

Comparaison des populations de *Culicoides* Latreille 1809 (Diptera : Ceratopogonidae) présentes au sein d'une bergerie belge et d'une prairie ovine associée

Jean-Yves Zimmer^{a*}, Bertrand Losson^b, Claude Saegerman^c, Nathalie Kirschvink^d, Eric Haubruge^a & Frédéric Francis^a

^aUnité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive, Département des Sciences agronomiques, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Passage des Déportés 2, B-5030 Gembloux, Belgique; ^bLaboratoire de Parasitologie et Maladies parasitaires, Département des Maladies infectieuses et parasitaires, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Boulevard de Colonster 20, B-4000 Liège, Belgique; ^cUnité de recherche en Epidémiologie et Analyse de Risques appliqués aux Sciences vétérinaires, Département des Maladies infectieuses et parasitaires, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Boulevard de Colonster 20, B-4000 Liège, Belgique; ^dDépartement de Médecine vétérinaire, Faculté des Sciences, Université de Namur, Rue de Bruxelles 61, B-5000 Namur, Belgique

(Accepté le 27 janvier 2014)

Summary. Comparison of *Culicoides* Latreille 1809 populations (Diptera: Ceratopogonidae) present inside a Belgian sheepfold and a nearby sheep meadow. *Culicoides* biting midges (Diptera: Ceratopogonidae) serve as biological vectors for several pathogens, including the Bluetongue virus and the recently described Schmollenberg virus in northern Europe. These diseases have caused considerable direct and indirect economic losses to the sheep and cattle industries. This study undertaken between August and December 2007 on a sheep farm in the Namur province (Belgium) aims to evaluate *Culicoides* populations present inside a partially opened sheepfold and in a nearby sheep meadow, using light traps. The comparative analysis of insects trapped at 18 dates at regular intervals showed that *Culicoides* were most abundant inside this livestock building (17,450 midges) than in surrounding meadow (1,121 midges); this meadow had however a greater species diversity. The two species *C. obsoletus* and *C. scoticus* constituting the *Obsoletus* complex predominated for all trappings and females were much more numerous than males. Important capture of engorged females of the *Obsoletus* complex inside the sheepfold seems to reflect the possibility of an opportunistic endophagous behavior. Maintaining sheep inside livestock buildings in order to reduce the risk of *Culicoides* bites – and thus of pathogens transmission – however requires to limit biting midge populations which are likely to enter or to develop inside these buildings. Implementation of effective sanitation and hygiene measures against midges present inside farms, as well as establishing of measures to protect livestock against intrusion and improvement of “midge-proofing” of animal housing are therefore highly recommended.

Résumé. Les moucheron piqueurs du genre *Culicoides* (Diptera : Ceratopogonidae) sont les vecteurs biologiques de nombreux agents pathogènes, dont les virus de la fièvre catarrhale ovine et de Schmollenberg, récemment décrits en Europe du Nord. Ces maladies ont engendré des pertes économiques considérables dans les cheptels ovin et bovin. Cette étude, entreprise d'août à décembre 2007 au sein d'une exploitation ovine de la province de Namur (Belgique), vise à évaluer, au moyen de pièges lumineux, les populations de *Culicoides* présentes à l'intérieur d'une bergerie partiellement ouverte et au sein d'une pâture ovine avoisinante. L'analyse comparative des insectes capturés à 18 dates à intervalles réguliers montre que les culicoïdes sont plus abondants à l'intérieur du bâtiment d'élevage (17.450 individus) que dans la prairie voisine (1.121 individus); celle-ci présente toutefois une plus grande diversité spécifique. Les deux espèces *C. obsoletus* et *C. scoticus* constituant le complexe *Obsoletus* sont majoritaires pour l'ensemble des piégeages et les femelles se montrent bien plus nombreuses que les mâles. L'importante capture de femelles gorgées de sang (complexe *Obsoletus*) à l'intérieur de la bergerie traduit la possibilité d'un comportement endophage opportuniste. Le maintien des ovins préconisé à l'intérieur des bâtiments d'élevage afin de réduire les risques de piqûres de culicoïdes – et de ce fait de transmission de pathogènes – nécessite dès lors de limiter les populations de moucheron piqueurs susceptibles d'y entrer ou de s'y développer. Ainsi la mise en place de mesures d'assainissement et d'hygiène efficaces contre les culicoïdes au sein des exploitations agricoles, ainsi que l'instauration de mesures de protection contre l'intrusion et l'amélioration de l'étanchéité des bâtiments d'élevage sont hautement recommandées.

Keywords: Bluetongue; sheepfold; sheep meadow; UV light trap; *Culicoides*

Introduction

La fièvre catarrhale ovine (FCO ou Bluetongue) est une maladie vectorielle non contagieuse, affectant les ruminants domestiques ou sauvages, et décrite pour la

première fois en Afrique du Sud (Anonyme 1876; Erasmus 1985; Gorman 1990). Le sérotype 8 du virus de la FCO a été signalé en Europe du Nord en août 2006 (Thiry et al. 2006). Cette épizootie virale s'est alors propagée à travers l'Europe (Saegerman et al. 2008b), en

*Auteur pour la correspondance. Email: Jean-Yves.Zimmer@ulg.ac.be ; entomologie.gembloux@ulg.ac.be

engendrant des pertes économiques considérables dans les cheptels ovin et bovin (World Organisation for Animal Health 2006; Saegerman et al. 2008b; Velthuis et al. 2010). Fin 2011, un nouveau virus animal (SBV = Schmallenberg virus) a également été identifié dans cette partie du continent (Hoffmann et al. 2012). Les vecteurs biologiques de ces deux virus sont des diptères hématophages appartenant au genre *Culicoides* Latreille 1809 (Diptera: Ceratopogonidae) (Du Toit 1944; De Regge et al. 2012; Rasmussen et al. 2012; Veronesi et al. 2013). Ce genre compte environ 1.400 espèces de moucheron (Borkent 2012), d'une taille comprise entre 1 et 4 mm, dont la plupart sont crépusculaires à nocturnes. Seules quelques espèces semblent toutefois impliquées dans la transmission de ces virus, dont une trentaine pour le virus de la FCO (Mellor 1990; Mellor et al. 2000; Caracappa et al. 2003; Meiswinkel et al. 2004; Mehlhorn et al. 2007; Meiswinkel et al. 2007; Balenghien et al. 2008; Carpenter et al. 2008a; Dijkstra et al. 2008; Meiswinkel et al. 2008a; Saegerman et al. 2008a; Hoffmann et al. 2009; Vanbinst et al. 2009). Les culicoïdes constituent aussi une source de nuisance pour l'homme, suite au désagrément causé par les piqûres des moucheron femelles. Leur présence peut par conséquent gêner l'essor économique de certaines régions, en entravant les activités agricoles et forestières ainsi que le développement du tourisme (Hendry & Godwin 1988). La plupart des espèces de culicoïdes présentent deux générations par an : une principale au printemps et une de moindre importance en été (Rieb 1982).

Depuis le déclenchement de ces épizooties, plusieurs campagnes de piégeage de culicoïdes adultes ont été réalisées au sein d'exploitations agricoles. La plupart de ces études concernent les moucheron piqueurs présents au sein des fermes ou directement à l'intérieur des bâtiments d'élevage. Sur le territoire belge, nombre d'entre elles se sont intéressées aux exploitations bovines, tel que le programme de surveillance entomologique entrepris entre 2007 et 2012 par l'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire. Peu d'études belges ont donc traité de piégeages de culicoïdes adultes entrepris à l'écart des fermes, au sein de paysages environnants (Zimmer et al. 2009; Rigot et al. 2013; Zimmer et al. 2013b) ou au sein d'autres types d'exploitations animales. L'une de ces études réalisée en 2007 en exploitation bovine (Zimmer et al. 2009) avait permis d'observer un plus grand nombre de culicoïdes au sein de l'étable ouverte qu'au niveau de la pâture voisine, la diversité spécifique étant toutefois plus élevée en prairie.

La présente étude vise à comparer les populations des différentes espèces de *Culicoides* présentes à l'intérieur d'une bergerie belge partiellement ouverte avec celles d'une pâture ovine avoisinante. Une discussion traitant du comportement alimentaire hématophage des culicoïdes femelles est ensuite réalisée, sur base de l'observation de leur statut physiologique. Une critique de la stabulation de nuit du bétail, recommandée par les

autorités compétentes et certains auteurs comme mesure de protection contre les piqûres, clôture cette étude.

