. vexans* et *C. pictipennis*, se rencontrent dans des pâtures ou fossés temporairement à sec une partie de l'année.

Les espèces du sous genre *Avaritia*, principales espèces suspectées dans la transmission du virus de la fièvre catarrhale du mouton sont associées à des biotopes riches en matière organique d'origine animale. Ainsi, *C. chiopterus* et *C. dewulfi* sont des espèces exclusives des bouses de vache. Les gîtes larvaires de *C. obsoletus*, de *C. scoticus* et de *C. imicola*, les espèces les plus abondantes en nombre d'adultes récoltés dans tous les piégeages lumineux réalisés, sont moins clairement définis, ces espèces étant vraisemblablement ubiquistes. En Afrique, *C. imicola* se retrouve dans des zones humides (mais pas inondés) riches en nutriments exposés à la lumière du soleil (EFSA, 2007). Par exemple, à Majorque, 396 *C. imicola* ont émergé de 58 prélèvements de boue provenant de fuites d'abreuvoir (Miranda, données non publiées). En Europe, *C. obsoletus* a été retrouvé dans les litières de forêt (Dzhafarov 1964 ; Jamnback 1963 ; Conte *et al.* 2007), mais aussi dans des inflorescences de bananier en décomposition (Mellor 1979), dans des trous d'arbre, des tas de fumier, du mélange paille/fèces ou du crottin, ou encore dans du compost de jardin (Campbell et Pelham-Clinton 1960 ; Weinburgh 1962). L'espèce jumelle *C. scoticus* a été retrouvée dans des champignons en décomposition (Buxton 1960) ou des habitats marécageux (Boorman 1970). Récemment, des larves de *C. obsoletus* (et dans une moindre mesure de *C. scoticus*) ont été trouvées dans des résidus d'ensilage de maïs (Zimmer *et al.* 2008), mais aussi à l'intérieur d'étables en Belgique (Zimmer *et al.* 2010). Enfin, dans les Ardennes, un nombre important de larves de *C. obsoletus* a été trouvé dans de vieux fumiers (litières) en décomposition avancée se transformant en un compost terreux que l'on trouve près du sol contre les murs à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments d'élevage ainsi qu'aux pieds des fumières déposées dans les pâtures (Ninio *et al.* 2011).

Le recensement des gîtes larvaires peut se faire par des pièges à émergence ou par des prélèvements de substrats à partir desquels on attend l'émergence des adultes des espèces présentes ou dont on peut extraire les larves par flottation, ces dernières devant alors être identifiées par biologie moléculaire (la détermination morphologique des larves étant très difficile). Quelle que soit la méthode, ce recensement ne peut se faire de manière opérationnelle systématiquement et, pour l'instant, reste limité aux activités de recherche. Par ailleurs, se trouvant, le plus souvent, dans l'impossibilité de découvrir dans une exploitation l'ensemble des habitats larvaires d'espèces ubiquistes comme *C. obsoletus* ou *C. imicola* ou devant le nombre important d'habitats larvaires de petite taille et dispersés des espèces *C. chiopterus* ou *C. dewulfi*, l'intérêt en termes de lutte anti-vectorielle et de gestion du risque est relativement limité. En revanche, les habitats larvaires de ces espèces étant associés à de la matière organique d'origine animale, la bonne gestion des effluents d'élevage, en particulier le nettoyage régulier des bâtiments et l'élimination fréquente des fumières, ne peut avoir qu'un impact positif dans la limitation de la prolifération des espèces de *Culicoides* dans l'élevage. L'étude de l'écologie larvaire des *Culicoides* reste une priorité de recherche pour aboutir à terme à une caractérisation précise des habitats larvaires, préalable indispensable à la mise au point de méthodes de lutte efficaces. Elle doit se faire en parallèle d'un développement de larvicides efficaces et utilisables dans l'environnement.

Tableau 1 : Présentation des habitats larvaires des espèces du genre *Culicoides* (Diptera : Ceratopogonidae)

Liste des espèces de <i>Culicoides</i> signalées en France métropolitaine et en Corse	
Espèces avec affiliation sous-générique	Gîtes larvaires
Sous-genre <i>Avaritia</i>	
<i>C. (Avaritia) obsoletus</i> (Meigen, 1818)*	Mélange bouse et fumier ± transformé en terreau, trou d'arbre, ensilage de maïs, résidus de grains et plantes en décomposition
<i>C. (Avaritia) scoticus</i> Downes & Kettle, 1952	Mélange bouse et fumier transformé en terreau, ensilage de maïs, résidus de grains et plantes en décomposition
<i>C. (Avaritia) abchazicus</i> Dzhafarov, 1964	Inconnu
<i>C. (Avaritia) montanus</i> Shakirzjanova, 1962	Inconnu
<i>C. (Avaritia) imicola</i> Kieffer, 1913	Crottes de moutons mélangées à de la terre vaseuse
<i>C. (Avaritia) dewulfi</i> Goetghebuer, 1936*	Bouses de vaches (desséchées en surface), crottin de cheval, résidus de grains et plantes en décomposition
<i>C. (Avaritia) chiopterus</i> (Meigen, 1830)*	Bouses de vaches (desséchées en surface)
Sous-genre <i>Beltranmyia</i>	
<i>C. (Beltranmyia) circumscriptus</i> Kieffer, 1918*	Marécages saumâtres
<i>C. (Beltranmyia) salinarius</i> Kieffer, 1914*	Marécages saumâtres
<i>C. (Beltranmyia) sphagnumensis</i> Williams, 1955	Tourbières
<i>C. (Beltranmyia) manchuriensis</i> Tokunaga, 1941	Inconnu
Sous-genre <i>Culicoides</i>	
<i>C. (Culicoides) pulicaris</i> (Linné, 1758)	Bords de mares et autres points d'eau plus ou moins en forêt
<i>C. (Culicoides) lupicaris</i> Downes & Kettle, 1952	Bords de mares et autres points d'eau plus ou moins en forêt
<i>C. (Culicoides) flavipulicaris</i> Dzhafarov, 1964	Inconnu
<i>C. (Culicoides) fagineus</i> Edwards, 1939*	Trous d'arbre
<i>C. (Culicoides) subfagineus</i> Delécolle & Ortega, 1998	Inconnu
<i>C. (Culicoides) grisescens</i> Edwards, 1939	tourbières
<i>C. (Culicoides) impunctatus</i> Goetghebuer, 1920	tourbières
<i>C. (Culicoides) deltus</i> Edwards, 1939	tourbières
<i>C. (Culicoides) punctatus</i> (Meigen, 1804)	Bords de mares et autres points d'eau plus ou moins en forêt
<i>C. (Culicoides) newsteadi</i> Austen, 1921	Marécages saumâtres
Sous-genre <i>Monoculicoides</i>	
<i>C. (Monoculicoides) puncticollis</i> (Becker, 1903)*	Marécages saumâtres
<i>C. (Monoculicoides) nubeculosus</i> Meigen, 1830*	Marécages saumâtres, boue mélangée à des bouses de vaches
<i>C. (Monoculicoides) riethi</i> Kieffer, 1914	Marécages saumâtres
<i>C. (Monoculicoides) stigma</i> Meigen, 1818*	Bauges, tourbières parfois aussi marécages saumâtres
<i>C. (Monoculicoides) parroti</i> Kieffer, 1922	Marécages saumâtres
<i>C. (Monoculicoides) helveticus</i> Callot, Kremer & Déduit, 1962	A été trouvé dans de la boue autour d'un gouffre (altitude 1300m)

