

## **Etude comportementale visant à déterminer l'aptitude de deux réflecteurs lumineux à diminuer le nombre de collisions entre véhicules et chevreuils au sein du canton de Berne**

**Auteur :** Thérasse, Augustin

**Promoteur(s) :** Licoppe, Alain; 5518

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2017-2018

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/5073>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**ETUDE COMPORTEMENTALE VISANT A  
DETERMINER L'APTITUDE DE DEUX  
REFLECTEURS LUMINEUX A DIMINUER LE  
NOMBRE DE COLLISIONS ENTRE VEHICULES ET  
CHEVREUILS AU SEIN DU CANTON DE BERNE**

**AUGUSTIN THERASSE**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNEE ACADEMIQUE 2017-2018**

**CO-PROMOTEURS : LICOPPE ALAIN & FISCHER CLAUDE**



©Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**ETUDE COMPORTEMENTALE VISANT A  
DETERMINER L'APTITUDE DE DEUX  
REFLECTEURS LUMINEUX A DIMINUER LE  
NOMBRE DE COLLISIONS ENTRE VEHICULES ET  
CHEVREUILS AU SEIN DU CANTON DE BERNE**

**AUGUSTIN THERASSE**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNEE ACADEMIQUE 2017-2018**

**CO-PROMOTEURS : LICOPPE ALAIN & FISCHER CLAUDE**

## Remerciement

Tout d'abord, je souhaite remercier mes deux Co-promoteurs, Alain Licoppe et Claude Fischer, qui de par leurs contacts étroits et leur envie de collaborer m'ont permis de réaliser ce TFE. Il n'aura ainsi suffi que de quelques échanges d'emails et de bonne volonté pour me permettre de passer ces trois mois en Suisse.

Pour l'aide apportée, lors de la rédaction de ce travail, je remercie à nouveau Claude Fischer et Alain Licoppe, mais aussi Romain Candaele pour leurs conseils, expertises et relectures.

Dans la continuité, je remercie chaque membre du projet de groupe : Karin Thüler (Inspection de la chasse), Lukas Bähler (Office des ponts et des chaussées), Ruedi Zbinden (Inspection de la chasse), Dan Ammon (Représentant des chasseurs bernois), Daniel Feuz, Patrick Bur et à nouveau Claude Fischer (Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève).

Je souhaiterais remercier plus particulièrement mon maître de stage Karin Thüler et l'entière de l'inspection de la chasse pour leur accueil au sein de leur bureau et pour les efforts réalisés par tout un chacun pour parler la langue de Molière en ma présence. C'est également ce bureau (Inspection de la chasse) et celui de Lukas Bähler (Office des ponts et des chaussées) qui ont apporté leur soutien financier, et qui m'ont ainsi permis de rester un peu plus longtemps, afin d'achever la récolte de données dans cette si belle région.

Je remercie aussi Marc Germeau (et toute sa famille) pour m'avoir accueilli et qui en tant que bon Gembloutois a su me faire sentir comme chez moi ; Arthur Georgin dont l'aide fut précieuse durant ces dernières semaines passées en Suisse et avec qui j'ai pu passer de bons moments ; Djé et Claire avec qui j'ai pu découvrir les quelques kilomètres du Hardergrat ; Bab qui m'a presque tué avec toute cette marche mais avec qui j'ai pu passer de super moments dans le Vercors ; Lambert, Boris, François et Kévin avec qui j'ai aussi failli crever, mais c'était de ma faute cette fois ; Robin, Nassim, Sevan, Sam, Romain et tous les autres qui ont rendus ces dernières semaines de rédactions plus vivables.

Merci à tous mes amis gembloutois que je n'aurai pas eu la présence d'esprit de citer dans ces dernières heures de rédaction, tous mes cokoteurs qui ont eu le plaisir de me côtoyer et surtout Maximilliano Albanèse qui ne m'aura jamais quitté.

Je remercie mes parents pour leur soutien, pour m'avoir créé, pour avoir toujours tout mis en œuvre pour me voir réussir, mais aussi Eloïse, Julian, Edward et Emma, grandir à vos côtés fut la plus belle chose qui me soit jamais donnée.

Cette aventure n'aurait pas été possible sans vous.

## Résumé

Le réseau routier mondial structure une bonne partie de nos paysages et les impacts écologiques liés à ces infrastructures et aux véhicules y circulant sont nombreux. Les collisions entre véhicules et ongulés représentent un coût énorme d'un point de vue financier, mais aussi en termes de vies humaines. En Suisse, dans le canton de Berne, un projet a vu le jour en 2016 et tente de diminuer le nombre de collisions entre chevreuils et véhicules. A cette fin, des tronçons de route particulièrement accidentogènes ont été équipés de deux types de réflecteurs lumineux à faune sauvage, dont l'efficacité n'est pas confirmée.

L'objectif principal de ce travail est de tester l'efficacité de ces deux types de réflecteurs. L'objectif secondaire étant de décrire le comportement du chevreuil aux abords des routes.

C'est à l'aide d'une caméra thermique que 301 réactions de chevreuils, lors du passage de véhicules, ont été enregistrées et triées, en fonction du type de réflecteurs et des comportements des animaux. Ceci a permis d'analyser les différents niveaux d'altérations du comportement.

Aucune altération du comportement plus importante que la normale n'a pu être mise en évidence lors de l'utilisation de ces réflecteurs. Les différences de comportements observées, suivant les sites, semblent être expliquées par d'autres facteurs que la présence ou le type de réflecteur. Les réactions fortes de chevreuils (fuites) ont quant à elles bel et bien tendance à diminuer le risque de collision immédiat.

Les deux types de réflecteurs testés n'ont pu être prouvés efficaces et ne représentent pas la mesure de mitigation la plus adaptée.

## Abstract

The global road network structures a big part of our landscapes and the ecological impacts due to these infrastructures and to the vehicles using them are numerous. Ungulate-vehicle collisions represent an enormous cost from an economical point of view, but also in terms of people's lives. In Switzerland, in the canton of Bern, a project born in 2016 aims to decrease the number of roe deer-vehicle collisions. To this end, several accident-prone road sections, has been equipped with two different types of wildlife warning reflectors, which haven't been proven effective yet.

The main goal of this work is to test whether or not these reflectors are effective. The secondary objective is to describe the behaviour of roe deer near roads.

With the help of a thermal camera, 301 responses from roe deer to oncoming vehicles have been recorded and sorted, according to the behaviour of the animals and the type of reflector. This allowed us to analyse the different levels of the behaviour's alteration.

No higher behaviour's alteration than the usual has been found when using one of those reflectors. The differences in the behaviour among sites seems to be explain by other factors than the use or the type of reflector. Strong reactions (as flights) usually tend to decrease the risk of immediate collision.

The two types of wildlife warning reflectors haven't been able to prove their effectiveness and do not represent the best mitigation technique.

## Table des matières

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Sigles et abréviations .....                                      | 3  |
| Liste des figures .....                                           | 4  |
| Liste des tableaux.....                                           | 5  |
| 1. Introduction .....                                             | 6  |
| 2. Bibliographie .....                                            | 8  |
| 2.1. Ecologie du chevreuil.....                                   | 8  |
| 2.1.1. Habitat.....                                               | 8  |
| 2.1.2. Territoire et sociabilité.....                             | 8  |
| 2.1.3. Activité et écologie du mouvement .....                    | 9  |
| 2.2. Techniques de préventions .....                              | 9  |
| 2.2.1. Réduction du nombre d'animaux à proximité des routes ..... | 9  |
| 2.2.2. Modification du comportement des conducteurs .....         | 10 |
| 2.2.3. Modification du comportement de la faune .....             | 11 |
| 2.2.4. Gestion et planification des routes .....                  | 13 |
| 2.3. Evolution des études comportementales .....                  | 14 |
| 3. Objectifs.....                                                 | 15 |
| 4. Matériels et méthodes .....                                    | 16 |
| 4.1. Site d'étude : le canton de Berne.....                       | 16 |
| 4.1.1. Contexte paysager.....                                     | 16 |
| 4.1.2. Contexte cynégétique.....                                  | 17 |
| 4.2. Les réflecteurs .....                                        | 19 |
| 4.2.1. Le Swaro Warn .....                                        | 19 |
| 4.2.2. Le Multiwarn Wildlife Protector .....                      | 19 |
| 4.3. Caméra thermique et amplificateur de lumière .....           | 21 |
| 4.4. Sélection et description des tronçons .....                  | 22 |
| 4.4.1. Quel tronçon choisir ?.....                                | 22 |
| 4.4.2. Description des tronçons sélectionnés .....                | 23 |
| 4.5. Acquisition des données.....                                 | 26 |
| 4.5.1. Qu'est-ce qu'une interaction ?.....                        | 26 |
| 4.5.2. Comportements avant et après .....                         | 26 |
| 4.5.3. Niveaux de réaction .....                                  | 27 |



|                                  |                                                     |    |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|----|
| 4.5.4.                           | Autres observations.....                            | 28 |
| 4.6.                             | Analyses réalisées .....                            | 28 |
| 5.                               | Résultats.....                                      | 29 |
| 5.1.                             | H1 : Efficacité des réflecteurs .....               | 29 |
| 5.1.1.                           | Test $\chi^2$ .....                                 | 29 |
| 5.1.2.                           | Régression de Poisson.....                          | 29 |
| 5.1.3.                           | Régression ordinale.....                            | 30 |
| 5.1.4.                           | Analyse du comportement avant et après l'ICHV ..... | 31 |
| 5.2.                             | H2 : Les risques de la fuite.....                   | 34 |
| 5.3.                             | Traversées de route.....                            | 35 |
| 5.3.1.                           | Sur tronçon équipé de réflecteurs SW .....          | 35 |
| 5.3.2.                           | Sur tronçon équipé de réflecteurs MWP .....         | 37 |
| 5.3.3.                           | Sur tronçons non-équipés de réflecteurs .....       | 37 |
| 6.                               | Discussion.....                                     | 39 |
| H1 :                             | Altération du comportement .....                    | 39 |
| H2 :                             | Risque des fuites .....                             | 40 |
| Déroulement des traversées ..... |                                                     | 41 |
| Critique de l'étude .....        |                                                     | 43 |
| 7.                               | Conclusion .....                                    | 44 |
| 8.                               | Bibliographie .....                                 | 45 |
| 9.                               | Annexe.....                                         | 48 |
| Annexe 1 :                       | .....                                               | 48 |
| Annexe 2 :                       | .....                                               | 49 |
| Annexe 3 :                       | .....                                               | 49 |
| Annexe 4 :                       | .....                                               | 50 |

## Sigles et abréviations

DVC = Deer vehicle collision (collision entre cervidé et véhicule)

WVC = Wildlife vehicle collision (collision entre faune sauvage et véhicule)

WWR = Wildlife warning reflector (réflecteur lumineux à faune sauvage)

MWP = Multiwarn Wildlife Protector

SW = Swaro Warn

ICHV = Interaction entre chevreuil et voiture

FCB = Fédération des chasseurs bernois

HEPIA = Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Carte du canton de Berne, de sa position au sein de la Suisse, des régions biogéographiques et de la position des tronçons de routes utilisés pour l'étude. ....                                                    | 16 |
| Figure 2: Composition moyenne en essences de la forêt bernoise .....                                                                                                                                                          | 17 |
| Figure 3: Histogramme représentant les effectifs et prélèvements de chevreuils au sein du canton de Berne.....                                                                                                                | 18 |
| Figure 4 : Causes de mortalité d'ongulés à l'exclusion de la chasse au cours de l'année 2016 dans le canton de Berne .....                                                                                                    | 18 |
| Figure 5: Le Swarowarn (© Swareflex).....                                                                                                                                                                                     | 19 |
| Figure 6: Le Multiwarn wildlife protector (© Multi wildschutz warner).....                                                                                                                                                    | 20 |
| Figure 7: Schéma représentant le fonctionnement du MWP (© Multi wildschutz warner) ....                                                                                                                                       | 20 |
| Figure 8: Photos réalisées sur le terrain avec la caméra thermique (© Augustin Thérasse)....                                                                                                                                  | 21 |
| Figure 9: Cartes avec images satellites représentant les différents tronçons de routes utilisés pour cette étude .....                                                                                                        | 25 |
| Figure 11: Diagramme (chord diagram) représentant les modifications de comportement des chevreuils, avant (_av) et après (_ap) une ICHV, lorsque le réflecteur SW est utilisé. ....                                           | 32 |
| Figure 12: Diagramme (chord diagram) représentant les modifications de comportement des chevreuils, avant (_av) et après (_ap) une ICHV, lorsque le réflecteur MWP est utilisé.....                                           | 33 |
| Figure 13: Diagramme (chord diagram) représentant les modifications de comportement des chevreuils, avant (_av) et après (_ap) une ICHV, lorsqu'aucun réflecteur n'est utilisé. ....                                          | 34 |
| Figure 14: Représentation de deux domaines vitaux théoriques (en jaune) par rapport à la route. (A=Portion de route faisant partie intégrale du domaine vital ; B=Domaine vital séparé en deux par une portion de route)..... | 42 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1: Récapitulatif des dates d'observation pour chaque type de réflecteur (n = nombre d'ICHVs enregistrés ce jour-là).....                                                                        | 23 |
| Tableau 2: Récapitulatif des comportements en fonction des mouvements et des actions de la tête des chevreuils. ....                                                                                    | 27 |
| Tableau 3: Récapitulatif des types de réactions en fonction des modifications de comportements. ....                                                                                                    | 28 |
| Tableau 4: Table de contingence du nombre d'ICHVs en fonction des types réflecteurs et des niveaux de réactions (n=nombre d'ICHVs total). ....                                                          | 29 |
| Tableau 5: Résumé des résultats de la régression de Poisson pour le modèle 1 (. = presque significatif ; * = significatif ; *** = très hautement significatif). ....                                    | 30 |
| Tableau 6: Résumé des résultats de la régression ordinale pour le modèle 2 (. = presque significatif ; * = significatif) ....                                                                           | 30 |
| Tableau 7: Nombres de fuites de chevreuils observées en fonction des distances à la route et des directions de fuites. (Sur celle-ci ou juste à côté : <2m ; Proche : <20m ; Dans le champ : <50m) .... | 35 |
| Tableau 8: Récapitulatif des nombres de traversées de routes effectuées par des chevreuils en fonction du type de réflecteur et de la destination. ....                                                 | 35 |
| Tableau 9: Nombres de traversées de routes équipées de réflecteurs Swaro Warn, en fonction de l'allure de la traversée et de la destination du chevreuil. ....                                          | 36 |
| Tableau 10: Nombres de traversées de routes non-équipées de réflecteurs, en fonction de l'allure de la traversée et de la destination du chevreuil. ....                                                | 37 |

## 1. Introduction

Les routes dominent et structurent la plupart des paysages mondiaux. Il y aurait par exemple, en 2017, un peu moins de 5 millions de kilomètres de routes, rien qu'au sein de l'union européenne (Nicodème et al., 2017). Le réseau routier mondial, tout comme le nombre de véhicule y circulant, devrait selon les prédictions continuer à augmenter significativement durant les prochaines décennies (van der Ree et al., 2015).

Les impacts écologiques liés à ces infrastructures et aux véhicules sont nombreux, divers et dans la plupart des cas, négatifs (van der Ree et al., 2015). Ces impacts sont maintenant globalement reconnus comme une menace pour un écosystème sain et fonctionnel. A tel point que les gouvernements, partout dans le monde, prennent des mesures permettant de minimiser ou de mitiger ces impacts sur les écosystèmes (Forman et al., 2003).