Matériel et méthodes

Sites d'étude

Cette étude a été entreprise en 2007 dans la province de Namur (Belgique) au sein de l'exploitation du Centre de Recherche Ovine (CRO) localisée à Faulx-les-Tombes [50°26'N 5°01'E], dans laquelle des cas de FCO ont été signalés sur moutons dès le début de l'épizootie. Le CRO – attaché à l'Université de Namur – comporte cinq bergeries, deux maternités, une infirmerie et 55 ha de prairies. Le cheptel comptait alors 390 brebis et une dizaine de béliers ; la production annuelle d'agneaux était de l'ordre de 500 animaux destinés à la boucherie ou à l'élevage. Deux sites sont considérés dans cette exploitation : une bergerie et une prairie distante d'environ 1.000 m, les deux étant séparés par une forêt de feuillus. La bergerie correspond à un bâtiment de 15 m de longueur sur 6 m de largeur destiné à la stabulation, et longé par un couloir de passage bétonné de 1,5 m de largeur ; de la terre battue couvre les zones de stabulation. Ce bâtiment présente une exposition Est-Ouest et est situé au pied d'un talus, lui assurant un faible ensoleillement. Un auvent muni d'un filet coupe-vent est présent aux extrémités Est et Ouest, de même que deux portes d'environ 4 m² ; ce bâtiment est par conséquent bien ventilé. L'éclairage de cette bergerie est assuré par la lumière naturelle et des néons. Les ovins se trouvant dans ce bâtiment sont destinés à l'engraissement ; leur nombre varie donc régulièrement, avec un maximum de 60 individus observés durant la période d'étude. La litière est constituée de paille et les animaux disposent d'abreuvoirs automatiques, excluant ainsi la présence d'eau stagnante dans la bergerie. La prairie sélectionnée entourée de zones boisées occupe une surface d'environ 10 ha et présente une pente de 15% orientation Sud ; un nombre variable de moutons y pâturent, avec un maximum de 88 individus durant la période d'étude. Les moutons présents au sein de la bergerie et de la prairie ovine sont comptabilisés lors de chaque piégeage.

Piégeages lumineux

Les culicoïdes ont été capturés au moyen de pièges lumineux de type « OVI » (Onderstepoort Veterinary Institute). Ces pièges sont munis d'un tube ultraviolet d'une puissance de 8 W responsable de l'attraction lumineuse, d'un filet présentant des mailles de 5 × 5 mm permettant exclusivement le passage des insectes de petites dimensions, et d'une hélice en mouvement qui les dirige dans un flacon collecteur contenant environ 300 ml d'un mélange d'eau et de détergent. Dans le cadre de cette étude, deux pièges OVI sont disposés à l'intérieur du bâtiment et au sein de la pâture, à raison d'un piège par site. Ceux-ci sont relevés une fois par semaine après une nuit de fonctionnement, de mi-août à mi-décembre, soit un total de 18 piégeages par site. Les pièges sont suspendus à 1,5 m de hauteur, à 17 h et récoltés à 9 h le lendemain matin. Les températures nocturnes minimales et maximales de piégeage sont relevées au moyen d'un thermomètre numérique.

Traitement des échantillons et analyse

Les échantillons collectés sont tout d'abord filtrés et placés dans une solution d'alcool à 80%, puis triés sous loupe binoculaire (grossissement de 10x à 40x) afin d'en extraire les individus du genre *Culicoides*, sur base des taches de leurs ailes et de leur

morphologie générale. Ces derniers sont ensuite sexés, dénombrés et finalement identifiés sous loupe binoculaire – voire sous microscope (grossissement de 100x à 400x) après un montage entre lame et lamelle si nécessaire – jusqu'à l'espèce sur base morphologique, au moyen de la clé de détermination de Delécolle (1985). Les femelles des espèces *Culicoides obsoletus* (Meigen 1818) et *Culicoides scoticus* Downes & Kettle 1952 étant morphologiquement difficiles à différencier, elles sont toutefois réunies au sein du complexe *Obsoletus*. La détermination du statut physiologique des femelles via l'observation de leur pigmentation abdominale (Dyce 1969) complète cette étude, en tenant compte de la recommandation d'Harrup et al. (2013) préconisant l'utilisation des termes « non-pigmenté » et « pigmenté » au lieu de « nullipare » et « pare ». On distingue ainsi les femelles présentant un abdomen vide non-pigmenté ou pigmenté, celles qui se sont récemment nourries et dont l'abdomen est de ce fait gorgé de sang (abdomen rouge et enflé), celles présentant simultanément du sang et des œufs dans leur abdomen et enfin les femelles gravides (abdomen présentant des œufs). Signalons que certains spécimens peuvent également être parasités par un nématode ou endommagés.

Les coefficients de corrélation de Pearson reliant les captures de culicoïdes aux températures extrêmes (minimale et maximale), ainsi que les captures de culicoïdes aux nombres d'ovins observés, sont calculés via Minitab[®] 15 (2006), tant pour la bergerie que pour la prairie ovine. Un test d'homogénéité du khi-carré est réalisé entre les catégories de statut physiologique des culicoïdes capturés et la localisation du piège (bergerie et prairie). La limite de signification statistique des tests a été définie comme $P \leq 0,05$.

Résultats

Les résultats des captures de culicoïdes réalisées au sein de l'exploitation ovine (bâtiment et prairie) sont consignés dans les *tab. 1–2*, parallèlement au nombre de moutons présents. Ces captures peuvent être mises en relation avec les températures minimales et maximales relevées durant les nuits correspondantes (*fig. 1*). L'examen de ces tableaux montre que les culicoïdes adultes sont beaucoup plus abondants à l'intérieur de la bergerie que dans la prairie, avec un effectif total 16 fois plus important : les captures s'élèvent en effet à 17.450 individus dans la bergerie contre 1.121 dans la prairie ovine.

Le nombre total d'espèces du genre *Culicoides* observées s'élève à 12 : 7 pour la bergerie, contre 12 pour la prairie qui présente donc une plus grande diversité spécifique. Notons l'absence de *Culicoides imicola* Kieffer 1913 – principal vecteur du virus de la FCO en Afrique et dans le Bassin Méditerranéen – non encore observé en Europe du Nord. Les deux espèces constituant le complexe *Obsoletus* sont majoritaires, tant en prairie (68,8%) qu'au niveau de la bergerie (98,3%) (*fig. 2–3*).

Pour la bergerie, les autres espèces capturées sont *Culicoides dewulfi* Goetghebuer 1936 (1,2%), *Culicoides chiopterus* (Meigen 1830) (0,3%), *Culicoides pulicaris* (L. 1758) (0,1%), mais aussi *Culicoides lupicaris* Downes & Kettle 1952 et *Culicoides newsteadi* Austen 1921 en très faible nombre. La prairie ovine est quant à

elle fréquentée par *Culicoides punctatus* (Meigen 1804) (8,8%), *C. dewulfi* (8,5%), *C. pulicaris* (6,2%), *Culicoides brunnicans* Edwards 1939 (2,5%), *C. lupicaris* (2,1%), *C. chiopterus* (1,4%) et *Culicoides festvipennis* Kieffer 1914 (1,3%). Les espèces *C. newsteadi*, *Culicoides achrayi* Kettle & Lawson 1955 et *Culicoides kibunensis* Tokunaga 1937 ont finalement été observées en très faible nombre dans la prairie ovine. Toutes les espèces observées à l'intérieur de la bergerie ont aussi été piégées au niveau de la prairie. L'espèce *C. punctatus*, relativement bien représentée en prairie, est cependant absente du piégeage de la bergerie, tout comme *C. brunnicans* et *C. festvipennis*. Le pourcentage des principales espèces (potentiellement) vectrices des virus de la FCO et de Schmallenberg (*C. chiopterus*, *C. dewulfi*, *C. obsoletus*/*C. scoticus* et *C. pulicaris*) est plus faible au sein de la prairie ovine (84,9%) qu'au niveau de la bergerie (plus de 99,9%). Les femelles capturées par piégeage lumineux sont bien plus nombreuses que les mâles ; elles représentent en effet 99,1% des individus issus de la bergerie et 83,4% des individus issus de la prairie. Les mâles semblent donc mieux représentés en prairie.

Les températures (en particulier la température minimale) sont généralement légèrement plus élevées dans la bergerie qu'au sein de la prairie (*fig. 1*). Le calcul des coefficients de corrélation de Pearson pour la période d'étude (du 14 août au 11 décembre) met en évidence une relation significative entre le nombre de culicoïdes adultes piégés au sein de l'exploitation ovine (bergerie et prairie) et les températures minimale et maximale mesurées : les coefficients de corrélation de Pearson respectifs sont de 0,680 ($p = 0,002$) et 0,522 ($p = 0,026$) pour la prairie ovine. Au sein de la bergerie, ces coefficients de corrélation sont quant à eux de 0,530 ($p = 0,024$) et 0,635 ($p = 0,005$) respectivement pour les températures minimale et maximale. Ces valeurs traduisent une relation linéaire et positive entre les individus piégés et les températures extrêmes mesurées, tant pour la bergerie que pour la prairie. Par contre, les coefficients de corrélation de Pearson de 0,240 ($p = 0,337$) et $-0,253$ ($p = 0,311$) obtenus entre le nombre de culicoïdes piégés et le nombre d'ovins présents respectivement pour la bergerie et la prairie ovine, traduisent l'absence de relation (linéaire) entre les moucheron piqueurs capturés et le nombre d'hôtes potentiels observés. Afin de limiter l'impact des faibles températures observées à partir des premières gelées du 23 octobre, les coefficients de corrélation entre les nombres de culicoïdes et d'ovins sont également calculés pour la période allant du 14 août au 16 octobre : des valeurs de 0,563 ($p = 0,090$) et 0,316 ($p = 0,373$) sont alors respectivement obtenues pour la bergerie et la prairie ovine.