Sous-genre <i>Pontoculicoides</i>	
<i>C. (Pontoculicoides) tauricus</i> Gutsevich, 1959	Inconnu
<i>C. (Pontoculicoides) saevus</i> Kieffer, 1922	Inconnu
<i>C. (Pontoculicoides) ibericus</i> Dzhafarov, 1964	Inconnu
Sous-genre <i>Silvaticulicoides</i>	
<i>C. (Silvaticulicoides) achrayi</i> Kettle & Lawson, 1955	Prairies humides, rives d'étangs
<i>C. (Silvaticulicoides) fascipennis</i> (Staeger, 1839) *	Tourbières, mares (pH acide)
<i>C. (Silvaticulicoides) pallidicornis</i> Kieffer, 1919	Prairies humides
<i>C. (Silvaticulicoides) picturatus</i> Kremer & Déduit, 1961	Prairies humides
<i>C. (Silvaticulicoides) subfasciipennis</i> Kieffer, 1919	Prairies humides
Sous-genre <i>Synhelea</i>	
<i>C. (Synhelea) corsicus</i> Kremer, Leberre & Beaucournu-Saguez, 1971	Bord de ruisseau
<i>C. (Synhelea) semimaculatus</i> Clastrier, 1958*	Trous d'arbre
Sous-genre <i>Wirthomyia</i>	
<i>C. (Wirthomyia) cameroni</i> Campbell & Pelham Cl., 1960	Mousses sur rochers de petits torrents d'altitude
<i>C. (Wirthomyia) minutissimus</i> (Zetterstedt, 1855)	Bord de mares, rivières
<i>C. (Wirthomyia) riouxi</i> Callot & Kremer, 1961	Inconnu
<i>C. (Wirthomyia) segnis</i> Campbell & Pelham-Clinton, 1960	Terrains marécageux
<i>C. (Wirthomyia) reconditus</i> Campbell & Pelham-Clinton, 1960	Inconnu
Espèces sans affiliation sub-générique, classées par groupes morphologiques	
Groupe <i>Cataneii</i>	
<i>C. cataneii</i> Clastrier, 1957	Bords de rivières, prairies humides, mares
<i>C. gejjelensis</i> Dzhafarov; 1964	Bords de rivières, prairies humides, mares
<i>C. duddingstoni</i> Kettle & Lawson, 1955	Terrain marécageux et bord de mare plus ou moins saumâtres
Groupe <i>Simulator</i>	
<i>C. alazanicus</i> Dzhafarov; 1961*	Bords de rivières, mares, étangs
<i>C. simulator</i> Edwards, 1939	Inconnu
<i>C. vidourlensis</i> Callot, Kremer, Molet & Bach, 1968	Bord de rivière
Groupe <i>Kurensis</i>	
<i>C. jumineri</i> Callot & Kremer, 1969	Bord de mare, étang
<i>C. kurensis</i> Dzhafarov; 1960	Inconnu
Groupe <i>Kibunensis</i>	
<i>C. kibunensis</i> Tokunaga, 1937*	Bords de rivières, mares, étangs, prairies marécageuses
<i>C. jurensis</i> Callot, Kremer & Déduit, 1962	Bord de mare, fossé de drainage
<i>C. paradisionensis</i> Boorman, 1988	Inconnu
<i>C. riebi</i> Delécolle, Mathieu & Baldet, 2005	Inconnu
<i>C. heteroclitus</i> Kremer & Callot, 1965	Bord de ruisseau (Var)
Groupe <i>Begueti</i>	
<i>C. begueti</i> Clastrier, 1957	Trous d'arbre (sud de la France)
<i>C. haranti</i> Rioux, Descous & Pech, 1959	Trous d'arbre (sud de la France)
Groupe <i>Brunnicans</i>	
<i>C. brunnicans</i> Edwards, 1939	Prairies humides
<i>C. santonicus</i> Callot, Kremer, Rault & Bach, 1968	Bord de mare, prairies humides
Groupe <i>Vexans</i>	
<i>C. vexans</i> Staeger, 1839	Prairies humides, rives d'étang en zone

<i>C. albicans</i> Winnertz, 1852	naturelle Tourbières, rives d'étang en zone naturelle
Groupe Maritimus	
<i>C. caucoliberensis</i> Callot, Kremer, Rioux & Descous, 1967	Creux de rochers en bord de mer
<i>C. submaritimus</i> Dzhafarov, 1962	Bord de mer et marécages saumâtres
<i>C. maritimus</i> Kieffer, 1924	Bord de mer et marécages saumâtres
<i>C. maritimus paucisensillatus</i> Callot, Kremer & Rioux, 1963	Bord de mer et marécages saumâtres
Groupe Pictipennis	
<i>C. pictipennis</i> (Staeger, 1839)*	Canaux de drainage temporairement à sec, rives d'étang en zone naturelle
<i>C. poperinghensis</i> Goetghebuer, 1953	Bord de mare, rivières, prairies humides
<i>C. griseidorsum</i> Kieffer, 1918	Inconnu
<i>C. univittatus</i> Vimmer, 1932	Prairies humides plus ou moins saumâtres
Groupe Festivipennis	
<i>C. clastrieri</i> Callot, Kremer & Déduit, 1962*	Bords de rivières, mares, étangs, flaques d'eau avec algues vertes dans prairies humides, boue mélangée à des bouses de vaches
<i>C. festivipennis</i> Kieffer, 1914*	Bords de rivières, mares, étangs parfois saumâtres
<i>C. paolae</i> Boorman, 1996	Fruits de figues de barbarie en décomposition
<i>C. shaklawensis</i> Khalaf, 1961	Bords de ruisseaux plus ou moins saumâtres
Groupe Furcillatus	
<i>C. dendriticus</i> Boorman, 1976	Bords de ruisseaux plus ou moins saumâtres
<i>C. furcillatus</i> Callot, Kremer & Paradis, 1962*	Bords de mares en forêt
Groupe Derisor	
<i>C. derisor</i> Callot & Kremer, 1965	Inconnu
<i>C. dzhafarovi</i> Remm, 1967	Inconnu
<i>C. malevillei</i> Kremer & Coluzzi, 1971	Inconnu
Groupe Odiatus	
<i>C. indistinctus</i> Khalaf, 1961	Bords de mares, de rivières
<i>C. odiatus</i> Austen, 1921	Bords de mares, de rivières
Groupe Sahariensis	
<i>C. longipennis</i> Khalaf, 1957	Boue et sable de petits ruisseaux (sud)
<i>C. sahariensis</i> Kieffer, 1923	Boue et sable de petits ruisseaux (sud)
Groupe Truncorum	
<i>C. truncorum</i> Edwards, 1939*	Trous d'arbre
<i>C. clintoni</i> Boorman, 1984	Tourbières
Groupe Comosioculatus	
<i>C. comosioculatus</i> Tokunaga, 1956	Inconnu
Groupe Heliophilus	
<i>C. heliophilus</i> Edwards, 1921	Prairies humides, bords de ruisseaux
Groupe Albihalteratus	
<i>C. albihalteratus</i> Goetghebuer, 1935	Sous-bois marécageux

Total : 87 espèces (dont 19 ont encore un gîte larvaire inconnu)

* Espèces pour lesquelles la larve (stade IV) a fait l'objet d'une description détaillée (Chaker, 1983)

2.2. Confinement des animaux

L'article 5 du chapitre II de l'arrêté du 22 juillet 2011 prévoit le « confinement des animaux des espèces sensibles aux heures d'activité des vecteurs lorsque [le préfet] juge que les moyens nécessaires à la mise en œuvre de cette mesure sont disponibles ».