Outre la dégradation et diminution d'habitat, la création de barrière et la fragmentation du paysage ; la mortalité due aux collisions entre la faune sauvage et un véhicule (WVC) est un, si pas le plus visible, des effets négatifs des routes et du trafic (van der Ree et al., 2015).

Bruinderink et Hazebroek (1996) estime que le nombre de WVCs en Europe en 1995 était de 500.000. Or, une étude plus récente (Langbein et al., 2011) suggère que rien que le nombre d'ongulés tués sur les routes annuellement en Europe avoisinerait le million. Les coûts liés à ces WVCs, dans le cas de gros mammifères, peuvent s'avérer énorme que cela soit en termes de vie humaine, de soins de santé ou de réparation du véhicule.

La situation en Suisse va dans le même sens que dans le reste du monde, avec un nombre de véhicules routiers à moteur et une longueur totale des routes ne faisant qu'augmenter d'année en année (Office fédéral de la statistique suisse)<sup>1</sup>.

Chaque année le canton de Berne dénombre en moyenne 1700 ongulés tués après collision avec un véhicule, principalement des chevreuils. Or le nombre réel est supposé bien plus élevé, étant donné qu'on ne prend pas ici en compte les décès survenus après la fuite de l'animal. Les coûts annuels cumulés avoisineraient les 4,6 millions de francs suisses (Office des ponts et des chaussées du canton de Berne).

La fédération des chasseurs bernois (FCB) s'est fixée pour objectif de diminuer le nombre d'animaux blessés ou tués sur les routes. En 2016, elle a ainsi mis en place un projet de groupe (Wildunfallverhütung) reposant sur la collaboration entre différents acteurs du canton, tel que l'office des ponts et des chaussées, l'administration de la chasse du canton de Berne et la Mobilière assurances, avec un appui scientifique (HEPIA).

---

<sup>1</sup><https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transports/infrastructures-transport-vehicules/vehicules.html>

Des retombées positives devraient profiter à l'ensemble des parties prenantes à ce projet :

- Sécurité accrue pour les usagers de la route ;
- Moins de constats, ainsi que d'opérations de recherche et de sauvetage laborieuses pour les gardes faunes ;
- Des populations de gibier protégées pour les chasseurs ;
- Réduction des coûts d'accidents pour les compagnies d'assurances ;
- Diminution de souffrances inutiles pour la faune sauvage.

Cette collaboration unique entre chasseurs, inspecteurs de la route et gardes faunes a permis de mettre en évidence les 31 tronçons les plus accidentogènes, en fonction du nombre d'accidents impliquant du gros gibier par année et par kilomètre.

Les premières actions ont commencé durant l'été 2016, lorsque l'installation de différents types de réflecteurs à gibier, sur ces sections de routes sensibles, a commencé.

L'efficacité de ces réflecteurs est un aspect fondamental à la réussite des actions mises en œuvre. Les constructeurs affirment que les réflecteurs provoquent une altération du comportement des ongulés à l'approche d'un véhicule et permettent d'éviter de nombreuses collisions le long des routes équipées. Les connaissances scientifiques permettant de le démontrer sont cependant à ce jour insuffisantes.

Ce mémoire a permis d'étudier le comportement du chevreuil fréquentant les abords des routes, par des observations directes, en conditions réelles et il apporte des réponses sur l'efficacité des réflecteurs lumineux.

## 2. Bibliographie

### 2.1. Ecologie du chevreuil

Le chevreuil (*Capreolus capreolus* L.) est un ongulé de taille moyenne, mesurant à l'âge adulte de 60 à 90 cm au garrot, pour une longueur de 95 à 125 cm (Schnock et al., 1995). C'est l'espèce de cervidé la plus répandue dans la grande majorité de l'Europe. (Burbaite et Csányi, 2009 ; de Vries, 2015). Jusqu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle, la population de chevreuil était en baisse en Europe, notamment à cause des pratiques de chasses anarchiques et de la fragmentation du milieu (Baleisis et al, 2000 cité par Burbaite et Csányi, 2009) Cette population a depuis plusieurs dizaines d'années fortement augmenté, surtout en Europe de l'ouest (Burbaite et al, 2009). Actuellement la population européenne est estimée à 15 millions d'individus (Lovari et al., 2016).

#### 2.1.1. Habitat

*C. Capreolus* s'est très bien adapté aux paysages anthropisés modernes (Andersen et al., 1998 ; Danilkin et al, 1996 ; Sempéré et al, 1996 cités par Lovari et al., 2016), voilà pourquoi on peut le retrouver dans une si grande variété d'habitats, tel que les forêts décidues, résineuses ou mixtes, les prairies et les cultures. Son habitat de prédilection restant la mosaïque entre forêt et zone agricole (Stubbe, 1999 cité par Lovari et al., 2016), un habitat fournissant protection et abondance de nourriture issues des différents milieux. Au cours du temps, le chevreuil a ainsi été capable de tirer profit des modifications anthropogéniques de la forêt (création de chemin et exploitation) et de l'agriculture moderne, celles-ci résultant en la création de zones de lisière (de Vries, 2015).

#### 2.1.2. Territoire et sociabilité

Contrairement aux autres cervidés largement répandus en Europe (cerf elaphe et daim), le chevreuil est un animal relativement asocial. *C. capreolus* abandonne son mode de vie solitaire pour former de petits groupes, uniquement à des périodes de l'année bien spécifiques. Le mâle est en effet solitaire. Il intègre généralement au début de l'hiver un groupe composé d'une femelle et de ses petits. C'est à l'arrivée du printemps que le mâle adulte chassera le jeune mâle du groupe avant de lui-même redevenir solitaire. La femelle dominante quant à elle chassera la jeune femelle née l'année précédente, une fois que la nouvelle progéniture sera arrivée. C'est donc en hiver que le chevreuil forme des hordes et en été qu'il adopte son style de vie plus solitaire (de Vries, 2015).

Le pic d'agressivité et de testostérone des mâles arrivant au maximum à la période de rut (mi-juillet), ils passent la plupart de leur temps à marquer leur territoire et à chasser les autres mâles. Les femelles sont quant à elles reconnues comme non-territoriales, puisque la plupart de l'année, les domaines vitaux de plusieurs chevrettes sont capables de se superposer. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de hiérarchie chez les femelles, car il arrive que la chevrette dominante occupe le meilleur espace de vie, tout en ne tolérant pas les autres femelles moins dominantes (de Vries, 2015). Le pic du comportement de dominance chez les femelles arrive après la naissance des petits. On peut voir le même type de comportement chez les mâles, où les dominés sont forcés vers les domaines vitaux les moins attrayants (bord de routes et limites de territoire de dominants).

### 2.1.3. Activité et écologie du mouvement

Le chevreuil est un ruminant. Il passe approximativement 12 heures par jour à chercher de la nourriture et ruminer, et 7 heures à se reposer. Les patterns d'activités du chevreuil sont dirigés par leur régulateurs internes. C'est notamment les changements en photo- et thermo- périodes, au cours des saisons, qui modifient le comportement des animaux. Une augmentation de la température peut par exemple conduire à une réduction d'activité durant la journée et à une activité plus prononcée durant la nuit. Ceci, afin de limiter les pertes d'énergie (Alters, 2000 cité par de Vries, 2015).

Bien qu'étant relativement semblable, les chevreuils mâles et femelles diffèrent grandement en termes d'utilisation de leur habitat, de taille de domaines vitaux et de patterns d'activité (Stache et al., 2013). Les chevrettes se montrent généralement plus actives au lever et au coucher du soleil, avec un pic d'activité crépusculaire en hiver. Le même phénomène est également observé chez les mâles, mais il est encore plus prononcé. L'activité totale journalière a tendance à augmenter de mars à juin pour les femelles, tandis que chez le mâle l'activité crépusculaire commence à augmenter à partir de mi-février et ce jusque mi-juillet où il atteint le maximum d'activité journalière.

Ces variations journalières et saisonnières des patterns d'activité se reflètent sur la fréquence des DVCs (Kämmerle et al, 2017 ; Ignatavicius et Valskys, 2018).

## 2.2. Techniques de préventions

Ils existent plusieurs types de techniques de prévention directe de WVCs qui peuvent être rassemblés en diverses catégories. Celles permettant de réduire le nombre d'animaux à proximité des routes, celles visant à modifier le comportement des animaux ou des conducteurs et celles impliquant une gestion et planification adéquate des routes.

### 2.2.1. Réduction du nombre d'animaux à proximité des routes

Plusieurs études ont démontré que l'implémentation de programme de chasse a tendance à réduire le nombre de DVCs, tandis que des restrictions en matière de chasse augmenteraient le nombre de DVCs (Mastro et al., 2008). D'autres études n'ont quant à elles pas trouvées de corrélation entre la taille de la population de cervidés et le nombre de DVCs. Selon Mastro et al. (2008), ces avis plutôt contraires pourraient s'expliquer par l'hétérogénéité des densités et des dynamiques des populations de cervidés. Quoi qu'il en soit, la réduction du nombre de cervidés peut permettre de réduire le nombre de DVCs dans une zone bien particulière (Danielson et Hubbard, 1998).

L'installation de clôtures le long des routes permet de réduire les traversées de routes par la faune sauvage et donc de diminuer à cet endroit précis le nombre de DVCs (de Vries, 2015). La mise en place de clôture le long des routes ne doit pas être utilisée pour fondamentalement empêcher la traversée du gibier, mais plutôt pour le rediriger vers un endroit où la traversée serait moins risquée (Putman et al., 2004 ; Staines et al., 2001 cités par de Vries, 2015). Les clôtures peuvent être considérées comme un moyen efficace de réduire le nombre de DVCs à partir du moment où la taille des mailles, la hauteur et la longueur de la clôture sont adaptées, et que des zones de passage à faune, dans les clôtures, soient situées aux endroits clefs (Huijser



et Kociolek, 2008 ; de Vries, 2015). Les cas d'études ayant mis en évidence une inefficacité de ces barrières physiques sont en effet généralement associés à des clôtures pas assez longues rendant le contournement trop facile (Mastro et al., 2008). Malgré cette efficacité largement reconnue, l'implémentation de clôture contribue à la fragmentation des espaces naturels et peut réduire le brassage génétique entre population de mêmes espèces (de Vries, 2015). C'est de plus une des techniques de mitigation où l'investissement de base est le plus important (Huijser et Kociolek, 2008).

### **2.2.2. Modification du comportement des conducteurs**

La modification de la vitesse maximum autorisée sur une route pourrait aider à diminuer le nombre de DVCs, puisqu'une plus vitesse élevée est la plupart du temps associée à une plus grande distance de freinage (de Vries, 2015). Par exemple, au Pays-Bas, la vitesse associée au plus haut pourcentage de WVCs est de 80 km/h (Ooms, 2010 cité par de Vries, 2015). Cependant, il est important de préciser que les routes des milieux ruraux avec une vitesse maximum approchant les 80 km/h sont souvent caractérisées par de plus grandes populations de faune sauvages (Huijser et Kociolek, 2008).

L'installation de panneaux de signalisation passifs est la technique de mitigation visant à réduire les WVCs la plus fréquemment utilisée. Ces panneaux sont sensés avertir le conducteur qu'il se trouve dans une zone où les traversées de route par le gibier sont particulièrement fréquentes et où le risque de collisions est plus important que d'habitude (Langbein et al., 2011). Ces simples panneaux de signalisation passifs sont placés de manière permanente et sont donc sujet à une certaine habitude de la part des conducteurs (Mastro et al., 2008 ; de Vries, 2015). En Amérique, il arrive aussi que ce type de panneaux soient placés et illuminés de manière non permanente, durant la période de migration des cervidés (Sullivan et al., 2004).

Il existe aussi d'autre types de panneaux de signalisation, des panneaux dit actifs. Par exemple des panneaux qui s'illuminent durant la nuit seulement lorsqu'un animal a été détecté aux abords de la route à l'aide d'un détecteur thermique ou bien d'un détecteur infrarouge (de Vries, 2015). Cette technologie aurait permis de réduire en moyenne de 82% le nombre de WVCs le long de certaines routes suisse (Mosler-Berger et Romer, 2003 cité par Huijser et al., 2008). Cependant, cette efficacité peut varier en fonction de la présence ou non de limitation de vitesse sur le panneau lumineux et des conditions météorologiques (Huijser et al., 2010 cité par de Vries, 2015). D'autres panneaux de type actif s'illuminent quant à eux seulement lorsqu'un véhicule est en approche.

Pour ce qui est des nouvelles techniques d'alerte du conducteur, on peut également citer les systèmes de détection de gibier, inclus dans les véhicules de certains constructeurs automobiles, mais dont les efficacités ne sont pas encore avérées (de Vries, 2015).

La sensibilisation des conducteurs à l'existence et au danger que représentent les DVCs pourrait également permettre de diminuer leur nombre. Néanmoins, fournir au public des informations plus spécifiques sur le timing et la destination des chevreuils durant leurs déplacements serait encore plus efficace qu'une simple sensibilisation (Knapp et al., 2004 ; Rodgers, 2004 ; cité par de Vries, 2015).

### 2.2.3. Modification du comportement de la faune

Les techniques de modifications du comportement des cervidés se basent sur l'utilisation de dissuasif olfactif, auditif et/ou visuel.

#### 2.2.3.1. *Répulsifs olfactifs*

Les répulsifs olfactifs correspondent à un concentré d'odeur d'ennemis naturels des larges ongulés, tels que le loup, l'ours, le lynx et/ou l'homme. Ils sont notamment commercialisés sous la forme de granules pour disperser, de liquide pour imprégner les textiles et de lubrifiant pour disposer sur les arbres. L'utilisation de ces produits s'est largement répandue en Allemagne après que les fabricants tel que l'association automobile allemande aient assuré l'efficacité de ces barrières chimiques. Des observations issues d'une étude réalisée en Bavière sur 6 tronçons de route, indiqueraient (d'après les fabricants du répulsif) que 60% des animaux rencontrant ce type de barrière olfactive ont fait marche arrière, afin de pouvoir traverser plus loin, à endroit plus sûr, au-delà de celle-ci. D'autres analyses ont pu montrer que malgré le fait que sur certains tronçons le nombre de DVCs a diminué de 30 à 80 %, les accidents en dehors de cette zone ont en réalité augmenté (Lebersoger, 1993 cité par Langbein et al., 2011). Cette augmentation de DVCs, sur les routes proches de tronçons équipés de répulsifs olfactifs, n'est pas un cas isolé. Voilà pourquoi l'influence positive de ces répulsifs n'a pas été confirmée comme une mesure efficace contre les DVCs (Pokorný et al., 2008 cité par Langbein et al., 2011). De plus le fonctionnement de ces produits n'est pas toujours très clair, car pour certains ils rendent le gibier plus alerte et donc plus prudent (de Vries, 2015), tandis que pour d'autres ils maintiennent tout simplement le gibier éloigné de la route (Huijser et McGowen, 2004).