La distinction du statut physiologique des femelles capturées a été réalisée pour la bergerie (*tab. 3*) et la prairie ovine (*tab. 4*). Le test khi-carré démontre que la

Tableau 1. Evolution du nombre de culicoïdes capturés par piégeage lumineux à l'intérieur de la bergerie de Faulx-les-Tombes entre la mi-août et la mi-décembre 2007, et nombre d'ovins présents.

Bergerie	Dates de piégeage																TOTAL				
	14-août	22-août	28-août	4-sept	11-sept	18-sept	25-sept	2-oct	9-oct	16-oct	23-oct	30-oct	6-nov	13-nov	20-nov	27-nov		4-déc	11-déc		
Nb. Ovins	60	50	50	25	30	30	20	8	7	0	40	40	40	56	56	56	32	32	32		
<i>Espèces</i>	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	♀ ♂	
<i>C. chiopterus</i>	2 2	0 0	3 0	0 0	27 1	15 0	0 0	1 0	4 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	57 (0,3)
<i>C. dewulfi</i>	120	36	28	0	11	2	2	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212 (1,2)
<i>C. lupicaris</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (<0,1)
<i>C. newsteadi</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (<0,1)
<i>C. obsco/C. scot</i>	1676	26	9290	63	2423	21	2	38	917	9	188	3	429	6	4	0	25	0	2	0	17154 (98,3)
<i>C. pulicaris</i>	0	9	0	1	0	1	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24 (0,1)
Total ♀ & ♂	1798	30	9335	63	2458	21	2	40	938	9	195	3	430	6	4	0	25	0	2	0	17285
TOTAL	1828	9398	2479	0	1128	952	40	947	198	436	4	4	2	2	2	25	2	7	0	0	17450

Tableau 2. Evolution du nombre de culicoïdes capturés par piégeage lumineux dans la prairie ovine de Faulx-les-Tombes entre la mi-août et la mi-décembre 2007, et nombre d'ovins présents.

Prairie ovine	Dates de piégeage														TOTAL Nombre (%)					
	14-août	21-août	28-août	4-sept	11-sept	16-sept	26-sept	2-oct	9-oct	16-oct	23-oct	30-oct	6-nov	13-nov		20-nov	27-nov	4-déc	11-déc	
Nb. Ovins	50	50	0	0	0	0	0	0	23	23	23	88	88	88	88	88	88	21	26	
Espèces	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	
<i>C. achrayi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (<0,1)
<i>C. brunnicans</i>	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28 (2,5)
<i>C. chiopterus</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16 (1,4)
<i>C. dewulfi</i>	21	0	12	0	2	1	6	13	0	11	1	2	0	0	0	0	0	0	0	95 (8,5)
<i>C. festivipennis</i>	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15 (1,3)
<i>C. kibumensis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (<0,1)
<i>C. lupicaris</i>	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23 (2,1)
<i>C. newsteadi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 (0,2)
<i>C. obsol/C. scat</i>	58	5	198	41	8	0	6	0	16	2	101	47	9	1	142	13	86	5	6	771 (68,8)
<i>C. pulicaris</i>	2	1	4	0	1	1	0	0	6	1	20	7	1	0	12	2	9	3	0	70 (6,2)
<i>C. punctatus</i>	5	0	0	1	2	0	0	0	14	0	4	9	0	0	60	0	2	0	1	99 (8,8)
Total ♀ & ♂	89	6	235	70	12	2	6	0	39	4	164	78	11	1	236	16	108	8	7	935
TOTAL	95	305	14	6	43	242	12	252	116	7	3	15	10	1	1	0	0	0	0	1121

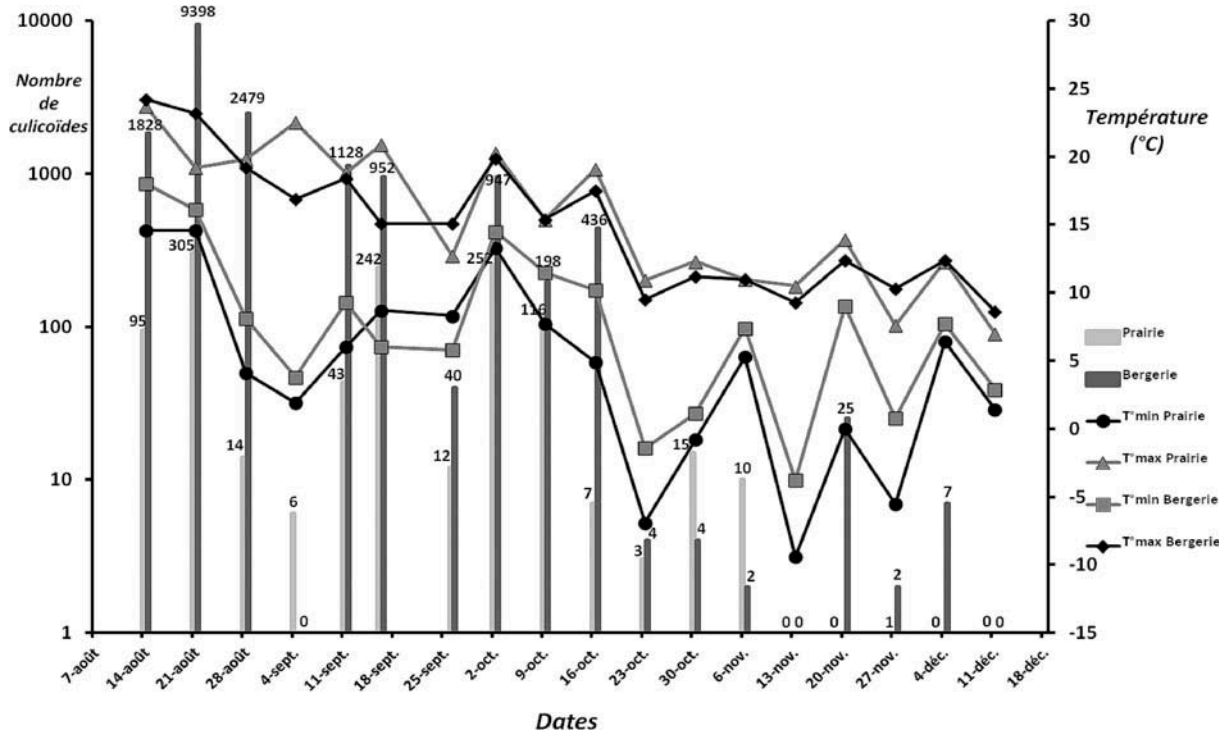


Figure 1. Evolution du nombre de culicoïdes capturés par piégeage lumineux dans la bergerie et la prairie ovine de Faulx-les-Tombes, en fonction des températures nocturnes minimales et maximales.

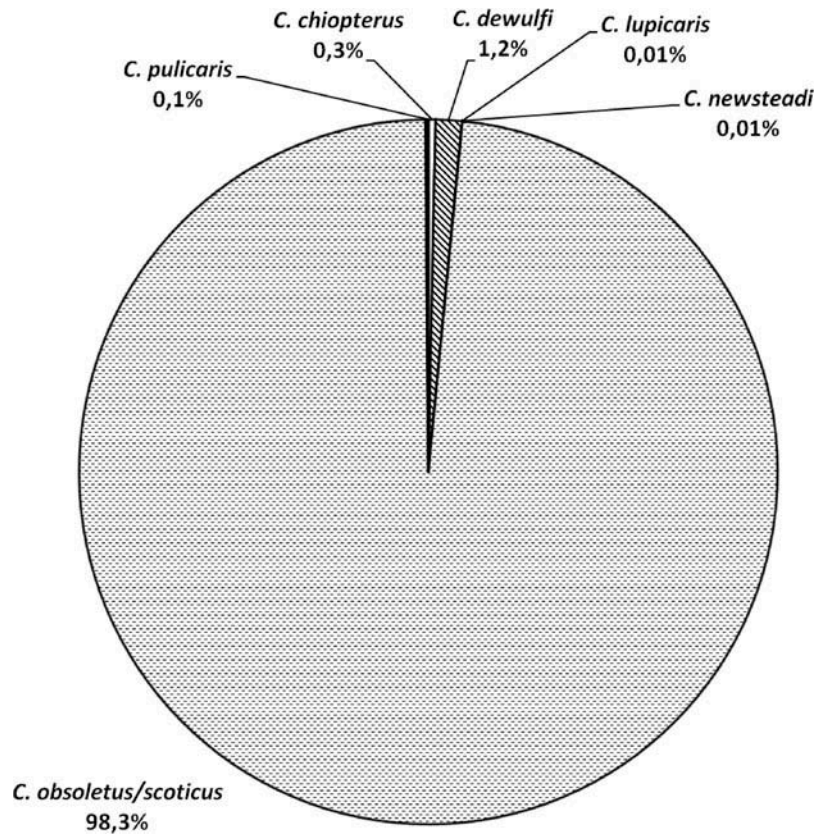


Figure 2. Diversité des espèces du genre *Culicoides* capturées par piégeage lumineux au sein de la bergerie de Faulx-les-Tombes entre la mi-août et la mi-décembre 2007.