Le confinement des animaux dans des bâtiments capables de prévenir l'entrée des *Culicoides*, est préconisé en partant du principe qu'il permet de limiter le contact hôte/vecteur. Cela implique que les vecteurs sont majoritairement exophages ou que les ouvertures du bâtiment sont suffisamment fermées pour empêcher ou, tout au moins, limiter l'entrée des *Culicoides*. Par ailleurs, il faut que le confinement des animaux ait lieu aux heures d'activité des *Culicoides*.

Baldet *et al.* (2008) ont étudié l'activité des *Culicoides* associés au bétail à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, sur des sites affectés par la fièvre catarrhale du mouton à la fin de l'automne 2006. Pour cela, des captures ont été réalisées sur quatre fermes du nord-est de la France, une fois par semaine, avec pour chaque nuit de capture et chaque site un piège lumineux à l'extérieur et un piège à l'intérieur des bâtiments d'élevage abritant du bétail. Les résultats montrent des abondances qui peuvent être importantes à l'intérieur des bâtiments pour les espèces du groupe *Obsoletus* (*C. obsoletus*, *C. scoticus*, *C. chiopterus* et *C. dewulfi*), laissant suspecter une certaine endophagie, contrairement aux espèces du groupe *Pulicaris* (*C. pulicaris*, *C. punctatus*). Ce caractère endophage semble très influencé par la saison (différence de températures intérieur/extérieur) et la présence d'animaux à l'intérieur, sachant que ce dernier facteur n'est pas contrôlé, tout comme le degré d'ouverture des bâtiments. Les mêmes conclusions ont été obtenues avec la même méthodologie aux Pays-Bas par Meiswinkel *et al.* (2008), alors que Bauer *et al.* (2009) ont capturé à l'intérieur de bâtiments des nombres importants de *Culicoides* du groupe *Pulicaris*. Dans le même type d'approche, en zone méditerranéenne, Calvete *et al.* (2009) ont réalisé, en novembre 2006 et octobre 2007, des captures de *C. imicola* en Espagne continentale à l'intérieur et à l'extérieur de bâtiments d'élevage. Si aucun lien statistique n'a pu clairement être établi, les captures moyennes ont été plus importantes à l'intérieur des bâtiments d'élevage (en particulier de femelles gorgées). Les auteurs n'ont cependant pas pu faire la part des choses entre un comportement purement endophage ou une mammophilie marquée, conduisant *C. imicola* à suivre le bétail à l'intérieur des étables. La première hypothèse remet en question l'utilité de toute stratégie de confinement alors que la seconde inciterait à des stratégies de type « zooprophylaxie » en plaçant des animaux non sensibles à l'extérieur des bâtiments et en laissant les ruminants des espèces sensibles à l'intérieur. Les auteurs n'ont pu, par ailleurs, conclure quant à l'influence de facteurs abiotiques (vent, précipitations) sur leurs observations, ni n'ont pris en compte le degré d'ouverture des bâtiments. Or en prenant en compte la présence des animaux comme facteur explicatif, Meiswinkel *et al.* (2000) avaient déterminé en Afrique du Sud que placer des chevaux dans une écurie les protège contre les piqûres de *C. imicola*, très majoritairement exophage, même si des ouvertures existent (portes ouvertes, absence de moustiquaires aux fenêtres). En revanche, seule une écurie parfaitement isolée (portes fermées, présence de moustiquaires aux fenêtres) permet de protéger les chevaux contre *C. bolitinos*, plus endophage, espèce africaine, non présente en France, et vecteur du virus de la peste équine.

De même, dans une étude standardisée – captures en carré latin avec comme facteurs explicatifs la position du piège (intérieur *versus* extérieur) et la présence d’animaux – Baylis *et al.* (2010) ont comparé, au Pays de Galles, les effectifs capturés dans des pièges posés à l’intérieur et à l’extérieur des bâtiments, avec ou sans présence d’animaux. Les résultats montrent qu’en période chaude (mai/juin), le nombre de *Culicoides* capturés est significativement plus élevé à l’extérieur qu’à l’intérieur, et plus élevé en présence qu’en l’absence d’animaux. De plus, le nombre de femelles gorgées est 3 à 4 fois plus élevé à l’extérieur qu’à l’intérieur en présence d’animaux. Cette différence est moins marquée en automne, période à laquelle les nuits froides et les vents forts réduisent fortement le nombre d’individus capturés à l’extérieur. Toutefois, il est difficile de déterminer si cette différence résulte d’un changement de comportement des *Culicoides* (endophagie plus marquée) ou d’une diminution du rendement même des pièges utilisés (le vent perturbant la capacité d’aspiration). Il est à noter que toutes les fermes de l’étude présentaient des ouvertures, sachant que la plus grande différence entre les nombres de *Culicoides* capturés à l’intérieur et à l’extérieur est observée dans la ferme présentant le moins d’ouvertures. Dans une étude utilisant des pièges à appât, c’est-à-dire en s’affranchissant des problèmes d’interprétation liés aux pièges lumineux, Viennet (2011) trouve des résultats concordants avec les résultats de Baylis *et al.* (2010). L’auteur montre en effet que, dans le centre de la France, le nombre de *Culicoides* entrant dans les bâtiments dépend du degré d’ouverture de ceux-ci. Cette étude montre également que l’endophagie, notamment de *C. obsoletus*, varie en fonction de la saison, avec un rapport entre le nombre de *Culicoides* capturés à l’intérieur et à l’extérieur plus élevé en automne qu’au printemps et en été, indépendamment des conditions de vent. En revanche, dans cette étude, le nombre d’animaux présents à l’extérieur était moins élevé à l’automne qu’aux autres saisons, ce qui peut expliquer au moins en partie la différence d’endophagie observée.

Les *Culicoides* sont souvent décrits comme principalement crépusculaires, même si on sait que certaines espèces peuvent piquer en plein jour. En revanche, peu d’études ont étudié le rythme circadien des *Culicoides* avec des pièges à appât au cours de l’ensemble du nyctémère. C’est ce qui a été réalisé récemment dans le centre de la France (Viennet 2011). Il apparaît que *C. obsoletus* est principalement actif autour du coucher du soleil, soit avant, soit après en fonction des saisons. Des conditions climatiques particulières (brusque baisse de la luminosité liée à un passage nuageux massif et soudain) peuvent rendre les populations actives par exemple au milieu de l’après-midi. Une autre espèce plus abondante, *C. brunnicans*, présentaient un second pic d’activité le matin, dans les heures suivant le lever du soleil. Il est possible que dans des zones de plus forte abondance, *C. obsoletus* puisse aussi présenter ce second pic d’activité (Viennet 2011).

2.3. Le traitement insecticide des animaux, bâtiments et véhicules de transport

L'article 5 de l'arrêté du 22 juillet 2011 prévoit : « le traitement régulier des animaux à l'aide d'insecticides autorisés » et « si nécessaire, le traitement régulier des bâtiments utilisés pour l'hébergement des animaux des espèces sensibles et de leurs abords. » Par ailleurs, en cas de confirmation d'un sérotype exotique, l'article 14 impose la désinsectisation des véhicules utilisés pour le transport des animaux, quittant ou traversant la zone de protection établie. Nous commençons par mettre à jour les synthèses bibliographiques existantes sur l'efficacité des insecticides dans la lutte contre les *Culicoides*, puis analysons ces mesures de police sanitaire en termes de pertinence et de faisabilité opérationnelle.