#### 2.2.3.2. *Dissuasion auditive*

Il existe des sifflets qui se positionnent à l'avant de la voiture, et qui lorsque le véhicule atteint une certaine vitesse émet un son de haute fréquence. Ce son est sensé alerter la faune sauvage de l'arrivée d'un véhicule et lui faire quitter les abords de la route. Cependant, la plupart des études ne reportent pas de changements dans le comportement des animaux, ni dans le nombre de collisions (Romin et Dalton, 1992 ; Bender, 2001 ; Ujvari et al., 2004 cités par Huijser et McGowen 2004). En effet, même si le son produit par le sifflet tombe dans la limite de détection auditive des cervidés, le bruit normal du véhicule surpasserait celui-ci (de Vries, 2015). De plus, les chevreuils sont reconnus pour facilement s'habituer au changement, donc même si le son produit par ces sifflets a pu avoir une influence sur le comportement de ces animaux, rien n'indique que les résultats resteront probants sur le moyen/long terme (Bomford et O'Brien, 1990).

Un deuxième type de barrière virtuelle existe, la barrière auditive. Contrairement à la barrière olfactive, celle-ci ne forme pas une barrière constante et « impénétrable » par la faune sauvage et donc n'isole pas vraiment les populations animales les unes des autres. Des dispositifs émetteurs de son sont ainsi disposés le long des routes, sur les poteaux de marquage, et seront activés dès que la lumière des phares d'un véhicule percute le capteur. Cette barrière serait donc active la nuit, mais également au lever et au coucher du soleil, moments durant lesquels le plus de collisions ont lieu (Stache et al., 2013). Les premières études sérieuses menées en Slovénie (Pokorný et Policnik, 2008 cité par Langbein et al., 2011) ont dans un premier temps obtenu des résultats positifs quant à l'efficacité de différents modèles de répulsifs auditifs de

ce type. Le monitoring à moyen terme a ensuite montré une efficacité toujours significative mais moins prononcée. Enfin, une étude ayant comparé un large panel de sites de contrôles sur une période de 6 ans n'a quant à elle pu mettre en avant aucune réduction significative du nombre de DVCs liée à une installation de barrière virtuelle auditive (Voss, 2007 cité par Langbein et al., 2011).

#### *2.2.3.3. Réflecteurs lumineux*

Un réflecteur à faune sauvage (WWR) est un petit dispositif réfléchissant la lumière des phares d'un véhicule en approche. Il existe divers types de réflecteurs lumineux, tels que ceux utilisant des miroirs et ceux retransmettant la lumière provenant du véhicule, perpendiculairement à la route, mais dans une longueur d'onde différente. Quand ils sont disposés régulièrement le long d'une route, ces derniers sont sensés créer une barrière lumineuse momentanée altérant le comportement du gibier.

##### (i) Spectre de détection des ongulés

Le type de réflecteurs utilisés dans le siècle passé était généralement celui de ceux émettant une lumière rouge, lorsque illuminé par les phares d'un véhicule. L'efficacité du Swareflex Warning Reflector, sujet de nombreuses études américaines, était due selon ses constructeurs, à la peur naturelle des cervidés de la couleur rouge (Brieger et al., 2017). Pourtant l'incapacité des cervidés, mais aussi d'autres ongulés, à voir dans le rouge a été confirmé par plusieurs études (Vercauteren et al., 2003 ; Sheets et Cason, 2005 ; Pürstl, 2006 cités par Langbein et al., 2011).

Depuis une dizaine d'années, ce sont maintenant les réflecteurs émettant une lumière bleue qui sont devenus les plus utilisés en Allemagne, et également de plus en plus dans le reste de l'Europe (Brieger et al., 2017). Les yeux des cervidés possédant une sensibilité maximale dans la gamme spectrale des couleurs bleue et verte (Ahnelt et al., 2006 ; Schiviz et al., 2008).

##### (ii) Perception et habituation

Blackwell et Seamans (2009) a pu démontrer que la lumière de forte intensité issue des phares standards de véhicule induit une fuite des cervidés. Cependant, il reste des doutes quant à l'intensité de la lumière réfléchi qui est réellement perçue par la faune sauvage, mais aussi sur l'interprétation de la réflexion comme un danger et sa capacité à induire un comportement qui aurait tendance à diminuer les WVCs (Brieger et al., 2017).

La barrière lumineuse créée par les réflecteurs pourrait être « surpassée » par la lumière propre des phares du véhicule approchant, rendant donc cette barrière obsolète. Il a en effet été démontré que le stimulus lumineux supplémentaire causé par un WWR n'est pratiquement pas visible par la faune sauvage aux abords de la route (Schulze et Polster, 2017 cité par Brieger et al., 2017).

De plus, il a déjà été mis en évidence que des animaux exposés de manière répétitive à un même stimulus, non associé à une récompense ou punition, finira par s'habituer à ces perturbations (Manning, 1979 cité par Ujvári et al., 1998). Ce même effet d'habituation a

clairement été observé chez les cervidés étant exposés à des stimuli lumineux (Ujvári et al., 1998) ou acoustiques (Ujvári et al., 2004).

Pafko et Kovach (1996) soupçonnent un effet des WWR sur le comportement des conducteurs. Cependant, les études peu nombreuses de cette problématique ne permettent pas de le confirmer.

### (iii) Publications antérieures sur l'efficacité des réflecteurs

Les publications antérieures concernant l'efficacité des réflecteurs ont fournis des résultats contradictoires (Schafer et Penland, 1985 ; Pafko et Kovach, 1996 ; D'Angelo et al., 2006 ; Waring et al., 1991 ; Zacks, 1985 ; Reeve et Anderson, 1993). La plupart d'entre elles sont basées sur le comptage de carcasses d'animaux retrouvées le long de transects, et cela en fonction de l'absence, de la présence ou de la dissimulation des réflecteurs. Les contradictions entre ces études peuvent découler du faible nombre de mesures ou de la non prise en compte de facteurs extérieurs pouvant influencer le risque d'accident. Il n'y a actuellement donc aucune certitude concernant l'habilité de ces réflecteurs à réduire le nombre de WVCs (D'Angelo et van der Ree, 2015).

Ce n'est que plus récemment qu'un intérêt a été porté à la réaction et au comportement du gibier lors d'une interaction avec un véhicule (D'Angelo et al., 2006 ; Ujvári et al., 1998 ; Brieger et al., 2017). Or ce sont bel et bien ces réactions (altération du comportement) de la faune sauvage vis-à-vis des réflecteurs qui sont prétendues être la cause de la diminution des collisions.

Voilà pourquoi Brieger et al. (2016) conseille que les futures recherches se concentrent directement sur le comportement de l'animal et sur ses réactions à l'approche d'un véhicule.

### 2.2.4. Gestion et planification des routes

Le dégagement de la végétation arbustive à proximité des routes serait une mesure de mitigation efficace car cela permettrait d'augmenter la visibilité des conducteurs et de les alerter de la présence de cervidés. De plus, la faune sauvage profiterait également ce plus grand champ de vision pour voir arriver plus vite les véhicules (Mastro et al., 2008). Cependant, le timing et la manière de gérer cette végétation peuvent être des éléments critiques. Bien que pouvant améliorer la visibilité des conducteurs et de la faune sauvage, cela peut également rendre ces bords de route plus appétant pour la faune sauvage et dans ce cas augmenter leur utilisation et potentiellement le nombre de DVCs (Putman et al., 2004 cité par Huijser et al., 2008).

Les décisions telles que la localisation de la route, le nombre de bandes, la courbure de la chaussée peuvent aussi avoir un impact sur le futur nombre de DVCs (Knapp et al., 2004 ; Donalson, 2006 cités par Mastro et al., 2008). En effet, fournir des informations sur l'habitat des cervidés, sur leurs couloirs de migrations et sur les DVCs ayant déjà eu lieu dans les environs devrait permettre aux décideurs et designers de construire des routes qui limiteraient les DVCs (Mastro et al., 2008). Hussain et al. (2007) a mis en évidence le fait que les DVCs étaient spatialement corrélés aux éléments du paysage généralement traversés par les cervidés,

et que la création d'une route prenant ceci en considération résulterait en une route moins accidentogène.

### 2.3. Evolution des études comportementales

L'observation directe d'animaux sur le terrain a toujours été la principale technique utilisée dans les études éthologiques, et ce jusqu'à l'arrivée de nouvelle technologie telle que la télémétrie et le camera trapping.

Un des points forts de l'observation directe est la précision et la complexité des données acquises qui ne pourrait pas toujours être obtenue si les chercheurs n'étaient pas présents directement sur le terrain. De plus, cela peut permettre de limiter le braconnage dans certaines zones où les scientifiques sont supposés présents (Campbell et al. 2011 cité par Zimmermann et al., 2016). Cependant, la simple présence d'un observateur peut parfois altérer le comportement « naturel » d'un animal et donc biaiser les résultats de l'analyse (Zimmermann et al., 2016).

Le biologging quant à lui peut être une autre approche de l'étude du comportement animal. Cette technologie utilise de mini caméra, balise ou enregistreur directement posé sur un animal. Il est ainsi possible de récolter des informations sur le mouvement, le comportement, la physiologie ou sur l'environnement d'un individu à l'état naturel, et ce de manière continue et non-invasive (Rutz et al., 2009). Ces techniques permettent d'étudier la biologie animale au travers d'un large panel d'échelle écologique, allant d'une fraction de seconde lors d'une prise de décision d'un individu à l'étude de la dynamique à long terme d'une population voire d'une communauté (Rutz et al., 2009). Cependant, le biologging comporte une série de limitations intrinsèques dues aux biais liés à la capture et la manipulation des individus, la variation au sein de ceux-ci et aux coûts importants de mise en place. Ce qui dans certains cas, peut conduire à de trop petits échantillons. (Zimmermann et al., 2016).

Depuis peu, la technologie des caméras embarquées permet aux chercheurs de voir ce que les animaux voient d'eux-mêmes, et offre de nouvelles pistes de recherche dans le domaine du biologging. Cette technique pourrait ainsi convenir pour des mesures à petite échelle du comportement animal, comme par exemple dans le cas d'une étude sur le comportement du gibier lors de la traversée d'une route (Moll et al., 2007).

Le piégeage photographique est une technique d'observation utilisant des caméras permettant de prendre des photos ou vidéos automatiquement, lors de la détection de mouvements animaux. Cette méthode est généralement considérée comme non-invasive, car même si Meek et al. (2014 b) a pu mettre en évidence que la perception du son et du flash, lors du déclenchement d'un piège photographique à illumination infrarouge, peut déranger l'animal ; ces potentielles sources de dérangement ne sont pas comparables à celle nécessitant le piégeage, la manipulation ou l'observation directe des animaux (Zimmermann et al., 2016). Cette technologie s'est révélé être l'un des meilleurs outils de recherche sur la faune sauvage. Le nombre de publication à ce sujet a particulièrement augmenté depuis 2006. Ses principales applications ont principalement porté sur les inventaires faunistiques, l'occupation à l'échelle des espèces et les estimations de densités (Rovero et al, 2013). Bridges et Noss (2011) présente

différents exemples d'applications de camera trap dans les études comportementale. L'arrivée sur le marché d'une nouvelle génération de pièges photographiques de plus en plus performant, permettant de prendre des vidéos, devrait conduire à de nouvelles possibilités d'applications.

### **3. Objectifs**

L'utilisation de réflecteur est une technique vendue comme efficace et humaine. Pourtant, les décideurs ont parfois du mal à faire le pas, ne sachant pas si ces réflecteurs représentent un bon investissement ou pas (D'Angelo et van der Ree, 2015). L'efficacité des réflecteurs étant loin d'être incontestable, il est plus que temps de plancher sur leur utilité.

L'objectif principal de ce travail de fin d'étude étant de formuler un premier avis quant à l'efficacité des réflecteurs installés dans le canton de Berne, deux hypothèses vont être testées :

H1 : L'altération du comportement occasionnée par un véhicule circulant sur une route possédant des réflecteurs est plus importante que sur une route sans réflecteurs.

H2 : Les altérations du comportement considérées comme « fortes » (fuites) ont tendance à diminuer le risque de collisions.

Les comportements des chevreuils aux abords des routes et lors des traversées de celles-ci sont trop peu étudiés et pourtant directement liés aux collisions. Ce travail de fin d'étude aura donc pour objectif secondaire de détailler le comportement des chevreuils à proximité des routes et lors des traversées.

## 4. Matériels et méthodes

### 4.1. Site d'étude : le canton de Berne

#### 4.1.1. Contexte paysager

Le canton de Berne se situe dans la partie ouest de la Suisse, et est en superficie le troisième plus grand canton de Suisse (5960 km<sup>2</sup>). Le canton est à cheval sur trois régions biogéographiques ; le jura suisse au nord, le plateau suisse au centre et le versant nord des alpes au sud (Figure 1). Les régions du jura et du versant nord des alpes sont caractérisées par un relief assez marqué et des sols peu profonds rendant inadéquate la culture des sols et favorisant le pâturage. La région du plateau suisse jouit quant à elle de sols profonds et de bonne qualité permettant l'installation de grandes cultures (Office fédéral Suisse de l'agriculture<sup>2</sup>). C'est cette région qui est la plus densément peuplée et qui a par conséquent le réseau routier le plus développé.

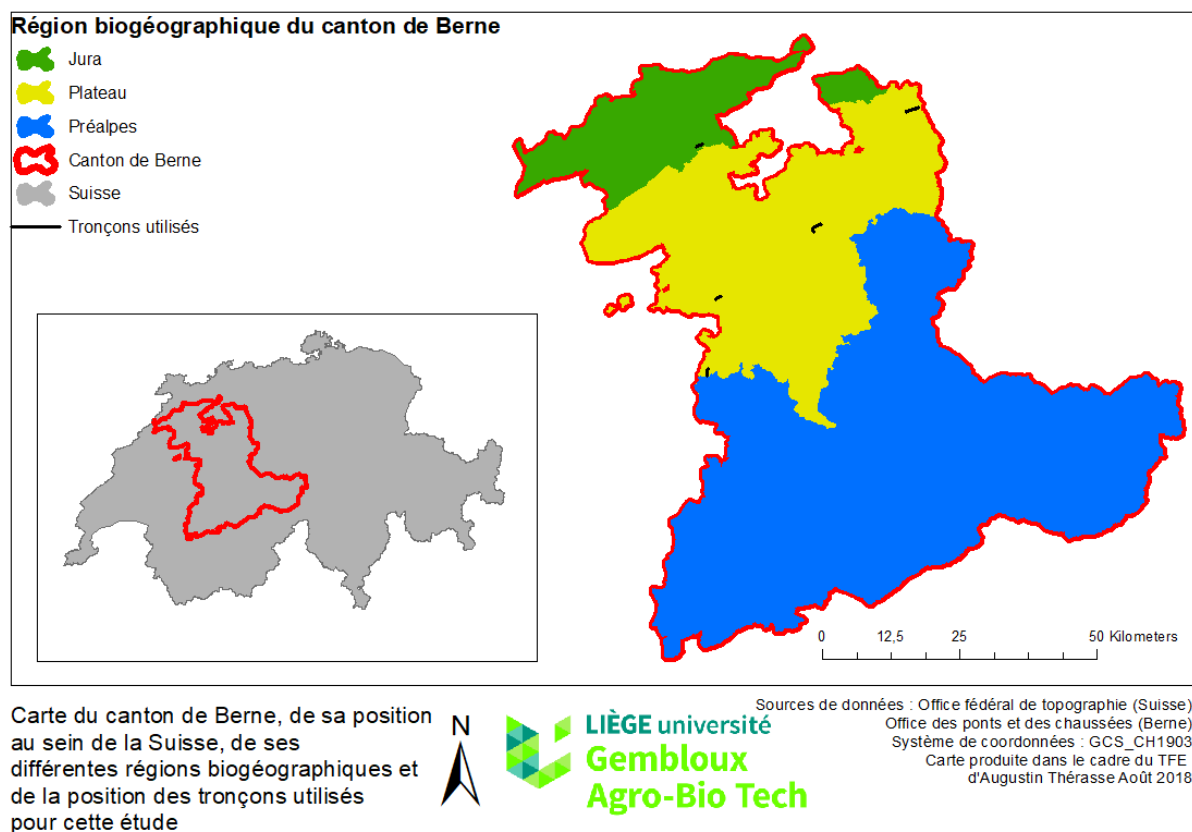


Figure 1: Carte du canton de Berne, de sa position au sein de la Suisse, des régions biogéographiques et de la position des tronçons de routes utilisés pour l'étude.