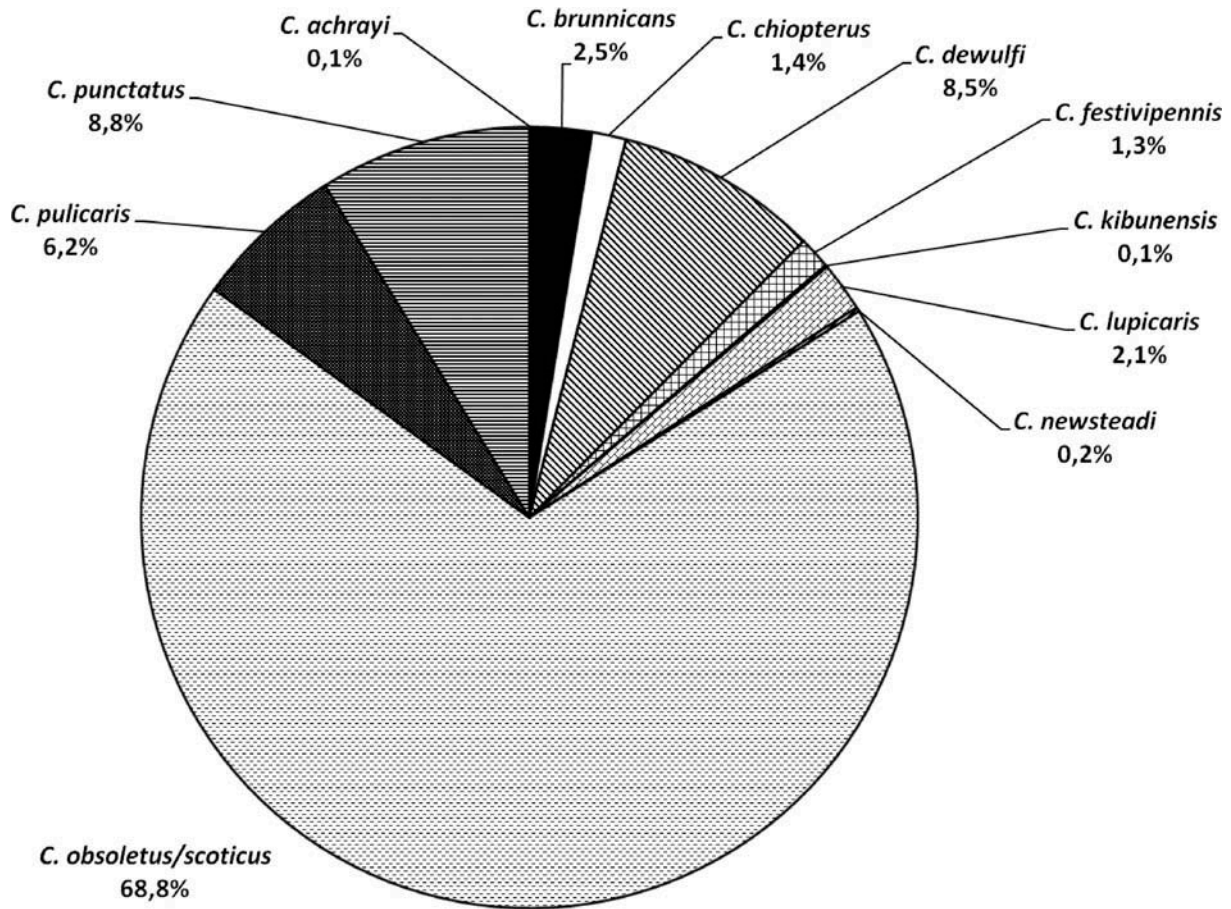


Figure 3. Diversité des espèces du genre *Culicoides* capturées par piégeage lumineux au sein de la prairie ovine de Faulx-les-Tombes entre la mi-août et la mi-décembre 2007.

répartition des effectifs au sein des différentes modalités de ce statut n'est pas identique dans la bergerie et dans la prairie (χ^2 (4, $N = 18150$) = 2200 ; $p < 0,001$). En effet, le pourcentage de femelles non-pigmentées est plus élevé à l'intérieur de la bergerie (49,4% des femelles piégées) que dans la prairie voisine (35,1%). Au contraire, le pourcentage de femelles gravides est bien plus élevé au niveau de la prairie ovine (17,4%) que dans la bergerie (3,9%), tout comme le pourcentage de femelles dont l'abdomen présente simultanément du sang et des œufs (10,6% en prairie, contre 0,02% en bergerie). Parmi les 671 femelles gravides issues de la bergerie, 670 appartiennent au complexe *Obsoletus* et une seule à l'espèce *C. newsteadi*. Les femelles pigmentées sont un peu plus abondantes au sein du bâtiment d'élevage (43,1%) qu'au sein de la prairie (36,1%). Celles dont l'abdomen est gorgé de sang sont quant à elles peu nombreuses pour l'ensemble des piégeages, et ce, dans les deux sites. Signalons toutefois que 615 femelles gorgées de sang ont été capturées à l'intérieur de la bergerie (soit 3,6% de l'ensemble des femelles piégées), dont 610 (609 *C. obsoletus/C. scoticus* et 1 *C. dewulfi*) rien que pour le mois d'août. Précisons

finalement que les 13 femelles parasitées piégées dans le cadre de cette étude appartiennent toutes au complexe *Obsoletus*.

Discussion

L'examen des captures réalisées par piégeage lumineux révèle que les moucheron adultes du genre *Culicoides* peuvent se concentrer à l'intérieur d'une bergerie occupée par des moutons, en beaucoup plus grand nombre que dans la pâture voisine associée. Cela pourrait s'expliquer par la recherche d'un endroit où leurs hôtes potentiels sont nombreux, proches les uns des autres et peu mobiles ; le régime alimentaire hématophage des femelles adultes pourrait ainsi être assuré. Même si les bovins semblent être les hôtes privilégiés par de nombreuses espèces paléarctiques du genre *Culicoides* (Bartsch et al. 2009; Ninio et al. 2011a), la plupart de ces moucheron piqueurs peuvent en effet avoir un comportement alimentaire opportuniste (Garros et al. 2011). Ils sont par conséquent susceptibles de réaliser leur repas sanguin sur une large gamme d'hôtes, dont les ovins. La chaleur dégagée par les

Tableau 3. Statut physiologique des femelles du genre *Culicoides* piégées dans la bergerie de Faulx-les-Tombes.

	Dates de piégeage														TOTAL Nombre (%)				
	14-août	22-août	28-août	4-sept	11-sept	18-sept	25-sept	2-oct	9-oct	16-oct	23-oct	30-oct	6-nov	13-nov		20-nov	27-nov	4-déc	11-déc
Femelles																			
Non-pigmentées	693	4967	1205	0	713	384	12	400	47	75	1	2	0	0	11	1	2	0	8513 (49,2)
Pigmentées	732	3795	1176	0	332	553	24	502	138	151	2	2	2	0	8	1	4	0	7422 (42,9)
Avec sang	48	537	25	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	615 (3,6)
Avec sang & œufs	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 (<0,1)
Gravidés	297	36	48	0	48	7	4	25	4	195	0	0	0	0	6	0	1	0	671 (3,9)
Parasitées	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12 (<0,1)
Endommagées	16	0	4	0	3	2	0	11	3	9	1	0	0	0	0	0	0	0	49 (0,3)
TOTAL	1798	9335	2458	0	1097	950	40	938	195	430	4	4	2	0	25	2	7	0	17285

Tableau 4. Statut physiologique des femelles du genre *Culicoides* piégées dans la prairie ovine de Faulx-les-Tombes.