L'utilisation d'insecticides contre les *Culicoides* a fait l'objet de plusieurs synthèses. Ainsi, l'EFSA a publié un avis scientifique « *bluetongue vectors and insecticides* », adopté le 19 juin 2008 et l'ANSES (alors Afssa) a également émis un avis intitulé « intérêt de la mise en œuvre des mesures de désinsectisation dans le protocole de lutte contre la fièvre catarrhale ovine » en date du 7 mai 2009. La présente note a pour objet de mettre à jour l'état des connaissances sur ce sujet et ne reprend pas les différents éléments bibliographiques considérés dans le cadre des synthèses précédentes.

Par ailleurs, à l'heure actuelle, aucun produit insecticide ne dispose en Europe d'une autorisation faisant l'état d'un usage spécifique contre les *Culicoides*, sachant que la grande majorité des produits utilisables pour le contrôle des *Culicoides* appartiennent à la famille des pyréthrinoïdes, du fait du retrait des autorisations pour les insecticides appartenant aux autres familles chimiques (organo-chlorés, organo-phosphorés et carbamates), et ont été évalués sur d'autres insectes (tiques et mouches).

2.3.1. Conclusions des synthèses précédentes

EFSA, 2008

La synthèse de l'EFSA de 2008 soulignait de nombreuses lacunes et l'absence de nouvelles données depuis le précédent rapport de l'EFSA (2007). Ainsi, les bains insecticides (*dipping*) n'avaient pas été évalués en Europe – ils n'ont pas été évalués depuis – et sont, par ailleurs, interdits dans certains pays européens du fait de la forte toxicité des insecticides, en particulier des pyréthrinoïdes, sur la faune aquatique. De même, les insecticides systémiques, comme les ivermectines, n'avaient pas non plus fait l'objet d'évaluation mais ne sont pas supposés pouvoir jouer un rôle dans la réduction de la transmission du virus de la fièvre catarrhale du mouton. Aucune nouvelle donnée concernant le traitement des bâtiments ou les moyens de transport n'avait été rapportée. Enfin, aucune étude concernant l'impact des traitements sur l'épidémiologie de la maladie n'était disponible.

Un résultat souligné par le rapport était la perte d'efficacité après l'utilisation de formulations *pour-on* ou de clips auriculaires, depuis l'échine jusqu'au ventre et aux pattes de l'animal, liée à des difficultés de diffusion du produit sur le corps de l'animal.

AFSSA, 2009

Lutte anti-larvaire. Dans son avis du 7 mai 2009, l'agence concluait que « la lutte anti-larvaire n'a pas d'intérêt dans le contexte européen de transmission de la FCM, notamment du fait des contraintes réglementaires liées à l'épandage d'insecticide mais aussi parce que les vecteurs reconnus (...) ou suspectés (...) présentent des habitats larvaires difficilement accessibles dans le cadre de la lutte chimique ou très mal caractérisés (...) ».

Lutte contre les adultes. L'application d'organophosphorés ou de pyréthrinoides en ULV (traitement au sol ou aérien) n'a montré que peu d'efficacité (effet limité et transitoire). Aussi et en considérant les contraintes réglementaires et par ailleurs les conséquences environnementales, l'AFSSA ne recommandait pas l'application d'adulticide dans l'environnement.

Les données disponibles ne permettaient pas de conclure quant à l'efficacité de l'application d'insecticides au sein des bâtiments d'élevage ou des véhicules utilisés pour le transport d'animaux. Les rares données disponibles souffrent par ailleurs de faiblesses méthodologiques.

L'utilisation d'insecticides sur les animaux nécessite, pour être efficace, d'être régulière en concentration suffisante et au niveau des zones préférentielles de piqûre. Dans son avis, l'AFSSA considérait l'utilisation des insecticides comme pertinent en l'absence d'autres mesures de lutte, notamment de la disponibilité d'un vaccin.

En particulier, l'AFSSA recommandait l'utilisation d'insecticides pour : i) les animaux à risque particulier de FCM, ii) les « cas de FCM » et les « animaux infectés de FCM » et iii) le transport d'animaux à partir de zones où des foyers de FCM seraient identifiés.

2.3.2. Actualisation des connaissances disponibles

Application d'insecticides sur les animaux

Mullens *et al.* (2010) ont testé l'effet d'une application de deltaméthrine (Butox 7.5) sur le taux de gorgement sur mouton de *Culicoides* sauvages. Pour cela, des moutons, traités et non-traités, ont été exposés à l'aide d'un *drop trap* aux piqûres de *Culicoides* pendant une période commençant 90 minutes avant le coucher du soleil et terminant 60 minutes après le coucher du soleil. Aucun *Culicoides* gorgé n'a été capturé dans les pièges comportant les moutons traités à J+0 et J+4, tandis que les taux de gorgement de *C. obsoletus* et *C. parroti* étaient respectivement de 58 % et 67 % pour les animaux non traités. L'application de la formulation insecticide sur les moutons ne correspond pas à l'utilisation opérationnelle. En effet, ce produit normalement utilisé en *pour-on* a été appliqué en frottant l'animal avec un gant et en insistant sur les parties les plus sensibles (face, oreille et ventre), ce qui est irréalisable en routine en conditions d'élevage.

Venail *et al.* (2011) ont appliqué en *pour-on* le même produit sur mouton, et testé l'efficacité sur une souche de laboratoire de *Culicoides nubeculosus*. La mortalité corrigée maximale est de 45 % à J+4. Il semblerait que l'effet létal de cette formulation dans cette étude ne dépasse pas 10 jours. Le taux de gorgement à J+4 des *Culicoides* sur les animaux traités est, selon les moutons, inférieur ou similaire à celui observé sur les animaux non-traités.

En complément des différentes études relatives à l'efficacité de certaines formulations commerciales de deltaméthrine (Butox 7.5 *pour-on*) (Schmahl *et al.* 2008), Schmahl *et al.* (2009) ont évalué l'impact de la pluie sur ce type de traitement en comparant pendant

quatre semaines la mortalité de *C. obsoletus* exposés, d'une part, au pelage d'animaux (bovins et ovins) resté sec et, d'autre part, au pelage d'animaux mouillé deux fois par semaine. Les auteurs notent que la deltaméthrine reste efficace pendant les quatre semaines d'observation, y compris lorsque les animaux sont mouillés de manière régulière. Des différences en termes de délai d'observation de la mortalité sont cependant relevées. Ainsi, les *Culicoides* meurent plus rapidement sur laine sèche d'ovine que sur laine mouillée. Les résultats sont hétérogènes pour les bovins puisque la cinétique de la mortalité sur pelage mouillé est plus lente ou similaire à celle observée sur pelage sec.

Reeves *et al.* (2010) ont testé l'effet répulsif de 2 formulations à base de pyréthrinoïdes, un clip auriculaire (PYthon, 10 % zeta-cyperméthrine et 20 % PBO) et un spray (2,5 % perméthrine et 2,5 % PBO), sur *Culicoides sonorensis* (élevage). Chaque semaine, les *Culicoides* ont été appliqués directement au niveau de la zone axillaire d'une brebis immobilisée, et le taux de gorgement a été observé. L'effet répulsif dure 3 semaines pour le spray (10 % de gorgement contre 76 % pour le témoin en semaine 3) et 5 semaines pour le clip auriculaire. L'avantage du spray est que l'effet répulsif est immédiat, contrairement au clip pour lequel la diffusion de l'insecticide est plus lente. Les auteurs prônent l'utilisation combinée de ces deux formulations. Le prix de revient du spray est 10 fois inférieur à celui du clip (0,1 *versus* 1 dollar étatsunien par animal).