La surface de la forêt bernoise atteint environ 194.000 ha, ce qui représente approximativement 30% de la surface cantonale (Chiffres et faits concernant la forêt bernoise<sup>3</sup>). Quelques 34.000

<sup>2</sup> <https://www.blw.admin.ch/blw/fr/home/politik/datenmanagement/geografisches-informationssystem-gis/download-geodaten.html>

<sup>3</sup> [http://www.vol.be.ch/vol/fr/index/wald/wald/berner\\_wald/zahlen\\_fakten.html](http://www.vol.be.ch/vol/fr/index/wald/wald/berner_wald/zahlen_fakten.html)



propriétaires privés se partageant une petite moitié (48%) de la surface boisée du canton, alors que cette proportion de forêt privée dépasse largement la moyenne suisse (28%). En moyenne, les forêts bernoises sont constituées à 70% de résineux, avec un gradient nord-sud en termes de composition (54% de résineux dans le Jura bernois contre 84% dans les Préalpes). L'épicéa, le sapin et le hêtre représentent à eux trois près de 90% du volume total de bois sur pied (Figure 2).



Figure 2: Composition moyenne en essences de la forêt bernoise

Le canton de Berne comporte approximativement 2100 km de routes cantonales et 9900 km de routes et chemins communaux (Office des ponts et des chaussées<sup>4</sup>). Cela correspond, en comptant les quelques 190 km de routes nationales, à une densité moyenne cantonale d'un peu plus de 2 km de routes par km<sup>2</sup>. La densité du réseau routier au sein de la région du plateau, du canton de Berne, étant bien entendu plus élevée que dans les Préalpes.

#### 4.1.2. Contexte cynégétique

Contrairement à d'autres pays européens, la propriété foncière en Suisse ne donne pas le droit de chasser sur ses terres. Au sein du canton de Berne, c'est le régime de la chasse à patente qui est mis en place et qui permet de chasser sur l'ensemble du territoire cantonal, à l'exception des districts franc fédéraux et cantonaux. La patente achetée par le chasseur lui donne le droit à tirer un nombre défini d'animaux. Par exemple, pour pouvoir tirer un chevreuil au sein du canton de Berne, un chasseur devra donc s'acquitter d'une patente de base et d'une patente B pour un montant total de 315 francs suisses.

Ainsi, sont prélevés dans le canton de Berne chaque année, approximativement un peu plus de 6000 chevreuils (Figure 3). Pour ce qui est des autres ongulés, le cerf élaphe et le chamois sont quasiment absents de la région du plateau suisse, le cerf se retrouvant principalement dans les Préalpes et le chamois dans les Préalpes et le Jura. Le sanglier quant à lui se retrouve uniquement dans le nord-ouest du canton, dans le Jura bernois, mais s'aventure de plus en plus vers le plateau.

<sup>4</sup> [https://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/organisation/tba/ueber\\_uns/UnserNetz.html#NS](https://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/organisation/tba/ueber_uns/UnserNetz.html#NS)



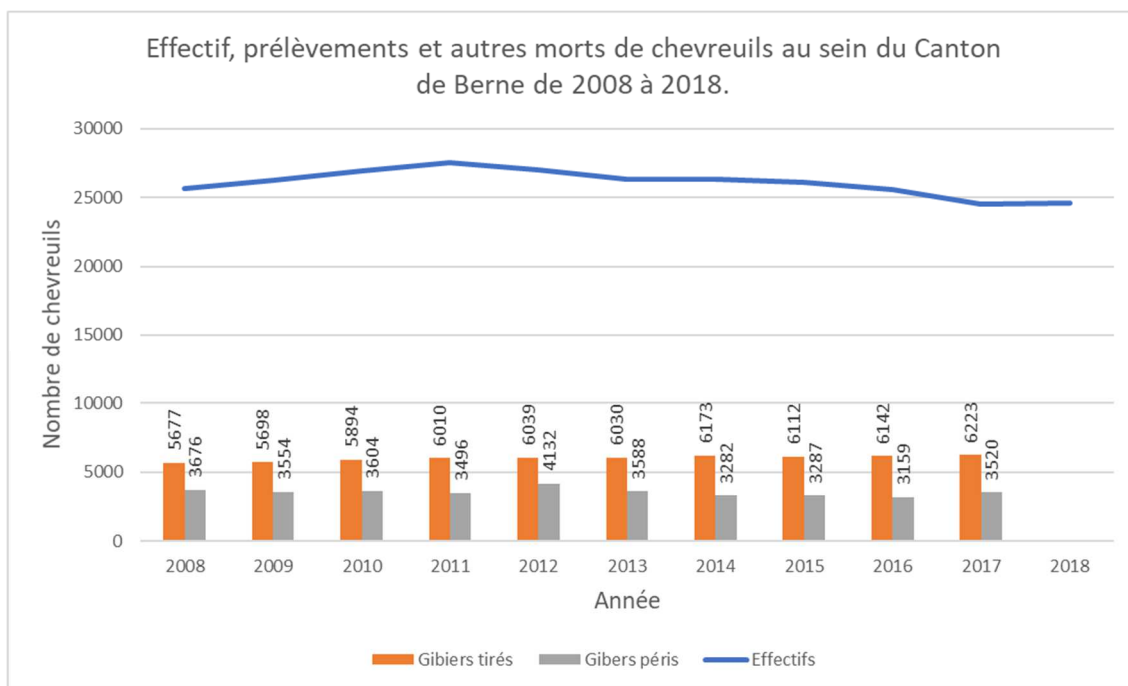


Figure 3: Histogramme représentant les effectifs et prélèvements de chevreuils au sein du canton de Berne

Comme on le voit sur la Figure 4, en plus de la chasse, il y a énormément de chevreuils qui périssent chaque année au sein du canton pour d'autres raisons (plus de la moitié de ceux qui sont chassés). Beaucoup de ces autres morts recensées sont liées aux activités humaines et ne sont pas naturelles. Ainsi, en 2016, plus de 50% des morts de chevreuils en dehors des activités de chasses proviennent d'accidents routiers (Figure 4).

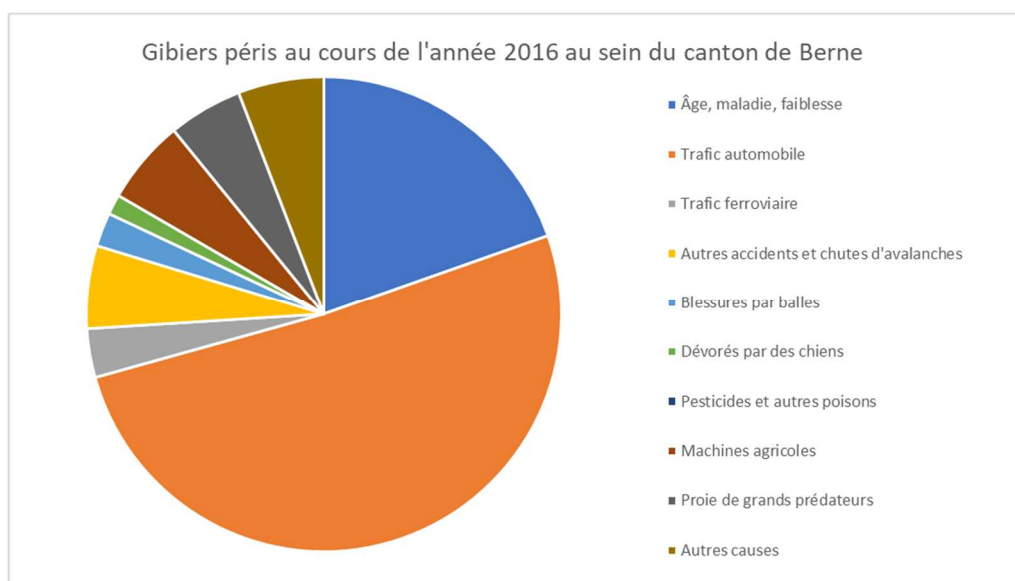


Figure 4 : Causes de mortalité d'ongulés à l'exclusion de la chasse au cours de l'année 2016 dans le canton de Berne

## 4.2. Les réflecteurs

### 4.2.1. Le Swaro Warn

Le modèle Swaro Warn (SW) est un réflecteur conçu par l'entreprise Swareflex, distribué en Suisse par Mabilec SA, qui se monte sur les délinéateurs présents le long des routes (Figure 5).



Sa fiche de description stipule que ce réflecteur est adapté à tout terrain et que c'est la lumière des phares à l'approche d'un véhicule qui est déviée latéralement vers le terrain environnant. Cela crée une sorte de barrière d'avertissement qui encourage les animaux à attendre le passage du véhicule ou bien à prendre la fuite. Mabilec SA stipule également qu'il n'y a aucun risque d'éblouissement du conducteur, que ces réflecteurs permettent le maintien du passage naturel du gibier et qu'il n'y a aucun effet d'accoutumance. Le coût de ce réflecteur est de 16 CHF l'unité.

*Figure 5: Le Swarowarn (© Swareflex)*

Mabilec SA conseil une installation de 100 réflecteurs par kilomètre pour une route rectiligne et précise qu'il faut en considérer davantage pour une route contenant beaucoup de virages (sans toutefois préciser combien). D'après eux, il est possible de prouver que le dispositif SW réduit durablement la mortalité animale due à la circulation routière. Après l'installation de 20 000 réflecteurs SW dans 100 réserves du Tyrol du Sud, la mortalité des animaux sauvages due à la circulation routière aurait régressé de 63%.

Swareflex (entreprise et marque du groupe Swarovski) stipule qu'il existe de nombreuses études de terrain attestant de la haute efficacité de leurs réflecteurs, mais reconnaît que celles-ci manquent de « méthode scientifique ». Ceci car les changements en nombres d'accidents impliquant la faune sauvage ne sont pas simplement influencés par leur réflecteur, mais par une multitude d'autres facteurs qui ne peuvent être pris en compte correctement, tel que le comportement animal.

### 4.2.2. Le Multiwarn Wildlife Protector

Le Multiwarn Wildlife Protector (MWP) diffère grandement de l'autre type de réflecteur de par sa structure bien plus hétérogène (Figure 6).



Figure 6: Le Multiwarn wildlife protector (© Multi wildschutz warner)

Il se place de la même manière que le SW et agit également plus ou moins de la même manière en créant une barrière lumineuse le long de la route. Par contre, le MWP s'en distingue de par l'utilisation de différents systèmes de réflexion et de répulsions (Figure 7) tels que :

- Une surface réfléchissante bleue sur le dessus (*blue reflective sheeting*) ;
- Des réflecteurs avec une structure en nid d'abeille, de différentes couleurs, permettant de créer des flashes lumineux recouvrant l'entièreté du spectre lumineux visible par la faune sauvage ;
- 4 traits lumineux bleu ajoutant une illumination supplémentaire sur 180° (*blue light guides*) ;
- Une éponge présente dans la partie supérieure du réflecteur pouvant être imbibée de répulsif sensé créer une barrière olfactive (*odor repellent in foam*).

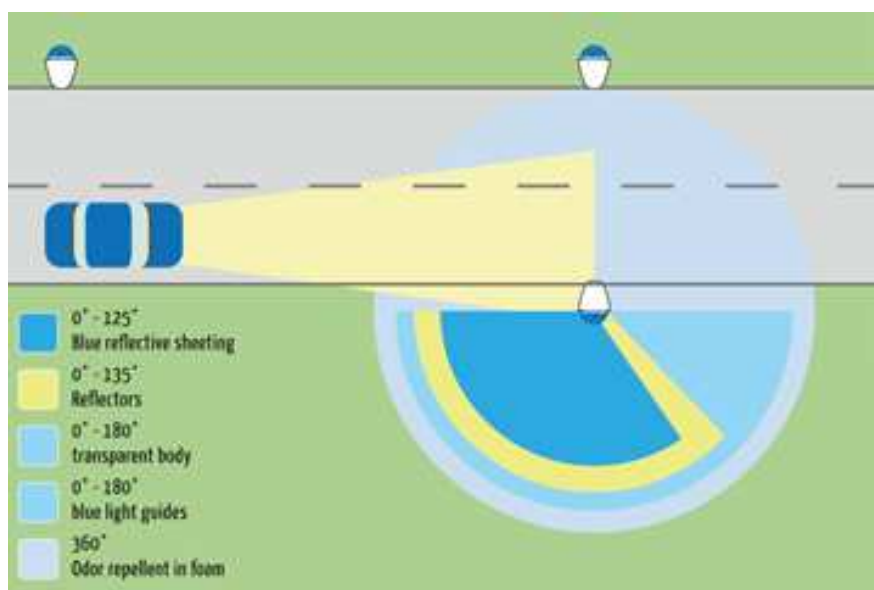


Figure 7: Schéma représentant le fonctionnement du MWP (© Multi wildschutz warner)

Le composé utilisé pour créer cette barrière olfactive, dans ce cas-ci, est la barrière odorante Vario. La substance active est appliquée sur la mousse du réflecteur à l'aide d'un tube capillaire. Celle-ci est composée de constituants d'odeur du loup, du lynx, de l'ours et l'homme. Environ 30000 km de routes en Allemagne aurait déjà été équipés de cette substance, avec comme bilan une réduction moyenne de collisions avec la faune de 76% (selon des revendeurs<sup>5</sup>). Pour être efficace, les dépôts de mousses doivent être réinoculés selon certains deux fois par an et selon d'autres tous les 3 mois.

### 4.3. Caméra thermique et amplificateur de lumière

La caméra thermique utilisée pour l'acquisition de données est une Caméra FLIR T640. Ce type de caméra portable, légère et simple d'utilisation est le parfait outil pour une première expérience en étude comportementale. Les images thermiques de 307.200 pixels permettent une excellente détection et des mesures de température à grandes distances (Figure 8: Photos réalisées sur le terrain avec la caméra thermique Figure 8).

C'est effectivement cette grande capacité de détection qui est véritablement le point fort de cet outil. Que cela soit durant la journée, à la tombée du jour, durant la nuit ou au lever du soleil, cette caméra agit comme un véritable scan et permet de détecter avec une extrême facilité le moindre animal.