	Dates de piégeage														TOTAL Nombre (%)				
	14-août	21-août	28-août	4-sept	11-sept	16-sept	26-sept	2-oct	9-oct	16-oct	23-oct	30-oct	6-nov	13-nov		20-nov	27-nov	4-déc	11-déc
Femelles																			
Non-pigmentées	21	107	8	2	12	51	3	74	41	2	1	1	1	0	0	1	0	0	325 (34,8)
Pigmentées	30	98	2	1	7	50	6	84	31	1	2	14	8	0	0	0	0	0	334 (35,7)
Avec sang	0	1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8 (0,8)
Avec sang & œufs	0	25	0	0	0	0	0	61	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98 (10,5)
Gravidés	38	3	2	0	20	53	2	16	23	4	0	0	0	0	0	0	0	0	161 (17,2)
Parasitées	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0,1)
Endommagées	0	0	0	3	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8 (0,8)
TOTAL	89	235	12	6	39	164	11	236	108	7	3	15	9	0	0	1	0	0	935

animaux d'élevage pourrait également justifier cette observation, les mouchérons étant susceptibles de se réfugier là où la température est plus élevée pour y passer la nuit. La localisation de certains micro-habitats anthropiques ou liés à l'élevage favorables au développement larvaire des culicoïdes pourrait également expliquer la présence d'adultes au sein des bâtiments d'élevage. Des gîtes larvaires localisés directement à l'intérieur des bâtiments d'élevage (bouses collées aux parois de l'étable) ou à proximité immédiate de ceux-ci (résidus d'ensilage) ont en effet déjà été identifiés en exploitation bovine, pour les deux espèces d'intérêt majeur d'Europe du Nord constituant le complexe *Obsoletus* (Zimmer et al. 2008a, 2010; Ninio et al. 2011b; Zimmer et al. 2013a, 2013c; Zimmer et al. 2014); il pourrait en être de même pour les exploitations ovines.

En 2007, Baylis et al. (2010) ont par contre capturé – via une approche standardisée intégrant la présence ou l'absence du bétail à proximité du piège lumineux – plus de culicoïdes à l'extérieur qu'à l'intérieur de quatre fermes mixtes (bovins et ovins) situées au nord du Pays de Galles ; les auteurs observent que la différence de capture intérieur/extérieur est influencée par la période de l'année et que ces mouchérons sont plus nombreux en présence du bétail. L'influence de la présence animale sur le nombre de culicoïdes capturés au moyen de pièges OVI a également été soulignée par Venail et al. (2012) au Nord-Est de la France ; ces derniers constatent en effet de faibles captures de culicoïdes à l'intérieur d'une étable en l'absence du bétail, alors qu'en présence des animaux ces mouchérons sont bien plus nombreux. Venail et al. (2012) observent par contre que les captures de culicoïdes réalisées à l'extérieur des bâtiments peuvent être élevées en l'absence d'animaux ; la présence animale augmente toutefois également le nombre d'individus collectés. Garcia-Saenz et al. (2011) suggèrent que le nombre d'individus femelles de l'espèce *C. obsoletus* capturés au moyen d'un piège lumineux placé à l'extérieur augmente linéairement avec le nombre de moutons présents à proximité immédiate du piège. Un piégeage lumineux entrepris aux Pays-Bas à la fin d'un mois de septembre montre également la présence de trois fois plus de culicoïdes à l'extérieur d'une étable bovine qu'à l'intérieur (Meiswinkel et al. 2008b). Cette étude montre aussi que lorsque l'intensité lumineuse est faible à l'extérieur, les culicoïdes sont susceptibles d'attaquer plus tôt pendant la journée (lorsque le bétail est encore en pâture) et de suivre ce bétail à l'intérieur de l'étable en fin d'après-midi (Meiswinkel et al. 2008b). Une autre étude réalisée en Suède (Nielsen et al. 2010) révèle près de six fois plus de culicoïdes à l'extérieur de la ferme que dans les étables. Baylis et al. (2010) suggèrent ainsi la stabulation de nuit comme mesure permettant de réduire le contact entre les culicoïdes et le bétail, participant ainsi à la protection du cheptel. Cette recommandation –

également suggérée par les autorités compétentes – semble cependant remise en cause par les résultats contradictoires de la présente étude menée en exploitation ovine. D'autres études antérieures entreprises au sein d'exploitations bovines ou ovines identifient également un nombre plus important de ces mouchérons piqueurs à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. Baldet et al. (2008) ont ainsi observé en automne un nombre plus important de culicoïdes à l'intérieur – au sein de quatre étables du nord de la France – qu'à l'extérieur. Une autre étude menée entre avril et juin 2007 au niveau d'une exploitation bovine belge (Zimmer et al. 2009) signale des captures 22 fois plus importantes au sein d'une étable ouverte que dans une prairie voisine. La possibilité de migration des adultes des espèces *C. chiopterus* et *C. dewulfi*, de leur gîte larvaire localisé en prairie vers le bétail se trouvant au niveau de la ferme, est finalement suggérée (Zimmer et al. 2009). Foxi and Delrio (2010) ont pour leur part piégé près de quatre fois plus de culicoïdes au sein d'une bergerie de Sardaigne qu'au niveau d'une mare localisée à proximité ; ils observent également que l'abondance de ces mouchérons et leur composition spécifique sont influencées par le type et la proximité des hôtes. L'activité et la possibilité de se nourrir à l'intérieur des bâtiments d'élevage durant la nuit ont par ailleurs été mises en évidence pour certaines espèces des régions tempérées, telle que *C. obsoletus* (Baldet et al. 2008; Viennet et al. 2012), même si le comportement exophile de cette espèce semble être observé par plusieurs auteurs (Anderson et al. 1993; Meiswinkel et al. 2008b). Comme précisé par Baylis et al. (2010), l'exophilie est donc loin d'être absolue. La première observation d'un comportement endophage chez une espèce paléarctique a été réalisée au Danemark (Nielsen & Christensen 1975). L'importance de l'ouverture des bâtiments d'élevage sur l'entrée des culicoïdes – générant un risque de piqûre pour le bétail en stabulation – a finalement été soulignée par Meiswinkel et al. (2000), Baldet et al. (2008) ainsi que Baylis et al. (2010). Selon Barnard (1997), l'entrée des mouchérons du genre *Culicoides* dans les écuries serait proportionnelle à la taille de l'entrée de l'étable. La forte augmentation de la prévalence de SBV observée par Shaw et al. (2013) lorsque la plupart des animaux (vaches Holstein) se trouvaient à l'intérieur d'une étable illustre de plus la faible efficacité de la stabulation de nuit comme méthode de protection du bétail en Europe du Nord.

La diversité spécifique plus élevée au sein de la prairie pourrait s'expliquer par le grand nombre de biotopes et de micro-habitats larvaires différents en présence, ainsi que par une meilleure dispersion des populations de culicoïdes via le vent. L'importance du complexe *Obsoletus* parmi les effectifs des piégeages lumineux est mise en évidence par la plupart des études portant sur les culicoïdes et entreprises en Europe du Nord, en exploitations ovine et

bovine (Baldet et al. 2008; Meiswinkel et al. 2008b; Takken et al. 2008; Clausen et al. 2009; Mehlhorn et al. 2009; Zimmer et al. 2009; Baylis et al. 2010). Précisons que dans la présente étude, les mâles de ce complexe *Obsoletus* sont majoritairement constitués de l'espèce *C. obsoletus*, tant au sein de la bergerie (75,0%) que de la prairie ovine associée (66,2%). La présence de l'espèce *C. festivipennis* dans la prairie ovine mais pas dans la bergerie pourrait s'expliquer par le comportement ornithophile de cette espèce (Kitaoka & Morii 1964), ses hôtes préférentiels étant surtout présents au niveau de la prairie. Zimmer et al. (2009) avaient également observé cette même espèce au sein d'une prairie bovine mais pas dans l'étable correspondante. L'espèce *C. punctatus*, récemment identifiée comme un vecteur possible du SBV (Larska et al. 2013) et dont l'abondance semble notamment corrélée à la présence de moutons (Purse et al. 2012), est relativement bien représentée en prairie ovine (8,8% du total des captures) mais aucun spécimen n'a été observé dans la bergerie ; cela pourrait s'expliquer par la localisation des gîtes larvaires. Le nombre de spécimens de l'espèce *C. chiopterus* est quant à lui probablement sous-estimé, comme démontré par Carpenter et al. (2008b) pour les piégeages lumineux, puis confirmé par Griffioen et al. (2011). Remarquons finalement l'absence de l'espèce *Culicoides impunctatus* Goetghebuer 1920 – vecteur potentiel du virus de la FCO (Jennings & Mellor 1988) et d'autres pathogènes (Valkiunas & Iezhova 2004) – très abondante au sein des tourbières (Goetghebuer 1952; Takken et al. 2008; Zimmer et al. 2013b), mais peu représentée – voire absente – dans les exploitations agricoles (Losson et al. 2007; Baldet et al. 2008; Meiswinkel et al. 2008b; Takken et al. 2008; Zimmer et al. 2009; Baylis et al. 2010).

La différence de comportement alimentaire, hématophage pour les culicoïdes femelles et floricoles pour les mâles, pourrait expliquer l'abondance des femelles lors des piégeages lumineux réalisés à environ 1,5 m de hauteur, à proximité du bétail. Les mâles pourraient par contre fréquenter préférentiellement la végétation et le sommet des arbres (Rieb 1982), ce qui pourrait justifier leur présence plus importante au niveau de la prairie. Une plus faible attraction des mâles à la lumière (Venter et al. 2009) pourrait également justifier leur moindre présence au sein des pièges. Cette forte abondance d'individus femelles est révélée par la plupart des études ayant recours à un piégeage lumineux entrepris à proximité du bétail (Zimmer et al. 2009; Baylis et al. 2010). Un piégeage réalisé à 12 m de hauteur au moyen d'un piège à succion type Rothamsted (Fassotte et al. 2008) a quant à lui confirmé la présence d'une plus grande proportion d'individus mâles.