D'autres essais menés en Allemagne sur des taureaux ont évalué l'efficacité conférée par l'utilisation d'un clip auriculaire contenant de la perméthrine suivi de traitements réguliers à base d'une formulation de deltaméthrine en *pour-on* (Bauer *et al.* 2009). Les auteurs n'ont pas pu conclure quant à un impact des traitements sur les taux de gorgement et estiment que cette stratégie ne permet vraisemblablement pas d'atteindre la protection escomptée. Conformément aux conclusions de l'EFSA (2008), les auteurs émettent l'hypothèse d'une efficacité décroissante des clips auriculaires et des formulations *pour-on* depuis le point d'application jusqu'au ventre et aux pattes des animaux. De plus, la taille des animaux (des taureaux) accentuerait un tel effet et permettrait d'expliquer la différence avec les résultats d'autres auteurs (Schmahl *et al.* 2008).

Papadopoulos *et al.* (2010) ont testé l'efficacité de la cyperméthrine contre, entre autres, *Culicoides nubeculosus* (élevage), en exposant 10 adultes à des poils provenant du dos, du ventre et des pattes de chevaux traités préalablement avec une solution de 0,1 % de cyperméthrine, appliquée manuellement à l'aide d'une éponge. La mortalité est de 80 % à J+7, et diminue progressivement jusqu'à J+35 (fin de l'étude), restant supérieure à 50 % en moyenne. Aucune mortalité n'a été observée pour les témoins.

Selon le même protocole, Papadopoulos *et al.* (2009) ont testé l'efficacité de la cyperméthrine contre *Culicoides nubeculosus* exposé cette fois à des poils de moutons et de bovins préalablement traités. Les résultats montrent une forte efficacité du produit, quelque soit la localisation des poils utilisés, avec environ 100 % de mortalité à J+7, J+14 et J+21, aussi bien sur moutons que sur bovins.

Griffioen *et al.* (2010) ont testé l'effet d'un *pour-on* à base de perméthrine (3,6 %) sur le taux de gorgement de *Culicoides* sauvages. Deux moutons, préalablement traités 4 à 7 jours auparavant, sont placés sous une tente, et 2 moutons non traités dans une autre. Les captures couvrent une période de 3 h autour du coucher du soleil. Le nombre de *Culicoides* entrant sous la tente est inférieur de 50 % pour les animaux traités, et le taux de gorgement est de 31 % contre 40 % pour le témoin (différence significative).

Mesures physiques couplées aux insecticides : imprégnations de toiles

Calvete *et al.* (2010) ont évalué l'efficacité d'une barrière en toile imprégnée à la cyperméthrine (0,5 g/L) autour d'enclos à brebis. Le degré de protection conféré par une telle méthode dépend fortement du caractère exophage ou endophage du vecteur impliqué. Les résultats n'ont pas montré de nette diminution de l'abondance de *Culicoides* autres que *C. imicola* pour des enclos entourés d'une barrière en toile (traitée ou non-traitée). En revanche, la présence de *C. imicola* semble réduite par l'utilisation d'une toile imprégnée, même si seules les interactions entre les facteurs ont un effet significatif. Ceci semble montrer que l'utilisation de barrières en toile traitées pourrait réduire le contact entre le bétail et *C. imicola* dans des zones ouvertes ou des abris. Les auteurs suggèrent que ce type de barrière imprégnée devrait être utilisé en combinaison avec d'autres méthodes comme par exemple le traitement insecticide des troupeaux. Des travaux complémentaires restent nécessaires pour apprécier l'importance de différents facteurs tels que la hauteur des barrières, la taille de la zone protégée ainsi que l'abondance de *C. imicola*.

A contrario, l'évaluation d'un dispositif similaire (filet d'une hauteur de 180 cm, traité à la deltaméthrine et entourant des enclos abritant des taureaux) n'a pas montré une efficacité sur la réduction du nombre de *Culicoides* à l'intérieur des enclos, malgré une efficacité intrinsèque testée sur des mouches domestiques (Bauer *et al.* 2009). Les auteurs suggèrent que les *Culicoides* aient pu passer activement par dessus le filet directement ou à la faveur des vents.

Essais de substances répulsives

Venter *et al.* (2011) ont évalué l'efficacité répulsive d'un mélange d'acides gras (acides octanoïque, nonanoïque et décanoïque) dans de l'huile minérale sur des *Culicoides*. Le mélange d'acides gras a été appliqué sur un tissu de maille de polyester entourant des pièges lumineux et comparé à des pièges lumineux entouré de tissu polyester non traités. Le nombre total de *Culicoides* collecté fut significativement inférieur dans les pièges traités que dans les pièges non traités, en particulier pour *C. imicola*, espèce majoritairement retrouvée dans l'ensemble des pièges. Les auteurs concluent que l'utilisation de répulsifs directement sur les animaux ou sur les bâtiments d'élevage pourrait être intéressante à intégrer dans un dispositif de lutte intégrée. Il convient toutefois de souligner qu'en termes de rémanence, l'efficacité de ce type de dispositif n'a été étudiée que trois jours après l'imprégnation. Son efficacité n'a pas non plus été évaluée en application directe sur les animaux. Dans ce dernier cas de figure, les mélanges naturels d'acides gras pourraient interagir en termes d'effets attractifs et répulsifs avec les acides gras utilisés et modifier ainsi leurs propriétés attractives et répulsives.

Une étude du même type a été publiée par Page *et al.* (2009) sur l'efficacité du DEET (15 %), de la citronnelle (0,6 %) et de la α -cyano-cyperméthrine (0,3 %) comme répulsifs, appliqués sur le filet des pièges lumineux, en vue d'une utilisation comme écran imprégné pour limiter l'entrée de *Culicoides* à l'intérieur des bâtiments. Seuls les pièges imprégnés de DEET capturent moins de *Culicoides* que les pièges témoins. Il est à noter que les filets sont changés chaque jour, ce qui ne permet pas d'estimer l'efficacité à plus long terme.

Essai de champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes sont des outils de lutte anti-vectoriels, dont les effets sont particulièrement étudiés sur les moustiques (Bukhari *et al.* 2011 ; Farenhorst *et al.* 2011). Différents champignons entomo-pathogènes ont été testés sur des larves de

C. nubeculosus (Ansari *et al.* 2010). L'étude a montré que parmi les 18 différentes souches de champignons testées, les souches de *Metarhizium anisopliae* présentent une virulence importante contre *C. nubeculosus*. Les mécanismes de pathogénicité restent inconnus. Le recours à de tels pathogènes pourrait cependant constituer une piste intéressante en matière de lutte anti-larvaire. Toutefois, il est nécessaire de développer certaines connaissances comme, en particulier, l'évaluation des impacts non-intentionnels ainsi qu'une évaluation de l'efficacité des champignons en fonction du substrat des gîtes larvaires. Ansari *et al.* (2011) ont testé l'efficacité de ces champignons entomopathogènes sur des adultes *C. nubeculosus* (élevage), dans un premier temps en laboratoire, puis en serre sur différents substrats. L'espèce la plus virulente lors de la première expérience était *Metarhizium anisopliae* (100 % de mortalité en 4 jours). Concernant l'essai en serre, l'efficacité est dose-dépendante. Tous les individus ayant survécu après 6 jours d'exposition étaient infectés, ce qui suggère qu'ils étaient en début d'infection ainsi que la possibilité d'une transmission horizontale (déjà démontré chez *Anopheles gambiae*). Il reste à savoir si les conidies, sensibles aux UV, gardent leur virulence une fois appliquées, et quel serait l'impact d'une application à grande échelle sur l'entomofaune non-cible.