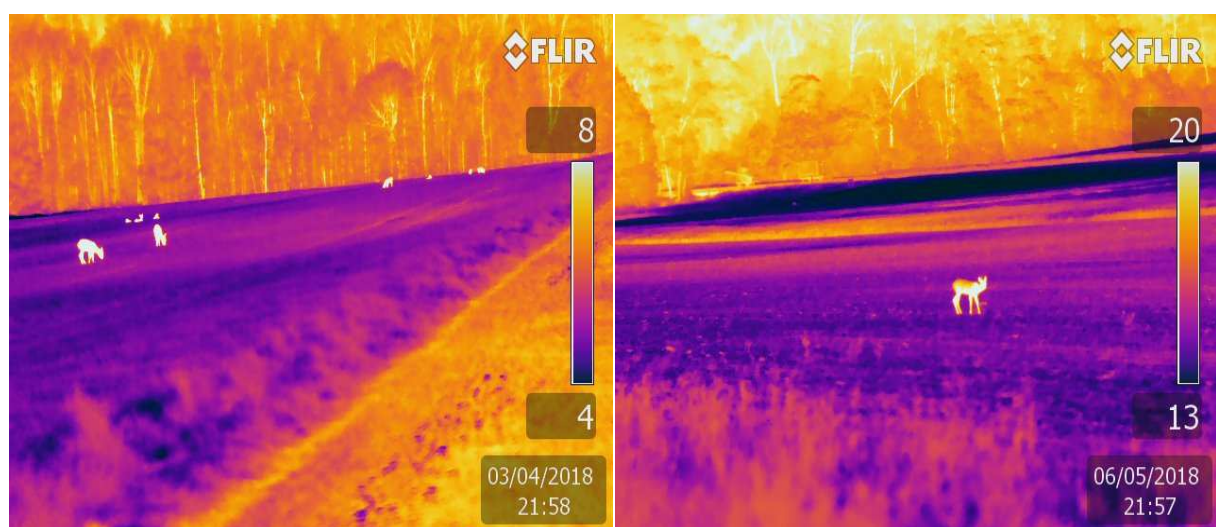


Figure 8: Photos réalisées sur le terrain avec la caméra thermique (© Augustin Thérasse)

La résolution de cet appareil, permet d'observer et d'enregistrer divers comportements d'animaux de manière très claire. C'est également cette grande précision qui permet d'analyser la façon de se mouvoir des animaux et d'ainsi faciliter leur identification. On peut par exemple, lorsque les conditions sont correctes, observer un animal comme un chevreuil entrain de lever la tête ou se de gratter à plus de 300 m.

Un amplificateur de lumière a également été utilisé pour les observations de terrain. Celui-ci ne permettait pas d'enregistrer des vidéos et ne pouvait être utilisée que lorsqu'il n'y avait

---

<sup>5</sup> <http://www.hagopur-shop.de/Hagopur+Duftzaun+Konzentrat+500+ml+vario.htm>

aucune source de lumière à proximité. Cet outil permettait d'observer le gibier quand aucun véhicule n'était présent, de savoir où filmer avec la caméra le moment venu et d'ainsi limité l'utilisation de la batterie de la caméra thermique. En outre, il permettait d'observer le gibier de manière plus précise, car les images étaient différentes (plus grand contraste).

#### 4.4. Sélection et description des tronçons

##### 4.4.1. Quel tronçon choisir ?

Au total, une trentaine de tronçons de routes au sein du canton de Berne ont été équipés de réflecteurs (Annexe 1). Parmi ceux-ci, vingt-deux d'entre eux possédaient des réflecteurs qui ont fait l'objet de cette étude. C'est finalement sur deux tronçons que les interactions entre chevreuils et véhicules (ICHV) aux abords de routes possédant des réflecteurs se sont réalisées. Trois tronçons sans réflecteurs ont quant à eux été utilisés comme témoins.

En effet, beaucoup de tronçons ont été mis de côté pour cause d'inadéquation avec l'étude. Les raisons pouvant conduire à un écartement sont les suivantes :

- i) La partie de la route utilisant les réflecteurs se situe entièrement au sein d'un massif forestier. Ceci implique qu'il est impossible de réaliser des observations d'animaux aux abords de la route, lorsqu'ils sont soumis à ces réflecteurs. La densité d'arbres ainsi que celle de la végétation empêchent de pouvoir distinguer le comportement du chevreuil au travers de la caméra thermique, et même dans la plupart des cas de distinguer l'animal en question ;
- ii) Un dénivelé trop important aux abords de la route empêche selon les cas de pouvoir observer les ongulés à proximité de la route, d'avoir une vision plus ou moins claire de la chaussée ou de se positionner de façon à ne pas déranger le gibier ;
- iii) La présence d'une voie ferrée à proximité immédiate de la route.;
- iv) L'utilisation d'une mesure de mitigation supplémentaire le long du tronçon, ne provenant pas du projet, ni de l'office des ponts et des chaussées. Par exemple, des chasseurs ont posés des réflecteurs olfactifs supplémentaires ;
- v) La présence d'éclairage public le long de la route. La quasi-totalité des tronçons répertoriés n'étant pas éclairés, les quelques routes accidentogènes possédant un éclairage nocturne ont été évitées ;
- vi) Des routes trop sinueuses, obligeant l'observateur de se rapprocher trop de la route et favorisant la détection par les animaux ;
- vii) Les routes le long desquelles aucun ongulé n'a pu être observé à proximité.

Le tronçon idéal correspond à un tronçon de route linéaire, situé sur un terrain plat et séparant une zone ouverte agricole d'une forêt (2.1.1 Habitat). Il fallait ensuite trouver un endroit le long de ce tronçon où il est possible de s'installer à l'abri du vent (pour ne pas se faire détecter par le gibier), duquel il est possible d'observer la chaussée et le maximum de zone ouverte.

L'utilisation d'un Géoportail tel que Maps of Switzerland<sup>6</sup> permet de se faire une première idée des conditions et de l'environnement entourant les différents tronçons. Les cartes topographiques en libre accès permettent de savoir s'il y a des habitations à proximité, quelle est l'orientation de la pente, si le tronçon se trouve dans un massif forestier, s'il y a beaucoup de tournants, ... L'outil Streetview<sup>7</sup> de Google permet quant à lui de se mettre à la place d'un conducteur et de voyager virtuellement sur le tronçon de route.

Des pièges photographiques de la marque Reconyx HC500 ont été utilisés pour la sélection des tronçons et pour aider dans l'acquisition des données. Ils ont été installés à une hauteur de 50 cm au-dessus du niveau du sol, sur des poteaux électriques ou sur des arbres. Il a fallu les orienter vers le milieu ouvert situé le long du tronçon, de manière à ne pas être déclenché par des véhicules circulant sur la route. Cela a notamment permis de vérifier si l'on pouvait bel et bien observer des chevreuils à proximité de ces tronçons, mais aussi à quelle heure. Ainsi, la perte de temps sur des tronçons où on ne voyait finalement aucun gibier a pu être limitée.

Les données reprenant les coordonnées géographiques, la date et l'heure de chaque WVC constaté au sein du canton de Berne les années précédentes ont été fournies par l'office des ponts et des chaussées. Ce data a permis de retrouver les endroits exacts et plages horaires idéales pour observer des interactions entre chevreuils et véhicule.

Malgré ces outils, il était quand même toujours nécessaire d'aller sur le terrain afin de comparer les différents tronçons et de pouvoir choisir ceux qui conviendront au mieux à l'étude.

#### 4.4.2. Description des tronçons sélectionnés

Le tronçon équipé de réflecteurs de type SW sur lequel les ICHVs ont été enregistrés correspond à une portion de route traversant un massif forestier, d'une longueur totale d'approximativement 2450 m (Carte 1 de la Figure 9). Les réflecteurs ont été installés en janvier 2017, sur les délinéateurs présents des deux côtés de la route, et espacés en moyenne de 57 mètres les uns des autres. Les observations ont été réalisées au sein d'une zone ouverte situé à la fin du massif (Annexe 2). Cette zone ouverte correspondait à des cultures céréalières qui, au moment auquel les observations ont été réalisées (Tableau 1), étaient en début de végétation et peu denses. La quantité de chevreuils présent dans les cultures au sein du massif était assez importante, on pouvait y voir en moyenne jusqu'à 11 chevreuils en même temps, dans la zone ouverte et par nuit.

Tableau 1: Récapitulatif des dates d'observation pour chaque type de réflecteur (n = nombre d'ICHVs enregistrés ce jour-là).

| Types de<br>réflecteurs | Mois                                           |                             |
|-------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|
|                         | Avril                                          | Mai                         |
| SW                      | 1 (n=67), 2(n=14), 3 (n=44), 6 (n=2), 8 (n=14) | -                           |
| MWP                     | 22 (n=6), 23 (n=8)                             | 2 (n=2), 6 (n=19), 9 (n=20) |

<sup>6</sup> <https://map.geo.admin.ch>

<sup>7</sup> <https://www.instantstreetview.com>



Aucun

|                   |                                            |
|-------------------|--------------------------------------------|
| 7 (n=2), 12 (n=7) | 21 (n=24), 24 (n=27), 26 (n=13), 28 (n=27) |
|-------------------|--------------------------------------------|

Ensuite, le tronçon équipé de réflecteurs de type MWP sur lequel les ICHVs ont été enregistré correspond à une route se trouvant à proximité d'un massif forestier. La route traverse une zone ouverte correspondant à un ensemble de prairies et de cultures. Ce tronçon a été équipé de réflecteur sur les deux côtés de la chaussée et sur un peu plus de 1500m. Ils ont été installés fin octobre 2016, à raison d'un réflecteur tous les 57 mètres. La quasi-totalité des observations se sont faites dans la zone ouverte au sud du tronçon (orienté plus ou moins est/ouest), entre les deux bandes boisées (Carte 2 de la Figure 9). Ces observations ont été enregistrées entre le 22 avril et le 9 mai, période à laquelle les cultures et zones herbeuses étaient déjà d'une hauteur assez conséquente (approximativement 50 cm de hauteur). De plus, les concentrations d'animaux étaient ici moindres, car on y voyait tout au plus 2 à 3 chevreuils en même temps.

Finalement, trois tronçons sans réflecteurs ont été utilisés pour cette étude. Deux de ceux-ci n'ont permis de réaliser que quelques observations, vu les faibles densités de chevreuils. Les observations sur ces tronçons ont été réalisées entre le 7 et le 12 avril, période à laquelle la hauteur du couvert végétal des prairies et des cultures occupant les zones ouvertes aux abords de la route était relativement basse.

Le tronçon qui a été utilisé majoritairement possédait autour de lui de grandes densités de gibiers. On y voyait aisément jusqu'à 10 chevreuils en même temps, dans la zone ouverte et par nuit. Cette route traverse une petite zone agricole qui est entourée de forêt, avec en son sein quelques habitations et situé non loin d'une carrière en activité (Carte 3 de la Figure 9). Les observations ont été réalisées entre le 21 et le 29 mai, période à laquelle les hauteurs du colza et des céréales au sud du tronçon ne permettaient pas de filmer les animaux, tandis que la prairie et les cultures du côté nord (étant rases) représentaient un site d'observation idéal.



**Carte 1:**

Tronçon  
équipé de  
réflecteurs  
SW



**Carte 2:**

Tronçon  
équipé de  
réflecteurs  
MWP



**Carte 3:**

Tronçon  
non-  
équipé de  
réflecteurs



0 0,125 0,25 0,5 Kilometers

Sources : Office fédéral de topographie (Suisse)  
Office des ponts et des chaussées (Berne)  
Système de coordonnées : GCS\_CH1903

Carte produite dans le cadre du mémoire d'Augustin Thérasse (Août 2018)



Figure 9: Cartes avec images satellites représentant les différents tronçons de routes utilisés pour cette étude



## 4.5. Acquisition des données

La totalité des données ont été récoltées sur un total de 30 séances d'affût, de deux à quatre heures, réalisées après le coucher ou avant le lever du soleil. Il est arrivé que le trafic routier soit simulé avec l'aide d'un stagiaire de l'HESGE qui utilisait son véhicule lorsque des chevreuils arrivaient en zone de détection. Ces simulations ont été réalisées sur le tronçon sans réflecteurs (Carte 3 de la Figure 9), là où le poste d'observation était proche d'une route secondaire, ceci permettant de rejoindre le tronçon test avec la voiture, sans se faire repérer par le gibier.

Les séances d'observation réalisées après le coucher du soleil se sont avérées plus fructueuses car en investissant son poste d'observation une demi-heure avant le coucher du soleil, l'observateur arrivait sur place avant le début de la période d'activité du chevreuil et n'occasionnait que peu de dérangement.

Les facteurs principaux affectant le temps resté sur place étant la météo, la quantité de gibier aperçu et la batterie de la caméra thermique.

### 4.5.1. Qu'est-ce qu'une interaction ?

Une interaction correspond à la réponse d'un chevreuil au passage d'une voiture à son niveau, lorsque celui-ci se trouve dans une zone ouverte, à une distance inférieure à 50 mètres de la route (zone de détection). Les autres véhicules tels que bus, camions et cyclistes ne peuvent faire l'objet d'une interaction.

Chaque interaction est séparée des autres par un minimum de 20 secondes. Par exemple, si 15 secondes après une première interaction un vélo vient à passer au niveau du chevreuil, suivi d'une voiture 19 secondes après ce dernier, aucun des passages des deux derniers véhicules ne pourra être considéré comme une interaction. Le terme « au niveau du chevreuil », correspond au moment (à une seconde près) auquel la voiture se situe juste avant l'endroit considéré comme la projection orthogonale de la position du chevreuil sur la route. C'est-à-dire quand le maximum de lumière est censé être réfléchi par les réflecteurs.

Une interaction peut être considérée comme telle, uniquement si le passage de la première voiture au niveau du chevreuil sur la bande vidéo se déroule 10 secondes après le début de celle-ci. Cela permet de s'assurer qu'aucun véhicule n'est passé depuis au moins 20 secondes, étant donné que le temps nécessaire à l'appareil pour se préparer à prendre une nouvelle vidéo est de plus de 10 secondes (après la fin d'une vidéo). Ce temps minimum a été choisi afin de pouvoir considérer les interactions comme indépendantes les unes des autres. En effet, en considérant qu'une voiture roule à 80 km/h sur ce genre de route (limiter généralement à 80 ou 90 km/h), ces 20 secondes lui permettent de faire un peu moins de 450 m, distance supposée suffisante pour ne pas être détectée par un chevreuil sur ce type de tronçon.

### 4.5.2. Comportements avant et après

Pour chaque interaction, il a fallu visionner le lendemain ou bien les jours suivants plusieurs fois chaque vidéo, afin de pouvoir classer les comportements observés.

Tout d'abord, pour chaque interaction, l'action réalisée par la tête, tout comme le type de mouvement du chevreuil avant le passage du véhicule à son niveau, a été définis sur base des 10 secondes précédant le dit passage. Si plusieurs actions de têtes différentes ont été observées durant ce court laps de temps, c'était la majoritaire qui était retenue.

Ensuite, pour ce qui est des définitions de l'action de la tête et du type de mouvement après le passage du véhicule, celles-ci correspondent à des observations instantanées et sont définies vis-à-vis du moment exact où la voiture passe au niveau de l'animal.

C'est ainsi, grâce à la description du mouvement et l'action réalisée par la tête du chevreuil, qu'il a été possible de définir chaque comportement avant et après le passage d'un véhicule pour chaque interaction (Tableau 2).

*Tableau 2:Récapitulatif des comportements en fonction des mouvements et des actions de la tête des chevreuils.*

| <b>Type de mouvement</b> | <b>Action de la tête</b> | <b>Comportement avant ou après</b> |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Statique relevé          | Grattage ou toilettage   | Vigilance                          |
|                          | Levée                    | Vigilance                          |
|                          | Broutage                 | Broutage                           |
| Marche                   | Levée                    | Mouvement                          |
|                          | Broutage                 | Broutage                           |
| Course                   | Levée                    | Fuite                              |
| Jeu                      | Levée                    | Mouvement                          |
| Statique couché          | Levée                    | Vigilance                          |

Ces différents types de mouvement, actions de têtes et comportements ont en partie été inspirés des travaux de D'Angelo et al. (2006) et de Brieger et al. (2017) et adaptés aux vidéos enregistrées par la caméra thermique, grâce à plusieurs nuits d'observations préalables à l'étude.