Les captures de culicoïdes réalisées au sein de l'exploitation ovine (bergerie et prairie) sont liées aux températures minimales et maximales ; signalons toutefois

que la température maximale dépend des heures de dépôt et de retrait des pièges OVI. La température minimale semble fortement influencer les captures, comme précisé par Baylis et al. (2010). Une corrélation positive avait également été observée par Zimmer et al. (2009) entre les culicoïdes piégés au niveau d'une prairie bovine et la température minimale. Aucune corrélation n'avait cependant été obtenue entre les piégeages menés au sein d'une étable bovine ouverte et les températures minimales et maximales (Zimmer et al. 2009). L'hypothèse avancée était que la chaleur dégagée par les bovins groupés au sein de l'étable ouverte réchauffe l'air durant la nuit, ce qui favorise les captures de moucheron piqueurs et biaise ainsi l'influence de la température minimale (Zimmer et al. 2009). L'influence de la température sur le vol de ces moucheron a été décrite expérimentalement pour *Culicoides oxystoma* Kieffer 1910 et *Culicoides pictipennis* (Staeger 1839) ; leur vol est considéré comme exceptionnel pour des températures inférieures à 10°C (Tsutsui et al. 2010). Cette température minimale de vol semble confirmée par Viennet et al. (2012) ; quelques captures ont par ailleurs été constatées par Losson et al. (2007) en Belgique durant l'hiver 2006–2007 à des températures minimales situées entre 6°C et 12°C. Dans le cadre de cette étude, les culicoïdes ont été capturés dans une large gamme de températures, mais seuls quelques individus (appartenant aux espèces *C. obsoletus/C. scoticus*) ont été piégés à des températures inférieures à 7,6°C (prairie ovine) et 9,5°C (bergerie). Ces deux espèces formant le complexe *Obsoletus* – majoritaire au sein des piégeages réalisés – semblent donc être les plus résistantes au froid parmi celles identifiées. La température minimale de vol annoncée semble donc cohérente. Remarquons que les captures diminuent progressivement de la mi-août à la mi-octobre, puis chutent brutalement le 23 octobre avec les premières températures minimales négatives. La survie, l'activité et la dispersion de ces moucheron piqueurs semblent donc influencées par la température ; d'autres variables météorologiques tels que l'agitation de l'air, l'humidité relative, la pluie, la phase lunaire, ... jouent toutefois également un rôle important (Kettle 1969; Mellor et al. 1983; Braverman & Chechik 1996; Blackwell 1997; Baldet et al. 2008; Baylis et al. 2010).

Selon Holmes and Boorman (1987), le statut physiologique des femelles capturées par piégeage lumineux semble influencé par la localisation des gîtes larvaires. Le plus grand pourcentage de femelles gravides capturées au niveau des prairies valide cette hypothèse. Par ailleurs, la présence d'individus gravides (presque exclusivement des espèces *C. obsoletus/C. scoticus*) dans la bergerie suggère que ces femelles sont susceptibles de rester ou de pénétrer dans les bâtiments d'élevage ovin pour y pondre. L'importance des femelles non-pigmentées au sein de la bergerie pourrait s'expliquer soit par la recherche d'un hôte à piquer, soit par la présence de

gîtes larvaires proches, internes ou externes, comme illustré en exploitation bovine (Zimmer et al. 2008a, 2010) ; ces gîtes larvaires éventuels pourraient ainsi participer à la persistance des virus de la FCO et de Schmallenberg d'une année à l'autre malgré des hivers assez rigoureux, la possibilité d'une transmission transovarienne du SBV ayant récemment été suggérée pour quelques espèces de culicoïdes communes en Europe du Nord (Larska et al. 2013). Rappelons que le nombre réel de femelles nouvellement émergées est probablement sous-estimé (Harrup et al. 2013). La plupart des femelles gorgées de sang – appartenant presque exclusivement aux deux espèces du complexe *C. obsoletus/C. scoticus* – issues de la bergerie ont été piégées au cours du mois d'août 2007, durant le pic de l'épizootie de la FCO. La mort de deux agneaux en septembre au sein de la bergerie de l'exploitation étudiée, consécutive à cette maladie virale, corrobore le fait que des culicoïdes femelles se nourrissaient probablement deux à trois semaines plus tôt ; cela coïnciderait donc avec la période de capture d'un nombre élevé d'individus gorgés. Ces éléments sembleraient indiquer que ces individus appartenant aux deux espèces du complexe *Obsoletus* se sont alimentés aux dépens du bétail localisé à l'intérieur de la bergerie et présenteraient donc un comportement endophage.

Le comportement endophage/exophage des principales espèces de culicoïdes impliquées dans la transmission de pathogènes n'est par conséquent pas encore parfaitement connu. Celui-ci semble en effet dépendre de nombreux paramètres tels que les variables météorologiques, la période de l'année, les caractéristiques des bâtiments d'élevage, les conditions de stabulation et d'hygiène, la présence, le nombre et le type d'hôtes, ainsi que l'espèce de culicoïde considérée. L'interprétation et la comparaison des résultats obtenus lors des études précitées sont de ce fait particulièrement difficiles. La densité d'animaux présents à proximité immédiate du piège peut d'autre part être fort différente entre les bâtiments d'élevage et les prairies voisines – comme signalé par Baylis et al. (2010) ainsi que Venail et al. (2012) – influençant ainsi les captures de culicoïdes et rendant toute comparaison ardue. Les conditions des piégeages lumineux réalisés dans le présent travail correspondent toutefois à la réalité de terrain et de stabulation des animaux.

Il ressort donc que de la fin de l'été à la fin de l'automne en Europe du Nord, certaines espèces de mouches piqueuses du genre *Culicoides* – dont les principaux vecteurs potentiels de virus – peuvent être plus abondants au sein des bâtiments d'élevage ovin (bergerie partiellement ouverte) que dans les prairies voisines, lorsque le bétail est maintenu à l'intérieur. Comme suggéré par Meiswinkel et al. (2008a) ainsi que Viennet et al. (2012), il est toutefois probable que le fait de garder le bétail à l'intérieur de bâtiments d'élevage fermés pourrait réduire les risques de piqûres de culicoïdes, sans pour

autant constituer une protection absolue ; cela n'est cependant possible qu'à condition de limiter les populations de culicoïdes susceptibles d'y entrer ou de s'y développer. La mise en place de mesures d'assainissement et d'hygiène efficaces contre les culicoïdes présents à proximité – et surtout à l'intérieur – des exploitations agricoles (élimination des substrats favorables au développement larvaire, compostage et acidification,...), ainsi que l'instauration de mesures de protection contre l'intrusion (moustiquaires,...) et l'amélioration de l'« étanchéité » des bâtiments d'élevage (Shaw et al. 2013), permettraient de limiter leurs populations ; cela réduirait ainsi les piqûres subies par le bétail et de ce fait le risque de transmission de pathogènes. Ces mesures participeraient donc à la protection du cheptel.

Remerciements

Les auteurs remercient le professeur J.-C. Delécolle (Université Louis Pasteur de Strasbourg, France) pour sa disponibilité, ses conseils et son aide précieuse dans l'identification des mouches du genre *Culicoides*, de même que J. Bortels, E. Joie et G. Simonon (Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Belgique) pour l'aide apportée dans le tri et l'identification des culicoïdes ainsi que dans la pose et la récolte des pièges. Les auteurs sont également reconnaissants envers le CRO (Université de Namur, Belgique) et les exploitants agricoles qui ont permis l'accès à leurs exploitations et prairies.