2.4. Conclusions

Présence et distribution des vecteurs. L'établissement de la liste des espèces présentes et le recensement des sites de repos et des gîtes larvaires dans tous les élevages suspectés d'être infectés par le virus de la FCM n'a qu'un **intérêt limité** en termes d'évaluation du risque et encore plus réduit en termes de gestion du risque. De plus, il se heurte à l'**impossibilité opérationnelle actuelle** de les réaliser.

En revanche, la capture de *Culicoides* dans des contextes particuliers en vue d'une recherche de virus a un intérêt évident pour l'**identification des espèces vectrices** du virus de la FCM ou du virus de Schmallenberg. Elle ne peut être réalisée actuellement que par des laboratoires compétents pour les *Culicoides*. Pour rendre cette opération autonome et efficace, l'idéal serait d'instituer un **référént technique** formé aux techniques entomologiques dans chaque département ou région.

Par ailleurs, la caractérisation des gîtes larvaires est une action de recherche à encourager pour, à terme, envisager des mesures de lutte efficaces.

Confinement des animaux. Il semble que le **degré d'endophagie varie fortement selon les espèces**, les *Culicoides* étant majoritairement exophages, certains strictement comme *C. brunnicans*. D'autres comme *C. obsoletus*, en revanche, sont capables de rentrer dans les bâtiments lorsque des animaux sont présents à l'intérieur, d'autant plus que le bâtiment est largement ouvert, et plus à l'automne que pendant l'été (probablement parce que les conditions environnementales sont alors moins différentes entre intérieur et extérieur). Par ailleurs, **si les *Culicoides* sont majoritairement actifs au coucher du soleil, ils peuvent présenter aussi d'autres périodes d'activité.**

Il est donc **difficile d'évaluer l'efficacité des mesures de confinement.** Elles pourraient présenter une certaine pertinence lorsqu'il s'agit de protéger de l'infection certains animaux de grande valeur (d'autres étant toujours présents à l'extérieur), en particulier en période chaude, quand l'exophagie des *Culicoides* est plus marquée. La protection sera d'autant plus efficace que les ouvertures du bâtiment sont limitées et sont équipées de moustiquaires,

d'autant plus si elles sont imprégnées, en veillant toutefois à ce que la circulation d'air soit suffisante pour le confort des animaux placés à l'intérieur.

Le traitement insecticide des animaux, bâtiments et véhicules de transport.

Aucune donnée considérée dans le cadre de ce document n'est de nature à modifier les conclusions précédentes concernant les traitements insecticides.

En l'état actuel des connaissances sur les gîtes larvaires ou sur les sites de repos des *Culicoides*, **aucun traitement insecticide (anti-larvaire ou anti-adulte) dans l'environnement**, même aux abords des bâtiments, ne doit être encouragé étant donné l'impact environnemental.

Il n'existe **pas de données permettant de juger de l'efficacité de traitements insecticides des bâtiments ou des véhicules de transport**. Dans ce contexte, le seul intérêt pourrait être de traiter les moyens de transport allant d'une zone infectée vers une zone indemne pour éviter un transport passif de *Culicoides* infectés. L'Organisation mondiale de la santé a publié un guide des procédures d'évaluation de l'efficacité des insecticides pour démoustiquer les avions (OMS 2012). Ce document pourrait servir de base à l'étude de l'efficacité des traitements insecticides des bâtiments ou des véhicules de transport.

Les données publiées sur le traitement insecticide des animaux montrent que le traitement permet vraisemblablement i) de diminuer le taux d'attaque et le taux de gorgement (un animal traité sera moins piqué) et ii) d'infliger une surmortalité aux *Culicoides* venus au contact de l'animal traité. Néanmoins, on constate une efficacité très variable en fonction de la zone de l'animal considérée et de courte durée dans le temps, bien que cette durée n'ait pas été évaluée précisément. Ces limites semblent principalement dues à la diffusion et à la rémanence du produit sur l'ensemble du corps de l'animal, plutôt qu'à un manque d'efficacité intrinsèque des substances actives. On peut affirmer que **les traitements insecticides des animaux n'offrent pas une protection à 100 % efficace contre la piqûre des *Culicoides***, mais qu'ils doivent en théorie diminuer l'intensité de la transmission, sans que l'on sache à quel degré. De plus, nous ne disposons pas de données sur le rôle de ces traitements insecticides sur la sélection éventuelle de mécanismes de résistance chez les *Culicoides*. Il est certain que les produits insecticides utilisés peuvent être retrouvés dans l'environnement entraînant un impact sur la faune non-cible (Gassner *et al.* 1997). Les coléoptères coprophages sont particulièrement sensibles aux résidus d'insecticides, dont les pyréthriinoïdes. En particulier, les formulations *pour-on* de pyréthriinoïdes conduisent à des concentrations élevées dans les fèces. Ces concentrations sont beaucoup plus importantes que dans le cadre de traitements à base de pulvérisation. Ainsi, les quantités d'insecticides éliminées dans les fèces se retrouvent à des concentrations suffisantes pour perturber le développement des insectes coprophages pendant des durées de une à deux semaines après les applications de produits insecticides (Wardhaugh 2005). Dans ce contexte, un traitement insecticide préventif et généralisé des animaux ne doit pas être préconisé. Toutefois, un recours à une lutte intégrée associant différentes mesures de lutte (traitement des animaux, confinement, utilisation de barrières physiques imprégnées d'insecticides) peut réduire le contact hôte/vecteur et pourrait être recommandé en l'absence de vaccin dans certaines conditions (apparition d'un sérotype exotique, premiers foyers de résurgence de FCM ou de Schmollenberg). La préconisation de l'emploi d'insecticides doit être mise en balance avec de possibles impacts sur la faune non-cible. En cas d'utilisation de pyréthriinoïdes et afin de limiter les impacts sur la faune coprophage, il pourrait être conseillé de conserver les animaux à l'étable pendant 5 jours après les traitements, durée pendant laquelle le risque

éco-toxicologique est maximum (Virlovet 2003). Par ailleurs, les habitats larvaires de ces espèces étant associés à de la matière organique d'origine animale, la bonne gestion des effluents d'élevage, en particulier le nettoyage régulier des bâtiments et l'élimination fréquente du fumier, ne peut avoir qu'un impact positif dans la limitation de la prolifération des espèces de *Culicoides* dans l'élevage.

3. Axes de recherches à développer

Ont été reprises ici les actions de recherche à développer pour améliorer la surveillance et la lutte contre les *Culicoides*, en indiquant leur caractère prioritaire ou à plus long terme.

3.1. En matière de surveillance

Objectif : Améliorer et optimiser la méthodologie de piégeage et l'identification des prélèvements du réseau de surveillance des populations de *Culicoides*

Action de recherche prioritaire : analyse statistique des données disponibles de la surveillance sur 3 années consécutives pour comprendre la représentation et la structure spatiale des 160 pièges pour différentes espèces d'intérêt

Autres actions de recherche à développer :

- analyse statistique des données disponibles de la surveillance pour valider la définition de l'inactivité des populations de *Culicoides*
- étude de la relation entre le nombre de *Culicoides* capturés dans le piège lumineux standard (OVI) utilisé en routine en surveillance et la taille de la population de *Culicoides* présente dans le voisinage ou le taux de piqûre ; nouveaux pièges pour les espèces sous-estimées
- développement et validation d'un protocole de sous-échantillonnage pour les prélèvements abondants

Objectif : Faire la diagnose des espèces de *Culicoides*

Axe de recherche prioritaire : taxonomie intégrative du genre *Culicoides* en région paléarctique

Actions de recherche prioritaires :