#### **4.5.3. Niveaux de réaction**

Quatre niveaux de réaction ont été identifiés sur une échelle ordinale : pas de réaction, réaction de vigilance, réaction douce et réaction forte.

Un chevreuil n'ayant pas changé de comportement après le passage d'un véhicule sera considéré comme n'ayant pas réagi.

La réaction de vigilance correspond quant à elle à une réaction très légère, entraînée la plupart du temps par un simple mouvement de la tête (ex : chevreuil qui broute et qui relève la tête). Une autre forme de réaction de vigilance peut être celle d'un chevreuil en mouvement qui s'arrête et qui tourne la tête vers la route au moment du passage d'un véhicule.

Une réaction dite « douce » correspond quant à elle à une modification du comportement plus marquée. Par exemple, lorsqu'un chevreuil qui est en train de se nourrir ou qui est en vigilance se met clairement en mouvement. Cette réaction peut aussi provenir d'un chevreuil qui est déjà

en train de marcher et qui change de direction, s'éloigne de la route calmement, au moment du passage d'une voiture à son niveau.

Tableau 3: Récapitulatif des types de réactions en fonction des modifications de comportements.

| Comportement avant | Comportement après | Réaction associée                             |
|--------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| Broutage           | Broutage           | <i>Pas de réaction</i>                        |
| Broutage           | Vigilance          | <i>Réaction de vigilance / Réaction douce</i> |
| Broutage           | Mouvement          | <i>Réaction de vigilance / Réaction douce</i> |
| Broutage           | Fuite              | <i>Réaction forte</i>                         |
| Vigilance          | Broutage           | <i>Pas de réaction</i>                        |
| Vigilance          | Vigilance          | <i>Pas de réaction/ Réaction de vigilance</i> |
| Vigilance          | Mouvement          | <i>Réaction de vigilance / Réaction douce</i> |
| Vigilance          | Fuite              | <i>Réaction forte</i>                         |
| Mouvement          | Broutage           | <i>Pas de réaction</i>                        |
| Mouvement          | Vigilance          | <i>Réaction de vigilance</i>                  |
| Mouvement          | Mouvement          | <i>Pas de réaction/ Réaction douce</i>        |
| Mouvement          | Fuite              | <i>Réaction forte</i>                         |
| Fuite              | Vigilance          | <i>Réaction de vigilance</i>                  |
| Fuite              | Fuite              | <i>Réaction forte</i>                         |

Les réactions fortes quant à elle sont toujours liées à une fuite d'un chevreuil, qui était soit en train de se nourrir, de marcher ou qui était en vigilance. Certains animaux ayant déjà pris la fuite avant l'arrivée de la voiture et ayant continué à fuir après sont également considérés comme ayant eu une réaction forte (Tableau 3).

#### 4.5.4. Autres observations

Outre les interactions, des observations moins spécifiques ont également été enregistrées. En effet, des traversées de route ont été enregistrées, visionnées et analysées en fonction des types de réflecteurs et de l'habitat. Les allures de ces traversées ont été définies soit comme « calme » soit comme « stressée », afin de différencier un chevreuil traversant la route en marchant (parfois plus ou moins vite), d'un chevreuil le faisant en courant. Ces observations pourront peut-être permettre de comprendre comment et pourquoi un chevreuil traverse à cet endroit et à ce moment-là.

#### 4.6. Analyses réalisées

Un test khi carré d'indépendance a été appliqué dans le but de déterminer si les niveaux de réactions étaient corrélés au type de réflecteur.

Une régression de poisson prenant en compte ces deux variables et leurs interactions permettra de savoir à quel point elles peuvent être significatives (Equation 1). Ce type de régression est couramment utilisé dans le cadre de comptage de données qualitatives telles que celles-ci.

$$\text{Nombres d'interactions} \sim \text{Types de réflecteurs} * \text{Types de réactions}$$

Équation 1: Modèle n°1 tel qu'introduit dans Rstudio avec la commande glm.

Enfin, une régression ordinale avec un Cumulative link (Christensen, 2011) a été ajustée de manière à expliquer le niveau de réaction lors de l'ICHV en fonction du type de réflecteur et du comportement de l'animal avant l'arrivée du véhicule (Equation 2). Ceci permettra d'intégrer le comportement de l'animal dans l'analyse afin de mieux comprendre les réactions.

$$\text{Niveau de réaction} \sim \text{Types de réflecteurs} * \text{Comportement avant}$$

*Équation 2: Modèle n°2 tel qu'introduit dans Rstudio avec la commande clm*

## 5. Résultats

### 5.1. H1 : Efficacité des réflecteurs

#### 5.1.1. Test $\chi^2$

Le Tableau 4 correspond à une table de contingence reprenant les nombres d'ICHVs en fonction des types de réflecteurs et des niveaux de réactions.

*Tableau 4: Table de contingence du nombre d'ICHVs en fonction des types réflecteurs et des niveaux de réactions (n=nombre d'ICHVs total).*

| Type de réflecteur | Niveaux de Réaction |                       |                |                |
|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------|----------------|
|                    | Pas de réaction     | Réaction de vigilance | Réaction douce | Réaction forte |
| Aucun (n=100)      | 57                  | 25                    | 7              | 11             |
| SW (n=141)         | 81                  | 50                    | 7              | 3              |
| MWP (n=55)         | 44                  | 9                     | 1              | 1              |

Le test  $\chi^2$  d'indépendance (ou de Pearson) appliqué à ces données a permis de rejeter l'hypothèse nulle d'indépendance des variables « types de réflecteurs » et « niveaux de réactions » (p-value : 0,01294 ; 6 ddl), indiquant une influence du type de réflecteur sur les niveaux de réactions (Annexe 4).

#### 5.1.2. Régression de Poisson

Les résultats de la régression de poisson sont résumés dans le Tableau 5. Les estimations représentent les coefficients de la régression de Poisson du modèle, ce sont des valeurs logarithmiques permettant de calculer le nombre d'ICHV attendus, tandis que les deux dernières colonnes (Z- et P-Value) représentent les résultats du test de Wald, qui vérifie l'hypothèse de nullité de chaque coefficient. Les interactions dont les comportements précédant celles-ci étaient de fuite sont trop peu nombreuses, elles n'ont donc pas été prises en compte dans le modèle. Les modalités de références pour les variables « type de réflecteur » et « niveau de réaction » sont respectivement « aucun » et « pas de réaction ».

Ce qui nous intéresse dans ce cas-ci, ce sont les interactions entre types de réflecteurs et niveaux de réactions (les 6 dernières lignes du Tableau 5). On peut y redécouvrir ce qui a été prédit par le test khi-carré précédemment présenté, qu'il existe effectivement des interactions entre des modalités de réflecteurs et des niveaux de réactions (lorsque faible P-Valeur). Ces interactions

concernent les réactions fortes avec les deux types de réflecteurs, et dans une moindre mesure les réactions de vigilance avec le MWP.

Tableau 5: Résumé des résultats de la régression de Poisson pour le modèle 1 (. = presque significatif ; \* = significatif ; \*\*\* = très hautement significatif).

|                             | Estimation | Erreur Std. | Z-Valeur | P-Valeur     |
|-----------------------------|------------|-------------|----------|--------------|
| (Intercept)                 | 4.0431     | 0.1325      | 30.524   | < 2e-16 ***  |
| MWP                         | -0.2589    | 0.2007      | -1.290   | 0.197070     |
| SW                          | 0.3514     | 0.1729      | 2.033    | 0.042099 *   |
| Réaction de vigilance       | -0.8242    | 0.2399      | -3.436   | 0.000591 *** |
| Réaction douce              | -2.0971    | 0.4005      | -5.236   | 1.64e-07 *** |
| Réaction forte              | -1.6452    | 0.3293      | -4.996   | 5.87e-07 *** |
| MWP : Réaction de vigilance | -0.7628    | 0.4375      | -1.744   | 0.081224 .   |
| SW : Réaction de vigilance  | 0.3417     | 0.2998      | 1.140    | 0.254343     |
| MWP : Réaction douce        | -1.6870    | 1.0877      | -1.551   | 0.120900     |
| SW : Réaction douce         | -0.3514    | 0.5618      | -0.626   | 0.531642     |
| MWP : Réaction forte        | -2.1390    | 1.0636      | -2.011   | 0.044305 *   |
| SW : Réaction forte         | -1.6507    | 0.6739      | -2.449   | 0.014307 *   |

Les réactions fortes sont significativement moins nombreuses lorsqu'il y a un des deux types de réflecteurs, que lorsqu'il n'y pas de réflecteurs le long de la route. Les réactions de vigilance seraient quant à elles presque significativement moins nombreuses lorsque le réflecteur de type MWP est utilisé.

### 5.1.3. Régression ordinale

Dans le cas d'une régression ordinale de type *Cumulative link model*, les estimations de coefficient de régression permettent de savoir si une variable explicative a tendance à augmenter la probabilité de tomber dans les catégories hautes, ou basses, de variables à expliquer (Tableau 6). Dans ce cas-ci, une variable possédant une valeur d'estimation négative indique une plus grande probabilité de tomber dans des niveaux de réactions généralement plus faible (pas de réaction et réaction de vigilance).

Tableau 6: Résumé des résultats de la régression ordinale pour le modèle 2 (. = presque significatif ; \* = significatif)

|                 | Estimation | Erreur Std. | Z-Valeur | P-Valeur |
|-----------------|------------|-------------|----------|----------|
| MWP             | -1.2364    | 0.6852      | -1.805   | 0.0711 . |
| SW              | -0.2745    | 0.4179      | -0.657   | 0.5113   |
| Mouvement       | -0.1388    | 0.5650      | -0.246   | 0.8059   |
| Vigilance       | -0.8601    | 0.4931      | -1.744   | 0.0811 . |
| MWP : Mouvement | -0.2947    | 1.0267      | -0.287   | 0.7741   |
| SW : Mouvement  | 1.9253     | 0.8591      | 2.241    | 0.0250 * |
| MWP : Vigilance | 0.4012     | 0.9358      | 0.429    | 0.6681   |
| SW : Vigilance  | -0.7584    | 0.6888      | -1.101   | 0.2709   |

Les modalités de références qui ont été choisies pour ce modèle sont respectivement pour la variable type de réflecteur et la variable comportement avant, « Aucun » et « Broutage ».

Seule l'interaction entre les modalités « SW » et « Mouvement » possède une valeur significative. Ceci indique que les réactions d'un chevreuil sont généralement plus fortes lorsque ceux-ci sont en mouvement avant une ICHV et le long d'une route équipée de réflecteur SW.

Ensuite, il semblerait que les probabilités d'obtenir des réactions plus fortes soient moins élevées lorsque le type de réflecteur utilisé est le MWP que lorsqu'il n'y en a pas. Pour ce qui est du SW, on dirait que sa présence n'augmente pas la probabilité d'obtenir des réactions plus fortes.

Finalement, il est aussi intéressant de remarquer que lorsque le comportement du chevreuil avant l'ICHV est de type vigilance, les probabilités d'obtenir des réactions de types faibles sont presque significativement plus importantes que lorsque l'animal est en train de se nourrir (car la modalité de référence est le broutage). En d'autres mots, le chevreuil réagirait moins fort lorsqu'il est en vigilance que lorsqu'il se nourrit.

#### 5.1.4. Analyse du comportement avant et après l'ICHV

Les diagrammes (*chord diagrams*) qui ont été créés représentent les devenirs (hémisphères sud) des comportements précédant les ICHVs (hémisphère nord). On peut ainsi voir pour chaque modalité de réflecteur, quels étaient les comportements majoritaires avant et après interaction, et d'où viennent ces changements.

##### 5.1.4.1. Avec réflecteurs de type SW

Comme on peut le voir sur la Figure 10, le comportement principal des chevreuils sur ce tronçon était le broutage, suivi de la vigilance. Ce diagramme permet de déceler plusieurs tendances intéressantes. Tout d'abord, un peu plus de deux tiers des animaux qui étaient vigilants avant l'ICHV, le sont restés.

Ensuite, seulement une moitié des animaux étant en train de se nourrir ont continué à brouter. En effet, un peu moins de l'autre moitié de ceux qui se nourrissaient sont devenus vigilants. Les quelques individus restant se sont mis en mouvement, sauf un seul d'entre eux qui a carrément pris la fuite.

Enfin, la plupart des animaux qui étaient en mouvement le sont restés, ou bien sont devenus vigilants. Il en résulte ainsi des animaux étant principalement vigilants après le passage d'un véhicule, alors que la majorité se nourrissait préalablement.

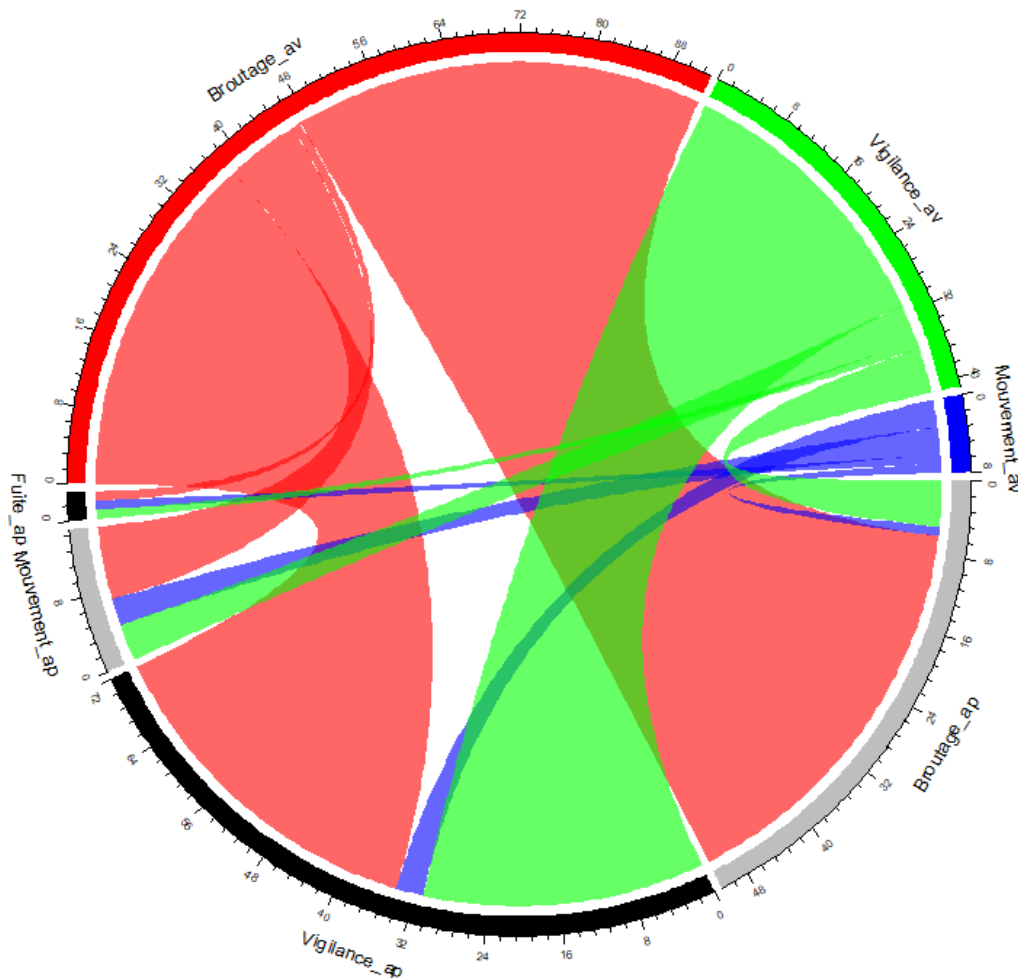


Figure 10: Diagramme (chord diagram) représentant les modifications de comportement des chevreuils, avant (\_av) et après (\_ap) une ICHV, lorsque le réflecteur SW est utilisé.