References

- Anderson GS, Belton P, Belton EM. 1993. A population study of *Culicoides obsoletus* Meigen (Diptera: Ceratopogonidae), and other *Culicoides* species in the Fraser Valley of British Columbia. *The Canadian Entomologist*. 125:439–447.
- Anonyme. 1876. New Disease. Report of the South Africa cattle and sheep disease commission. *Report*. 16:189–194.
- Baldet T, Delécolle J-C, 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.
- Balenghien T, Cêtre-Sossah C, Delécolle J-C, Mathieu B, Thomas B, Colinet M, Pizard M, Albina E, Baldet T. 2008. *Culicoides chiopterus*: confirmation of its status as potential vector of bluetongue virus in Europe. [en ligne] (03/04/2008) Adresse URL : <http://www.promedmail.org>, archive number 20080403.1222, consulté le 26 juillet 2013.
- Barnard BJH. 1997. Some factors governing the entry of *Culicoides* spp. (Diptera : Ceratopogonidae) into stables. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*. 64:227–233.
- Bartsch S, Bauer B, Wiemann A, Clausen P-H, Steuber S. 2009. Feeding patterns of biting midges of the *Culicoides obsoletus* and *Culicoides pulicaris* groups on selected farms in Brandenburg, Germany. *Parasitology Research*. 105:373–380.
- Baylis M, Parkin H, Kreppel K, Carpenter S, Mellor PS, Mc Intyre KM. 2010. Evaluation of housing as a means to protect cattle from *Culicoides* biting midges, the vectors of

- bluetongue virus. *Medical and Veterinary Entomology*. 24:38–45.
- Blackwell A. 1997. Diel flight periodicity of the biting midge *Culicoides impunctatus* and the effects of meteorological conditions. *Medical and Veterinary Entomology*. 11:361–367.
- Borkent A. 2012. *World Species of Biting Midges (Diptera: Ceratopogonidae)*. Available from: <http://www.inhs.illinois.edu/files/8413/4219/9566/CeratopogonidaeCatalog.pdf>, consulté le 18 février 2014.
- Braverman Y, Chechik F. 1996. Air streams and the introduction of animal diseases borne on *Culicoides* (Diptera, Ceratopogonidae) into Israël. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*. 15:1037–1052.
- Caracappa S, Torina A, Guercio A, Vitale F, Calabro A, Purpari G, Ferrantelli V, Vitale M, Mellor PS. 2003. Identification of a novel bluetongue virus vector species of *Culicoides* in Sicily. *Veterinary Record*. 153:71–74.
- Carpenter S, McArthur C, Selby R, Ward R, Nolan DV, Mordue Luntz AJ, Dallas JF, Triplet F, Mellor PS. 2008a. Experimental infection studies of UK *Culicoides* species midges with bluetongue virus serotypes 8 and 9. *Veterinary Record*. 163:589–592.
- Carpenter S, Szmargd C, Barber J, Labuschagne K, Gubbins S, Mellor PS. 2008b. An assessment of *Culicoides* surveillance techniques in northern Europe: have we underestimated a potential bluetongue virus vector?. *Journal of Applied Ecology*. 45:1237–1245.
- Clausen P-H, Stephan A, Bartsch S, Jandowsky A, Hoffmann-Köhler P, Schein E, Mehlitz D, Bauer B. 2009. Seasonal dynamics of biting midges (Diptera: Ceratopogonidae, *Culicoides* spp.) on dairy farms of Central Germany during the 2007/2008 epidemic of bluetongue. *Parasitology Research*. 105:381–386.
- De Regge N, Deblauwe I, De Deken R, Vantieghem P, Madder M, Geysen D, Smeets F, Losson B, van den Berg T, Cay AB. 2012. Detection of Schmallenberg virus in different *Culicoides* spp. by real-time RT-PCR. *Transboundary and Emerging Diseases*. doi:10.1111/tbed.12000
- Delécolle J-C. 1985. *Nouvelle contribution à l'étude systématique et iconographique des espèces du genre Culicoides (Diptera: Ceratopogonidae) du Nord-Est de la France*. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles (Diplôme d'Etat), Thèse de doctorat, U.E.R., Vie et Terre, Strasbourg: Université Louis Pasteur, 238 p.
- Dijkstra E, van der Ven IJK, Meiswinkel R, Hölzel DR, Van Rijn PA, Meiswinkel R. 2008. *Culicoides chiopterus* as a potential vector of bluetongue virus in Europe. *Veterinary Record*. 162:422.
- Du Toit RM. 1944. The transmission of blue-tongue and horse sickness by *Culicoides*. *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*. 19:7–16.
- Dyce AL. 1969. The recognition of nulliparous and parous *Culicoides* (Diptera : Ceratopogonidae) without dissection. *Journal of the Australian Entomological Society*. 8:11–15.
- Erasmus BJ. 1985. The history of bluetongue. *Progress in Clinical and Biological Research*. 178:7–12.
- Fassotte C, Delécolle J-C, Cors R, Defrance T, De Deken R, Haubruge E, Losson B. 2008. *Culicoides* trapping with Rothamsted suction traps before and during the bluetongue epidemic of 2006 in Belgium. *Preventive Veterinary Medicine*. 87:74–83.
- Foxi C, Delrio G. 2010. Larval habitats and seasonal abundance of *Culicoides* biting midges found in association with sheep in northern Sardinia, Italy. *Medical and Veterinary Entomology*. 24:199–209.
- García-Saenz A, McCarter P, Baylis M. 2011. The influence of host number on the attraction of biting midges, *Culicoides* spp., to light traps. *Medical and Veterinary Entomology*. 25:113–115.
- Garros C, Gardès L, Allène X, Rakotoarivony I, Viennet E, Rossi S, Balenghien T. 2011. Adaptation of a species-specific multiplex PCR assay for the identification of blood meal source in *Culicoides* (Ceratopogonidae: Diptera): Applications on Palaearctic biting midge species, vectors of Orbiviruses. *Infection, Genetics and Evolution*. 11:1103–1110.
- Goetghebuer M. 1952. Le genre *Culicoides* (Diptères, Cératopogonidés) et ses représentants en Belgique. *Biologisch Jaarboek*. 19:185–191.
- Gorman BM. 1990. The bluetongue viruses. *Curr Top Microbiol Immunol*. 162:1–19.
- Griffioen K, van Gemst DB, Pieterse MC, Jacobs F, Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM. 2011. *Culicoides* species associated with sheep in the Netherlands and the effect of a permethrin insecticide. *Veterinary Journal*. 190:230–235.
- Harrup LE, Purse BV, Golding N, Mellor PS, Carpenter S. 2013. Larval development and emergence sites of farm-associated *Culicoides* in the United Kingdom. *Medical and Veterinary Entomology*. doi: 10.1111/mve.12006
- Hendry G, Godwin G. 1988. Biting midges in Scottish forestry: a costly irritant or a trivial nuisance?. *Scottish Forestry*. 42:113–119.
- Hoffmann B, Bauer B, Bauer C, Bätza H-J, Beer M, Clausen P-H, Geier M, Gethmann JM, Kiel E, Liebisch G, et al. 2009. Monitoring of putative vectors of bluetongue virus serotype 8, Germany. *Emerg Infect Dis*. 15:1481–1484.
- Hoffmann B, Scheuch M, Höper D, Jungblut R, Holsteg M, Schirmeier H, Eschbaumer M, Goller KV, Wernike K, Fischer M, et al. 2012. Novel orthobunyavirus in cattle, Europe, 2011. *Emerg Infect Dis*. 18:469–472.
- Holmes PR, Boorman JPT. 1987. Light and suction trap catches of *Culicoides* midges in Southern England. *Medical and Veterinary Entomology*. 1:349–359.
- Jennings DM, Mellor PS. 1988. The vector potential of British *Culicoides* species for bluetongue virus. *Veterinary Microbiology*. 17:1–10.
- Kettle DS. 1969. The biting habits of *Culicoides furens* (Poey) and *C. barbosai* Wirth & Blanton. II. Effects of meteorological conditions. *Bulletin of Entomological Research*. 59:241–258.
- Kitaoka S, Morii T. 1964. Chicken-biting ceratopogonid midges in Japan with special reference to *Culicoides odibilis* Austen. *National Institute of Animal Health Quarterly*. 4:167–175.
- Larska M, Lechowski L, Grochowska M, Żmudziński JF. 2013. Detection of the Schmallenberg virus in nulliparous *Culicoides obsoletus/scoticus* complex and *C. punctatus*—the possibility of transovarial virus transmission in the midge population and of a new vector. *Veterinary Microbiology*. 166:467–473.
- Losson B, Mignon B, Paternostre J, Madder M, De Deken R, De Deken G, Deblauwe I, Fassotte C, Cors R, Defrance T, et al. 2007. Biting midges overwintering in Belgium. *Veterinary Record*. 160:451–452.
- Mehlhorn H, Walldorf V, Klimpel S, Jahn B, Jaeger F, Eschweiler J, Hoffmann B, Beer M. 2007. First occurrence of *Culicoides obsoletus*-transmitted Bluetongue virus epidemic in Central Europe. *Parasitology Research*. 101:219–228.