- maintien de l'expertise et de la formation
- développement et actualisation des outils d'aide à l'identification morphologique pour la faune paléarctique et afrotropicale (clés d'identification interactives)
- développement et validation de méthodes d'identification moléculaire qualitative ou quantitative pour les groupes ou complexes d'espèces d'intérêt
- approche de taxonomie intégrative (morphologie/morphométrie et moléculaire) pour une meilleure délimitation des unités systématiques et une clarification des statuts spécifiques

Objectif : Identifier les espèces de *Culicoides* vectrices d'*Orbivirus* (virus de la FCM) et d'*Orthobunyavirus* (virus Schmallenberg)

Axe de recherche prioritaire : étude de la biologie de l'adaptation et de la compétence vectorielle des espèces paléarctiques d'intérêt en santé animale

Actions de recherches prioritaires :

- optimisation des protocoles d'élevage et de gorgement sur systèmes artificiels pour les espèces paléarctiques

- étude de la compétence vectorielle des espèces paléarctiques d'intérêt en santé animale avec i) étude de l'efficacité des couples « sérotypes viraux/populations géographiques » pour différentes conditions environnementales (notamment de température) pour les *Orbivirus* et ii) confirmation du rôle vecteur des *Culicoides* pour les *Orthobunyavirus*
- recherche du génome viral du virus de Schmallerberg à partir d'individus *Culicoides* capturés sur le terrain lors de prospections entomologiques dans des élevages infectés ou *a posteriori* dans les collections de *Culicoides* de la surveillance

Autres actions de recherches à développer :

- analyse expérimentale des traits d'histoire de vie et des normes de réaction pour *C. nubeculosus* (espèce de référence, en élevage au Cirad à Montpellier) et analyse *in natura* des traits d'histoire de vie des espèces paléarctiques d'intérêt

Objectif : Comprendre les interactions hôte/vecteur/environnement

Axe de recherche prioritaire : biologie et écologie des systèmes vectoriels en région paléarctique

Actions de recherches prioritaires :

- étude des mécanismes d'*overwintering* des espèces paléarctiques d'intérêt (notamment détermination des stades gonotrophiques de femelles hivernantes)

Autres actions de recherches à développer :

- étude du comportement trophique (choix de l'hôte, sites d'attaque), du comportement de repos, et du rythme nyctéméral et de leurs dynamiques pour les espèces paléarctiques d'intérêt
- analyse du contact hôte/*Culicoides* et de la capacité vectorielle dans différents environnements

Objectif : Comprendre les mécanismes de dispersion

Axe de recherche prioritaire : étude de la structuration de la diversité et des mécanismes d'introduction et de colonisation de nouveaux territoires par des espèces de *Culicoides*

Actions de recherches prioritaires :

- développement d'outils moléculaires pour l'analyse fine de la structuration et de la démographie des espèces paléarctiques (microsatellites)
- étude de la structuration et des scénarios d'invasion de *C. imicola* en Europe méditerranéenne

Objectif : Comprendre le fonctionnement des systèmes vectoriels pour mieux prédire

Axe de recherche prioritaire : modélisation de la distribution spatiale et temporelle des espèces de *Culicoides*

Actions de recherches prioritaires :

- modélisation de la distribution spatiale actuelle des espèces d'intérêt et de la niche potentielle future en lien avec les changements globaux
- compréhension des facteurs influant sur la très forte hétérogénéité spatiale et temporelle des abondances de *Culicoides* capturés

- modélisation des dynamiques des systèmes vectoriels, et notamment des conditions de survenue des pics d'abondance et des périodes d'inactivité vectorielle
- lien entre la distribution spatio-temporelle des *Culicoides* et la distribution et dynamique épidémiologique des maladies infectieuses qu'ils transmettent

Note : ces dernières actions de modélisation sont obligatoirement dépendantes des actions de recherche précédentes.

3.2. En matière de lutte anti-vectorielle

Objectif : Lutter efficacement contre les stades adultes de *Culicoides* en limitant l'impact sur l'environnement

Axe de recherche prioritaire : évaluation de l'efficacité des mesures de lutte adulticide et de leurs impacts sur la faune non cible

Actions de recherches prioritaires :

- analyse de la sensibilité intrinsèque des espèces de *Culicoides* d'intérêt aux matières actives insecticides
- étude de l'efficacité et de la rémanence au laboratoire et sur le terrain des formulations insecticides et répulsives autorisées en Europe et des supports imprégnés d'insecticide (bâches ou tulles moustiquaires) contre les espèces de *Culicoides* d'intérêt
- analyse des pratiques des éleveurs en matière de lutte insecticide et évaluation de leurs conséquences sur l'environnement et la faune non-cible

Autres action de recherche à développer :

- développement de stratégies innovantes en matière de lutte anti-vectorielle

Objectif : Lutter efficacement contre les stades immatures de *Culicoides* en limitant l'impact sur l'environnement

Axe de recherche prioritaire : étude et caractérisation de l'écologie larvaire des espèces paléarctiques d'intérêt

Action de recherches prioritaire :

- caractérisation écologique et physico-chimique des sites d'oviposition et des habitats larvaires

Autres action de recherche à développer :

- analyse de la sensibilité intrinsèque des larves des différentes espèces de *Culicoides* d'intérêt aux matières actives insecticides chimiques et biologiques
- étude de l'efficacité et de la rémanence au laboratoire et sur le terrain des formulations insecticides dans les substrats colonisés par les larves de *Culicoides*

Références

- AFSSA (2009). Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments sur l'intérêt de la mise en œuvre des mesures de désinsectisation dans le protocole de lutte contre la fièvre catarrhale ovine. Saisine n°2009-0086.
- Ansari MA, Carpenter S, Butt TM (2010). Susceptibility of *Culicoides* biting midge larvae to the insect-pathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*: prospects for bluetongue vector control. *Acta Tropica* 113(1):1-6.
- Ansari MA, Pope EC, Carpenter S, Scholte E-J, Butt TM (2011). Entomopathogenic fungus as biological control for an important vector of livestock disease: the *Culicoides* biting midge. *PloS one* 6(1) :e16108.
- Baldet T, Delécolle JC, Cêtre-Sossah C, Mathieu B, Meiswinkel R, Gerbier G (2008). Indoor activity of *Culicoides* associated with livestock in the bluetongue virus (BTV) affected region of northern France during autumn 2006. *Preventive Veterinary Medicine* 87: 84–97.
- Bauer B, Jandowsky A, Schein E, Mehlitz D, Clausen PH (2009). An appraisal of current and new techniques intended to protect bulls against *Culicoides* and other haematophagous nematocera: the case of Schmergow, Brandenburg, Germany. *Parasitology Research*, 105(2):359-365.
- Baylis M, Parkin H, Kreppel K, Carpenter S, Mellor PS, McIntyre KM (2010). Evaluation of housing as a means to protect cattle from *Culicoides* biting midges, the vectors of bluetongue virus. *Medical and Veterinary Entomology*, 24(1):38-45.
- Boorman J & Goddard P (1970). *Culicoides* Latreille (Diptera, Ceratopogonidae) from Pirbright, Surrey. *Entomologist's Gazette* 21:205–16
- Bukhari T, Takken W, Koenraadt CJM (2011). Development of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* formulations for control of malaria mosquito larvae. *Parasites & Vectors*, 4(23)
- Buxton PA (1960). British Diptera Associated with Fungi. 3. Flies of All Families Reared from about 150 Species of Fungi. *Entomologist's Monthly Magazine*, 96:61–91
- Calvete C, Estrada R, Miranda MA, Del Rio R, Borrás D, Beldron FJ, Martínez A, Calvo AJ, Lucientes J (2009). Entry of bluetongue vector *Culicoides imicola* into livestock premises in Spain. *Medical and Veterinary Entomology*, 23(3):202-8
- Calvete C, Estrada R, Miranda MA, Del Rio R, Borrás D, Beldron FJ, Martínez A, Calvo AJ, Lucientes J (2010). Protection of livestock against bluetongue virus vector *Culicoides imicola* using insecticide-treated netting in open areas. *Medical Veterinary Entomology*, 24: 169–175.
- Campbell JA, Pelham-Clinton EC (1960). A taxonomic review of the British Species of *Culicoides* Latreille. *Proceedings of the Royal Society of Edinburg*, 67:181–302.
- Conte A, Ippoliti C, Savini L, Goffredo M, Meiswinkel R (2007). Novel environmental factors influencing the distribution and abundance of *Culicoides imicola* and the *Obsoletus* Complex in Italy. *Veterinaria Italiana*, 43 (3): 571-580.