#### 5.1.4.2. Avec réflecteurs de type MWP

La Figure 11 permet assez vite de voir que les modifications de comportements sur ce tronçon de route ont été moindres que sur le SW.

En effet, les 3 comportements principaux avant les ICHVs (broutage, vigilance et mouvement) se répartissent approximativement de la même manière (un tiers chacun) et restent pour la majeure partie de chacun, dans la même catégorie de comportement. Le comportement majoritaire, avant et après, restant celui de vigilance. Les deux fuites survenues après le passage de voitures proviennent d'animaux qui étaient vigilants.



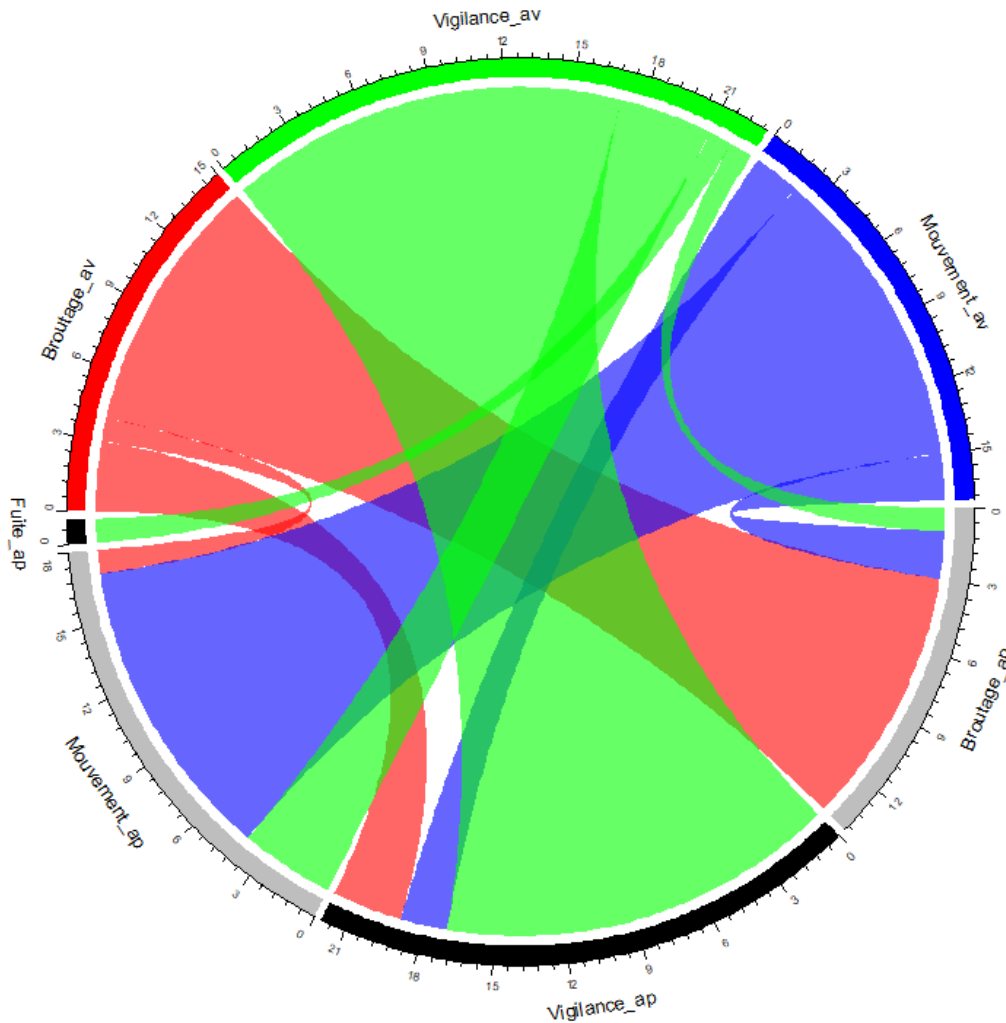


Figure 11: Diagramme (chord diagram) représentant les modifications de comportement des chevreuils, avant (\_av) et après (\_ap) une ICHV, lorsque le réflecteur MWP est utilisé.

#### 5.1.4.3. Sans réflecteurs

Le comportement qui était le majoritaire sur les tronçons non-équipés de réflecteurs était celui de vigilance. Il représente plus ou moins la moitié des comportements précédents les ICHVs et plus de la moitié des comportements finaux (Figure 12).

Le nombre de fuites après passage de voitures est ici relativement plus élevé que sur les tronçons possédant des réflecteurs. Ce grand nombre d'animaux ayant pris la fuite provient principalement de chevreuils qui étaient vigilants.

Un peu moins de la moitié des chevreuils qui étaient en mouvement sont devenus vigilants, même si la majorité d'entre eux n'ont pas changé de comportement. Plus de 50% des animaux qui étaient en train de s'alimenter sont quant à eux, comme sur le tronçon munis de réflecteur SW, devenus vigilants après passage d'un véhicule.

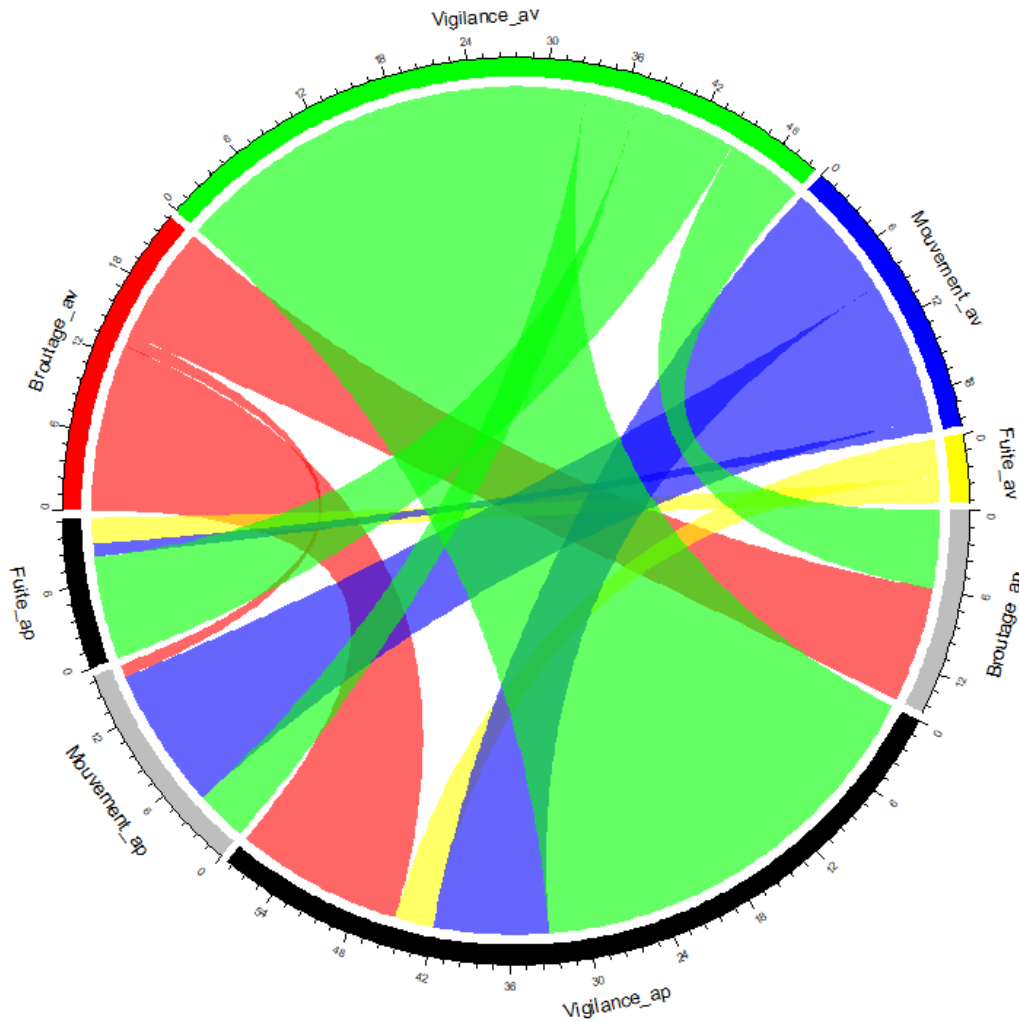


Figure 12: Diagramme (chord diagram) représentant les modifications de comportement des chevreuils, avant (\_av) et après (\_ap) une ICHV, lorsqu'aucun réflecteur n'est utilisé.

## 5.2. H2 : Les risques de la fuite

Toutes les fuites qui ont été reprises dans le Tableau 7 correspondent à des comportements de chevreuils observés après une ICHV, tels que ceux utilisés pour l'élaboration des modèles, mis à part les 2 fuites en direction de la route, qui ne pouvaient pas être considérées comme des interactions.

Tout d'abord, sur les 20 fuites observées, seulement deux ont permis d'augmenter le risque de DVC. Celles-ci ont été observées sur la portion de route perpendiculaire à un des tronçons non-équipé de réflecteurs (Carte 3 de la Figure 9). En réalité un seul et même chevreuil a en l'espace de quelques minutes réalisé exactement la même chose. Il se situait près du croisement de deux routes, et à l'arrivée d'une voiture, a traversé la route juste devant celle-ci afin de rejoindre la prairie de l'autre côté du carrefour. Il est ensuite revenu au même endroit pour réaliser la même traversée extrêmement dangereuse quelques minutes après.

Tableau 7: Nombres de fuites de chevreuils observées en fonction des distances à la route et des directions de fuites. (Sur celle-ci ou juste à côté : <2m ; Proche : <20m ; Dans le champ : <50m)

| Direction de fuite       | Proximité à la route du chevreuil |        |               |
|--------------------------|-----------------------------------|--------|---------------|
|                          | Sur celle-ci ou juste à côté      | Proche | Dans le champ |
| A l'opposé de la route   | 13                                | 4      | 0             |
| Vers la route            | 2                                 | 0      | 0             |
| Parallèlement à la route | 0                                 | 0      | 1             |

Ensuite, la majorité des fuites constatées correspondent à des animaux étant extrêmement proche de la route, voir sur celle-ci, au moment de prendre la fuite en direction des cultures ou de la forêt. Les animaux ne prenaient généralement pas la fuite au moment exacte où le véhicule passait à leur niveau, mais bien quelques secondes avant (deux à trois). Ces fuites étant celles limitant au maximum le risque de collisions.

Enfin, il n'est arrivé qu'une seule fois de voir un animal courir parallèlement à la route, celui-ci étant quant à lui un peu plus éloigné de la route (plus ou moins 30 mètres).

### 5.3. Traversées de route

Au total, 31 traversées de routes ont été enregistrées et détaillées. La plupart d'entre elles ont été effectuées soit depuis une lisière forestière vers une zone ouverte (n =15) ou inversement depuis une zone ouverte en direction de la forêt (n = 7). Mis à part celles-ci, 9 autres traversées ont été enregistrées au sein de zones ouvertes (Tableau 8).

Tableau 8: Récapitulatif des nombres de traversées de routes effectuées par des chevreuils en fonction du type de réflecteur et de la destination.

| Type de réflecteur | Destination           |                |                               |       |
|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------|-------|
|                    | Vers une zone ouverte | Vers une forêt | Intégralement en zone ouverte | Total |
| Aucun              | 6                     | 2              | 8                             | 16    |
| SW                 | 9                     | 5              | 0                             | 14    |
| MWP                | 0                     | 0              | 1                             | 1     |
| Total              | 15                    | 7              | 9                             | 31    |

Les traversées de routes ont été moins nombreuses le long du tronçon équipé de réflecteur MWP. Les traversées le long des tronçons équipés de réflecteurs SW et ceux non-équipés de réflecteurs étaient quant à elles bien plus fréquentes.

#### 5.3.1. Sur tronçon équipé de réflecteurs SW

Les traversées depuis la forêt vers la zone ouverte se font généralement de manière plus calme que celles en direction de la forêt (Tableau 9).

Tableau 9: Nombres de traversées de routes équipées de réflecteurs Swaro Warn, en fonction de l'allure de la traversée et de la destination du chevreuil.

| Allure   | Destination       |            |
|----------|-------------------|------------|
|          | Vers zone ouverte | Vers forêt |
| Calme    | 9                 | 2          |
| Stressée | 0                 | 3          |

#### 5.3.1.1. Vers zone ouverte

Les traversées « calmes » classiques depuis la lisière forestière vers les cultures correspondent en fait à une approche de la route lente de la part du chevreuil. En effet, au moment où les vidéos sur ce tronçon ont été enregistrées (début avril), la végétation au sol était très peu dense, et il était encore possible de voir le gibier quand il était dans la forêt.

Les animaux marquaient généralement un temps d'attente et d'observation avant la traversée de la route. S'il y avait des véhicules qui circulaient, l'animal restait ainsi sur le côté de la route, à quelques mètres de la chaussée et était capable d'attendre le passage de plusieurs voitures à la suite les unes des autres.

Une fois les véhicules à proximité directe s'étant éloignés, l'animal se rapprochait du bord de la chaussée. Il était ensuite capable de rester stoïque lors du passage d'un véhicule (2 à 3 mètres de lui). Il est tout de même arrivé plusieurs fois qu'à ce moment des individus fassent demi-tour suite à l'arrivée d'une voiture, avant de revenir de retenter une approche, parfois un peu plus loin, généralement très peu de temps après (de l'ordre de la minute).

S'il n'y avait pas de voiture dans les environs, les animaux traversant la chaussée en direction des cultures, l'ont systématiquement fait en marchant lentement et prudemment, sans jamais se précipiter.

Une fois arrivé de l'autre côté de la route, les animaux commençaient quasi instantanément à brouter si aucune voiture n'était en approche, s'éloignant ensuite de la chaussée lors de l'arrivée d'un véhicule. Lorsqu'une voiture arrivait à la fin de la traversée d'un animal, il est souvent arrivé que celui-ci finisse sa traversée en accélérant légèrement le rythme de marche, afin de lui permettre de ne plus être directement à côté de la voirie, mais plutôt un peu plus loin dans la culture.

De manière générale, il semblerait que les chevreuils se dirigeant vers la zone de culture étaient bien plus sereins. Une fois arrivés dans les cultures de l'autre côté de la route, ils n'avaient pas l'air d'être le moins du monde dérangés par les voitures.

Il est tout de même intéressant de noter qu'il y a eu une double traversée de chevreuil durant laquelle un premier a traversé la chaussée d'un pas assuré et a commencé à brouter une fois de l'autre côté. Le deuxième, suivant le premier, a quant à lui sauté jusqu'à la route, a commencé à traverser en marchant sans marquer de pause préalable et a fini la traversée en trotinant, suite à l'arrivée immédiate d'un véhicule à son niveau. Il n'a pas semblé plus perturbé que cela, n'ayant pas fui et ayant commencé à brouter directement après.