- Mehlhorn H, Walldorf V, Klimpel S, Schaub G, Kiel E, Focke R, Liebisch G, Liebisch A, Werner D, Bauer C, et al. 2009. Bluetongue disease in Germany (2007–2008): monitoring of entomological aspects. *Parasitology Research*. 105:313–319.
- Meiswinkel R, Baldet T, De Deken R, Takken W, Delécolle J-C, Mellor PS. 2008a. The 2006 outbreak of bluetongue in northern Europe – The entomological perspective. *Preventive Veterinary Medicine*. 87:55–63.
- 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 EGM, van der Ven IJK, Baldet T, Elbers A. 2008b. Endophily in *Culicoides* associated with BTV-infected cattle in the province of Limburg, southeastern Netherlands, 2006. *Preventive Veterinary Medicine*. 87:182–195.
- Meiswinkel R, Gomulski LM, Delécolle J-C, Goffredo M, Gasperi G. 2004. The taxonomy of *Culicoides* vector complexes – unfinished business. *Veterinary Italiana*. 40:151–159.
- Meiswinkel R, Van Rijn P, Leijts P, Goffredo M. 2007. Potential new *Culicoides* vector in northern Europe. *Veterinary Record*. 161:564–565.
- Mellor PS. 1990. The replication of bluetongue virus in *Culicoides* vectors. *Curr Top Microbiol Immunol*. 162:143–161.
- Mellor PS, Boorman JPT, Baylis M. 2000. *Culicoides* biting midges: their role as arbovirus vectors. *Annual Review of Entomology*. 45:307–340.
- Mellor PS, Boorman JPT, Wilkinson PJ, Martinez-Gomez F. 1983. Potential vectors of bluetongue and African horse sickness viruses in Spain. *Veterinary Record*. 5:229.
- Minitab Inc. 2006. *Minitab® Statistical Software, Release 15 for Windows*. State College, PA, USA. Minitab® is a registered trademark of Minitab Inc, 2006.
- Nielsen BO, Christensen O. 1975. A mass attack by biting midge *Culicoides nubeculosus* (Mg.) (Diptera, Ceratopogonidae) on grazing cattle in Denmark a new aspect of sewage discharge. *Nordisk Veterinaermedicin*. 27:365–372.
- Nielsen SA, Nielsen BO, Chirico J. 2010. Monitoring of biting midges (Diptera: Ceratopogonidae: *Culicoides* Latreille) on farms in Sweden during the emergence of the 2008 epidemic of bluetongue. *Parasitology Research*. 106:1197–1203.
- Ninio C, Augot D, Delécolle J-C, Dufour B, Depaquit J. 2011a. Contribution to the knowledge of *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) host preferences in France. *Parasitology Research*. 108:657–663.
- Ninio C, Augot D, Dufour B, Depaquit J. 2011b. Emergence of *Culicoides obsoletus* from indoor and outdoor breeding sites. *Veterinary Parasitology*. 183:125–129.
- Purse BV, Falconer D, Sullivan MJ, Carpenter S, Mellor PS, Piertney SB, Mordue AJ, Albon S, Gunn GJ, Blackwell A. 2012. Impacts of climate, host and landscape factors on *Culicoides* species in Scotland. *Medical and Veterinary Entomology*. 26:168–177.
- Rasmussen LD, Kristensen B, Kirkeby C, Rasmussen TB, Belsham GJ, Bødker R, Bøtner A. 2012. Culicoids as vectors of Schmallenberg virus. *Emerg Infect Dis*. 18:1204–1206.
- Rieb JP. 1982. *Contribution à la connaissance de l'écologie et de la biologie des Cératopogonidés (Diptera, Nematocera)*. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles, U.E.R., Vie et Terre, Strasbourg: Université Louis Pasteur, 395 p.
- Rigot T, Vercauteren Drubbel M, Delécolle J-C, Gilbert M. 2013. Farms, pastures and woodlands: The fine-scale distribution of Palearctic *Culicoides* spp. biting midges along an agro-ecological gradient. *Medical and Veterinary Entomology*. 27:29–38.
- Saegerman C, Berkvens D, Mellor PS. 2008a. Bluetongue epidemiology in the European Union. *Emerg Infect Dis*. 14:539–544.
- Saegerman C, Berkvens D, Mellor PS, Dal Pozzo F, Porter S, Zientara S. 2008b. Fièvre catarrhale ovine: l'Europe au carrefour de l'enzootie. *Point Vétérinaire*. 290:41–47.
- Shaw AE, Mellor DJ, Purse BV, Shaw PE, McCorkell BF, Palmirani M. 2013. Transmission of Schmallenberg virus in a housed dairy herd in the UK. *Veterinary Record*. 173:609. doi:10.1136/vr.101983
- Takken W, Verhulst N, Scholte EJ, Jacobs F, Jongema Y, van Lammeren R. 2008. The phenology and population dynamics of *Culicoides* spp. in different ecosystems in The Netherlands. *Preventive Veterinary Medicine*. 87:41–54.
- Thiry E, Saegerman C, Guyot H, Kirten P, Losson B, Rollin F, Bodmer M, Czaplicki G, Toussaint JF, De Clercq K, et al. 2006. Bluetongue in northern Europe. *Veterinary Record*. 159:327.
- Tsutsui T, Hayama Y, Yamakawa M, Shirafuji H, Yanase T. 2010. Flight behavior of adult *Culicoides oxystoma* and *Culicoides maculatus* under different temperatures in the laboratory. *Parasitology research*. 108:1575–1578.
- Valkiunas G, Iezhova TA. 2004. The transmission of *Haemoproteus belopolskiy* (Haemosporida: Haemoproteidae) of blackcap by *Culicoides impunctatus* (Diptera: Ceratopogonidae). *Journal of Parasitology*. 90:196–198.
- Vanbinst T, Vandebussche F, Vandemeulebroucke E, De Leeuw I, Deblauwe I, De Deken G, Madder M, Haubruge E, Losson B, De Clercq K. 2009. Bluetongue virus detection by real-time RT-PCR in *Culicoides* captured during the 2006 epizootic in Belgium and development of an internal control. *Transboundary and Emerging Diseases*. 56:170–177.
- Velthuis AG, Saatkamp HW, Mourits MC, de Koeijer AA, Elbers AR. 2010. Financial consequences of the Dutch bluetongue serotype 8 epidemics of 2006 and 2007. *Preventive Veterinary Medicine*. 93:294–304.
- Venail R, Balenghien T, Guis H, Tran A, Baldet T, Setier-Rio ML, Delécolle J-C, Mathieu B, Martinez D, Languille J, Garros C. 2012. Assessing diversity and abundance of vector populations at a national scale: example of *Culicoides* surveillance in France after bluetongue virus emergence. In: Mehlhorn H, editor. *Arthropods as Vectors of Emerging Diseases*. Parasitology Research Monographs Volume 3. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; p. 77–102.
- Venter GJ, Labuschagne K, Hermanides KG, Boikanyo SN, Majatladi DM, Morey L. 2009. Comparison of the efficiency of five suction light traps under field conditions in South Africa for the collection of *Culicoides* species. *Veterinary Parasitology*. 166:299–307.
- Veronesi E, Henstock M, Gubbins S, Batten C, Manley R, Barber J, Hoffmann B, Beer M, Attoui H, Mertens PPC, Carpenter S. 2013. Implicating *Culicoides* biting midges as vectors of Schmallenberg virus using semi-quantitative RT-PCR. *PLoS ONE*. 8:e57747. doi:10.1371/journal.pone.0057747
- Viennet E, Garros C, Rakotoarivony I, Allène X, Gardès L, Lhoir J, Fuentes I, Venail R, Crochet D, Lancelot R, et al. 2012. Host-Seeking Activity of Bluetongue Virus Vectors: Endo/Exophagy and Circadian Rhythm of *Culicoides* in Western

- Europe. *PLoS ONE*. 7:e48120. doi:10.1371/journal.pone.0048120
- World Organisation for Animal Health. 2006. *Bluetongue detected for the first time in Northern Europe. Press release*. Aug 23. [en ligne] Adresse URL : http://www.oie.int/eng/press/en_060823.htm, consulté le 12 novembre 2011.
- Zimmer J-Y, Haubruge E, Francis F, Bortels J, Simonon G, Losson B, Mignon B, Paternostre J, De Deken R, De Deken G, et al. 2008a. Breeding sites of bluetongue vectors in northern Europe. *Veterinary Record*. 162:131.
- Zimmer J-Y, Haubruge E, Francis F. 2014. Synthèse bibliographique : l'écologie larvaire des culicoïdes (Diptera: Ceratopogonidae). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 18:sous presse.
- Zimmer J-Y, Losson B, Saegerman C, Haubruge E. 2009. Ecologie et distribution des espèces de *Culicoides* Latreille 1809 (Diptera : Ceratopogonidae) à proximité d'une exploitation bovine en Belgique. *Annales de la Société entomologique de France* (N.S.) 45:393–400.
- Zimmer J-Y, Losson B, Saegerman C, Haubruge E, Francis F. 2013c. Breeding sites and species association of the main Bluetongue and Schmallenberg virus vectors, the *Culicoides* species (Diptera: Ceratopogonidae), in northern Europe. *Annales de la Société entomologique de France* (N.S.) 49:335–344.
- Zimmer J-Y, Saegerman C, Losson B, Beckers Y, Haubruge E, Francis F. 2013a. Chemical composition of silage residues sustaining the larval development of the *Culicoides obsoletus/Culicoides scoticus* species (Diptera: Ceratopogonidae). *Veterinary Parasitology*. 191:197–201.
- Zimmer J-Y, Saegerman C, Losson B, Haubruge E. 2010. Breeding sites of bluetongue virus vectors, Belgium. *Emerg Infect Dis*. 16:575–576.
- Zimmer J-Y, Smeets F, Simonon G, Fagot J, Haubruge E, Francis F, Losson B. 2013b. Are bogs reservoirs for emerging disease vectors? Evaluation of *Culicoides* populations in the Hautes Fagnes Nature Reserve (Belgium). *PLoS ONE*. 8: e66893. doi: 10.1371/journal.pone.0066893