- Chaker E (1983). Contribution à l'étude de la morphologie et de la diagnose des larves de *Culicoides* (Diptera, Ceratopogonidae). Thèse de Doctorat es Sciences Pharmaceutiques (Diplôme d'Etat), U.L.P., n°56, 229 p.
- Dzhafarov SM (2004). Blood-sucking Midges (Diptera, Heleidae) of the Transcaucasus. Akademija Nauk Azerbaidzanskoi SSR, Instituta Zoologicheskij. 414 p.
- EFSA (2007). Scientific Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on request from the European Commission on bluetongue vectors and vaccines. Bluetongue vectors and vaccines. The EFSA Journal, 479: 1-29.
- EFSA (2008). Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission (DG SANCO) on Bluetongue. The EFSA Journal, 735: 1-69.
- Farenhorst M, Hilhorst A, Thomas MB, Knols BGJ (2011). Development of fungal applications on netting substrates for malaria vector control. Journal of medical entomology, 48(2): 305-313.
- Gassner B, Wüthrich A, Lis J (1997). Topical application of synthetic pyrethroids to cattle as a source of persistent environmental contamination. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 32(5):729-739.
- Griffioen K, van Gemst DBJ, Pieterse MC, Jacobs F, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM (2010). *Culicoides* species associated with sheep in The Netherlands and the effect of a permethrin insecticide. Veterinary Journal 190(2): 230-235.
- Jamnback H, Wirth WW (1963). The Species of *Culicoides* Related to *obsoletus* in Eastern North America (Diptera: Ceratopogonidae). Annals of the Entomological Society America, 56 (2): 185-198
- Meiswinkel R, Baylis M, Labuschagne K (2000). Stabling and the protection of horses from *Culicoides bolitinos* (Diptera: Ceratopogonidae), a recently identified vector of African horse sickness. Bulletin of Entomological Research, 90: 509-515
- Meiswinkel R, Goffredo M, Dijkstra EG, van der Ven IJ, Baldet T, Elbers A (2008). Endophily in *Culicoides* associated with BTV-infected cattle in the province of Limburg, south-eastern Netherlands, 2006. Preventive Veterinary Medicine, 87(1-2):182-95.
- Mellor PS, Pitzolis G (1979). Observations on breeding sites and lighttrap collections of *Culicoides* during an outbreak of bluetongue in Cyprus. Bulletin of Entomological Research, 69(2):229-234
- Mullens BA, Gerry AC, Sarto I, Monteys V, Pinna M, González A (2010). Field studies on *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) activity and response to deltamethrin applications to sheep in northeastern Spain. Journal of Medical Entomology 47(1): 106-110.
- Ninio C, Augot D, Dufour B, Depaquit J (2011). Emergence of *Culicoides obsoletus* from indoor and outdoor breeding sites. Veterinary Parasitology, 183:125-129.
- Organisation mondiale de la santé (2012). Guidelines for testing the efficacy of insecticide products used in aircraft. World Health Organization. 27 p.
- Page PC, Labuschagne K, Nurton JP, Venter GJ, Guthrie AJ (2009). Duration of repellency of N,N-diethyl-3-methylbenzamide, citronella oil and cypermethrin against *Culicoides* species when applied to polyester mesh. Veterinary Parasitology, 163: 105-109.

- Papadopoulos E, Bartram D, Carpenter S, Mellor P, Wall R (2009). Efficacy of alphacypermethrin applied to cattle and sheep against the biting midge *Culicoides nubeculosus*. *Veterinary Parasitology*, 163:110-114.
- Papadopoulos E, Rowlinson M, Bartram D, Carpenter S, Mellor P, et al. (2010). Treatment of horses with cypermethrin against the biting flies *Culicoides nubeculosus*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Veterinary Parasitology*, 169:165–171.
- Reeves WK, Lloyd JE, Stobart R, Stith C, Miller MM, Bennett KE, Johnson G (2010). Control of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) blood feeding on sheep with long-lasting repellent pesticides. *Journal American Mosquito Control Association*, 26:302–305.
- Satta G, Goffredo M, Sanna S, Vento L, Cubeddu GP, Mascherpa E (2004). Field disinfestations trials against *Culicoides* in north-west Sardinia. *Veterinaria italiana*, 40(3):32-35.
- Schmahl, G., Klimpel, S., Walldorf, V., Al-Quraishy, S., Schumacher, B., Jatzlau, A., & Mehlhorn, H. (2009). Pilot study on deltamethrin treatment (Butox 7.5, Versatrine) of cattle and sheep against midges (*Culicoides* species, Ceratopogonidae). *Parasitology Research*, 104(4).
- Schmahl G, Mehlhorn H, Abdel-Ghaffar F, Al-Rasheid K, Schumacher B, Jatzlau A, Pohle H. (2009). Does rain reduce the efficacy of Butox 7.5 pour on (deltamethrin) against biting midges (*Culicoides* specimens)? *Parasitology Research*, 105(6):1763-1765.
- Venail R, Mathieu B, Setier-Rio M-L, Borba C, Alexandre M, et al. (2011). Laboratory and field-based tests of deltamethrin insecticides against adult *Culicoides* biting midges. *Journal Medical Entomology*, 48 (2): 351–357.
- Venter GJ, Labuschagne K, Boikanyo SNB, Morey L, Snyman MG (2011). The repellent effect of organic fatty acids on *Culicoides* midges as determined with suction light traps in South Africa. *Veterinary Parasitology* 181: 365–369.
- Viennet E (2011). Insectes et maladies émergentes : Contact hôte/*Culicoides* en région Paléarctique et leurs implications dans la transmission de la fièvre catarrhale ovine. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II. 177 p.
- Virlouvet G (2003). Etude de l'élimination fécale et urinaire de la cyperméthrine chez les bovins - impact écotoxicologique sur les coléoptères coprophages. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, 74 p.
- Wardhaugh K (2005). Insecticidal Activity of Synthetic Pyrethroids, Organophosphates, Insect Growth Regulators, and other Livestock Parasiticides: an Australian Perspective. *Environmental Toxicology Chemistry*, 24(4):789-96.
- Weinburgh B, Pratt HD (1962). *Culicoides*, Public Health Importance, Biology, Survey, and Control, US Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Communicable Disease Center, Atlanta, Georgia, 17 pp.
- Zimmer J-Y, Haubruge E, Francis F, Bortels J, Simonon G, Losson B, Mignon B, Paternostre J, De Deken R, De Deken G, Deblauwe I, Fassotte C, Cors R, Defrance T (2008). Breeding sites of bluetongue vectors in northern Europe. *Veterinary Record*, 162:131.
- Zimmer J.Y., Saegerman C, Losson B, and Haubruge E (2010). Breeding sites of bluetongue virus vectors in cowshed, Belgium. *Emerging Infectious Diseases*, 16:575–576.