#### 5.3.1.2. Vers la forêt

Les traversées en direction de la forêt sont quant à elles plus mitigées. En effet, pour 3 de celles-ci, les chevreuils semblaient plus stressés.

Deux de ces traversées « stressées » correspondent à deux fuites de chevreuils, simultanées, qui ont été déclenchées par l'arrêt d'un véhicule le long de la route. Ces deux chevreuils ont pris la fuite, ont traversé la route en courant et ont continué à courir jusqu'à perte de vue. La troisième traversée de ce type provient d'un chevreuil ayant tenté de traverser à deux reprises. Une première fois lorsqu'il a changé de direction et couru parallèlement à l'approche d'une voiture, et une deuxième fois où il a traversé la route en courant, juste avant le passage d'une camionnette, frôlant de peu l'accident.

Les deux autres traversées ont quant à elles été plus calmes. Sur les vidéos, on a chaque fois pu voir dans un premier temps un animal étant proche de la route prendre peur et courir dans la culture à l'approche d'une voiture, sans pour autant trop s'éloigner de la route. Et dans un deuxième temps, l'animal a chaque fois traversé la route calmement, en l'absence de véhicule.

Les traversées depuis la culture et en direction de la forêt semblent en général moins bien contrôlées et plus hasardeuses que dans l'autre sens. Les animaux tentant de traverser la route en direction de la forêt ont moins souvent attendu qu'il n'y ait plus de véhicules à proximité que ceux traversant dans l'autres sens.

#### 5.3.2. Sur tronçon équipé de réflecteurs MWP

L'unique traversée ayant été observée sur ce tronçon de route correspond à une traversée plutôt calme, entièrement incluse dans une zone ouverte (pas de forêt à proximité immédiate). Dans ce cas-ci, le chevreuil en question était présent depuis de longues minutes, sur le côté de la route et était en train de se nourrir. Il ne réagissait généralement pas, ou bien levait simplement la tête, alors que plusieurs véhicules sont passés juste à côté de lui lorsqu'il se trouvait en zone complètement ouverte, à quelques mètres de la route.

Il s'est d'abord rapproché à un mètre ou deux de la chaussée et n'a pas bougé d'un poil lors du passage d'une voiture. Il a ensuite marché de manière oblique (pas perpendiculairement) vers la chaussée, a marqué un temps d'arrêt de quatre à cinq secondes une fois arrivé dessus, et a traversé celle-ci d'un bon pas, avant de ralentir sa marche une fois bien avancé de l'autre côté.

#### 5.3.3. Sur tronçons non-équipés de réflecteurs

##### 5.3.3.1. Vers la zone ouverte

Pour ces traversées depuis la forêt en direction de la zone ouverte, 6 traversées considérées comme calmes ont été constatées, contre une seule traversée stressée (Tableau 2 Tableau 10).

Tableau 10 : Nombres de traversées de routes non-équipées de réflecteurs, en fonction de l'allure de la traversée et de la destination du chevreuil.

| Allure   | Destination           |                |                               |
|----------|-----------------------|----------------|-------------------------------|
|          | Vers une zone ouverte | Vers une forêt | Intégralement en zone ouverte |
| Calme    | 6                     | 1              | 6                             |
| Stressée | 1                     | 1              | 2                             |

Par exemple, 2 chevreuils ont traversé en même temps une route, avec le même rythme plutôt serein et se sont nourris sur le bas-côté de celle-ci. C'était le long d'un tronçon de route sur lequel il y avait extrêmement peu de circulation routière et c'est à l'arrivée d'une voiture que ces animaux, pourtant maintenant plusieurs mètres de l'autre côté, ont fui à l'autre bout de la prairie.

Outre ceci, les chevreuils ont adopté, sur ces tronçons sans réflecteurs, des comportements lors des traversées semblables à ceux jusqu'ici observés. On a ainsi pu voir des animaux se rapprocher calmement de la sortie de la forêt, tout en se nourrissant et attendre qu'il n'y ait plus de véhicule à l'horizon pour poser pied sur la chaussée. Les animaux traversaient ensuite de manière calme, accélérant légèrement le pas si un véhicule approchait, pour finir par ne presque plus réagir face à l'arrivée d'une voiture, une fois de l'autre côté de la route.

Par contre, il est intéressant de remarquer que la traversée stressée vers la zone ouverte correspond ici un chevreuil ayant traversé sans marquer aucun arrêt, en courant, afin de rejoindre son compatriote ayant préalablement traversé de manière plus calme. Et cela même si aucun véhicule n'était en approche.

#### *5.3.3.2. Vers la forêt*

La traversée stressée en direction de la forêt a été réalisée par un individu ayant traversé calmement quelques secondes plus tôt. En effet, celui-ci venait de traverser, alors qu'il était préalablement accompagné d'un autre individu qui n'avait quant à lui pas encore traversé la route. Cet autre individu a pris peur l'arrivée d'une voiture et a fui dans la forêt, tandis que celui ayant déjà traversé a également pris peur et a tourné en rond avant de retraverser la route en courant, afin de rejoindre son compagnon et évitant in extremis la collision.

La deuxième traversée en direction de la forêt était quant à elle calme, et s'est déroulé selon le schéma classique d'une traversée vers une zone ouverte. L'animal qui était en train de se nourrir dans les cultures à moins d'une dizaine de mètres de la route réagissait légèrement aux passages de voitures (réaction de vigilance). Il a attendu qu'il n'y ait plus de véhicule en approche directe pour se rapprocher lentement de la chaussée, à commencer à traverser calmement avant de finalement accélérer suite à l'arrivée d'un véhicule.

#### *5.3.3.3. En zone ouverte*

Les traversées ont été particulièrement fréquentes sur le tronçon sur lequel la majorité des ICHVs (sans réflecteurs) ont été enregistrées (Carte 3 de la Figure 9). De la même manière que sur les autres tronçons, avec ou sans réflecteurs, la grande majorité des chevreuils attendait qu'il n'y plus de véhicule pour traverser. Les animaux, pour la plupart, semblaient particulièrement peu stressés lors des traversées. Ils se nourrissaient dans les cultures et prairies situées aux croisements de deux routes (Carte 3 de la Figure 9), et n'hésitaient pas à passer d'un côté à l'autre. Des chevreuils en train de jouer ou gratter le sol traversaient la route, simplement pour faire la même chose de l'autre côté. Il est aussi arrivé que des animaux venant de traverser soient restés littéralement sur le bord de la route, alors que des véhicules circulaient.

Les tentatives de traversées ont aussi été nombreuses sur ce tronçon. Des chevreuils, qui étaient tout d'abord en train de se nourrir, commençaient à avancer en direction de la route, avant de faire demi-tour en courant à l'arrivée d'une voiture. Certains animaux ont répété ces comportements à plusieurs reprises, jusqu'à réussite ou abandon. Généralement, lorsqu'un chevreuil arrivait sur la chaussée et qu'une voiture était en approche, il ne traversait pas. Même s'il avait ses pattes sur la route, il prenait préférentiellement la fuite en arrière.

Il est toutefois arrivé deux fois qu'un même chevreuil, venant de traverser la route et étant en train de se nourrir, prenne peur et retraverse en courant, juste devant un véhicule, afin de retourner là d'où il venait (voir 5.2).

## **6. Discussion**

Ce travail a permis d'observer 301 ICHVs en conditions naturelles. Il permet de donner un aperçu du comportement des chevreuils fréquentant l'abords des routes ainsi que leur réaction à l'approche d'un véhicule. Que le tronçon de route soit équipé ou non de réflecteurs, le nombre de fuites observé est très faible en comparaison aux comportements de broutage, de vigilance ou de mouvement. La proportion d'individus adoptant la fuite était plus importante sur le tronçon non équipé de réflecteurs.

### **H1 : Altération du comportement**

Le but premier de ces réflecteurs est d'augmenter l'altération du comportement de la faune sauvage due au passage d'un véhicule. Or, les différentes analyses effectuées n'ont pas permis de mettre en évidence une plus grande altération du comportement chez le chevreuil, pour aucun des deux types de réflecteurs utilisés, par rapport aux tronçons de route dépourvus de dispositifs d'effarouchement. Ces résultats concordent avec la plupart des études récentes, aussi bien comportementales (D'Angelo et al., 2006 ; Brieger et al., 2017), que basées sur le dénombrement de DVCs (Benten et al., 2018). Cette dernière étude a quant à elle permis de mettre en évidence, de manière plus robuste que les autres études basées sur des comptages de DVCs, l'inefficacité de trois différents types de réflecteurs lumineux bleus. Deux de ceux-ci ayant été utilisés au sein du canton de Berne, dont le MWP.

Bien au contraire, la probabilité d'observer des réactions fortes s'est même avérée plus importante sur le tronçon de route non équipé de réflecteurs. Ce tronçon de route était bien moins fréquenté que les autres. Le trafic a donc été simulé par le passage d'un opérateur en voiture afin de disposer de suffisamment d'ICHVs. Or, les passages simulés de véhicules ont forcé la fuite de ces chevreuils qui n'avaient ensuite pas le temps de se rapprocher de la route entre deux passages répétés. Les animaux se nourrissant et ayant plus faiblement réagi, avaient quant à eux largement le temps de se remettre à brouter avant le retour du véhicule (1,5 minute de moyenne entre chaque passage). Cette simulation de trafic a peut-être en réalité empêché des traversées de chevreuil et forcé des réactions fortes.

Diverses études ont montré que les cervidés sont sujet à des effets d'habituations (Ujvári et al., 1998). Les résultats obtenus ici semblent confirmer ce phénomène d'habitation sur les

tronçons fortement fréquenté que nous avons observé en dépit de la présence de réflecteurs sur ces derniers.

C'était sur le tronçon de route équipé de réflecteurs MWP (Carte2 de la Figure 8) que le nombre de réactions de vigilance était, presque significativement, moins important que sur les autres. Néanmoins, le résultat de la régression ordinale indique, de manière marginale, de plus grandes probabilités d'avoir des réactions plus faibles quand ce réflecteur est utilisé. Cela est dû au fait qu'une grande proportion de chevreuils n'a pas du tout réagi sur ce tronçon. Certains enregistrements ont certes montré des chevreuils à seulement quelques mètres de la chaussée qui ne réagissaient pas du tout, mais d'autres pistes pourraient permettre d'expliquer ces différences :

- Les ICHVs ont été observées sur un petit nombre d'individus (densité plus faible). Certains comportements varient énormément selon les individus chez les ongulés sauvages (Bergvall et al, 2011), notamment la fréquence de traversée de route chez les chevreuils (Kämmerle et al, 2017).
- Deuxièmement, une partie des ICHVs observées se sont déroulées dans une zone où la hauteur de végétation était plus importante. Celle-ci aurait peut-être induit chez l'animal un sentiment de protection.
- Un phénomène d'habituation à la fréquentation importante de ce tronçon de route a pu réduire le niveau de réactivité des chevreuils le fréquentant (Manning, 1979 cité par Ujvári et al., 1998).

Outre ceci, les résultats de la régression ordinale indiquent une réaction significativement plus forte pour des chevreuils en mouvement sur le tronçon équipé de réflecteurs SW. Ce résultat doit cependant être relativisé par le faible nombre d'interactions observées dans ces conditions. L'analyse des vidéos correspondant à ce couple de modalités renseigne trois réactions douces et une réaction forte. Il est important de préciser qu'un chevreuil particulier, étant toujours en mouvement après deux de ces réactions plus fortes, a traversé la route une à deux secondes avant le passage d'une voiture, manquant de peu la collision (une des traversées stressées).

Finalement, une tendance presque significative indique que lorsque les chevreuils sont vigilants avant l'arrivée d'une voiture, ils réagissent généralement de manière moins forte que lorsqu'ils sont en train de brouter. Cette tendance semble s'être dessinée principalement à cause de la grande proportion d'animaux qui en se nourrissant, relèvent la tête lors du passage d'un véhicule, et ont alors une réaction de vigilance. Tandis que la plupart des animaux ayant la tête relevée à ce moment, ne réagissent pas du tout et conservent le même comportement durant l'interaction. Ce résultat diffère de celui observé par Brieger et al. (2017), qui quant à lui prédisait de plus fortes réactions quand les animaux étaient préalablement vigilants. Cette différence pourrait s'expliquer par une différente approche dans la catégorisation des comportements.

## **H2 : Risque des fuites**

L'exemple de l'animal effectuant une traversée dite « stressée », et qui manqua de peu de se faire percuter par un véhicule, permet de soulever un point intéressant et de se poser la question suivante : « Est-ce qu'une plus grande proportion de réactions fortes est forcément associée à



un risque moindre de collision ? » L'analyse des réactions fortes a permis de mettre en évidence que la grande majorité d'entre-elles correspondent à des fuites dans la direction opposée à la route. Celles-ci provenaient pratiquement toutes d'animaux fortement proche de la route, qui semblaient avoir pour objectif de la traverser.

Fondamentalement, quel est le problème à ce qu'un animal ayant la volonté de traverser, attende le passage de la voiture au lieu de fuir ? Il n'y en a pas vraiment puisque, comme toutes ces nuits d'observations l'ont montré, les chevreuils ont naturellement tendance à attendre qu'il n'y ait plus de véhicule pour traverser. Certains animaux ont en effet pris la fuite, mais d'autre n'ont bien souvent, simplement, pas réagi.

Comme l'a dit de Vries (2015), si la faune sauvage n'a aucune opportunité de traverser la route à cause d'un trafic routier trop important, à un certain moment, elle va prendre le risque et traverser, qu'importe la présence de réflecteur ou pas. De même, Kämmerle et al. (2017) n'a pu trouver aucun effet du réflecteur (différent de ceux de cette étude) sur la fréquence de traversée des chevreuils. Ainsi, on peut se demander si un stimulus supplémentaire, tel que celui sensé être émis par les réflecteurs, forçant les chevreuils à fuir à chaque passage de véhicule ne ferait pas qu'induire une nervosité supplémentaire et potentiellement dangereuse chez ces animaux. De plus, tout comme D'Angelo et van der Ree (2015) l'ont suggéré, ces réflecteurs, s'ils étaient efficaces, ne feraient que stresser d'avantage les animaux.

Comparativement à la journée, durant la nuit, la probabilité pour des chevreuils de se déplacer à proximité de routes est seulement légèrement inférieure à celle de se déplacer loin de ces infrastructures (Martin et al., 2018). Le chevreuil est plus sélectif en termes d'habitats utilisés durant la journée, ainsi ce « paysage de la peur » devient durant la nuit « le paysage garde-manger » (Palmer et al., 2017 cité par Martin et al., 2018). Le chevreuil, durant la nuit, ne fait pas que traverser la route en courant, ils sont actifs tout autour de celle-ci et sont occupés à tant d'autres choses. Les automobilistes sont quant à eux cloisonnés à leur route et ne sont capables de voir que devant eux. En d'autres mots, ces animaux ont une grande marge de manœuvre en termes de mouvement, tandis qu'un automobiliste ne pourra qu'accélérer, garder la même vitesse ou freiner. Il semble utopique de vouloir empêcher toutes les traversées d'animaux devant les véhicules ; il serait donc peut être plus judicieux de concentrer les efforts de mitigation sur le comportement du conducteur, afin de lui permettre de pouvoir réagir plus efficacement le moment venu. Ces mesures de mitigations pourraient de plus cibler les périodes de l'année pendant lesquelles l'activité du chevreuil est plus importante et que les traversées sont plus fréquentes (Kämmerle et al., 2017).

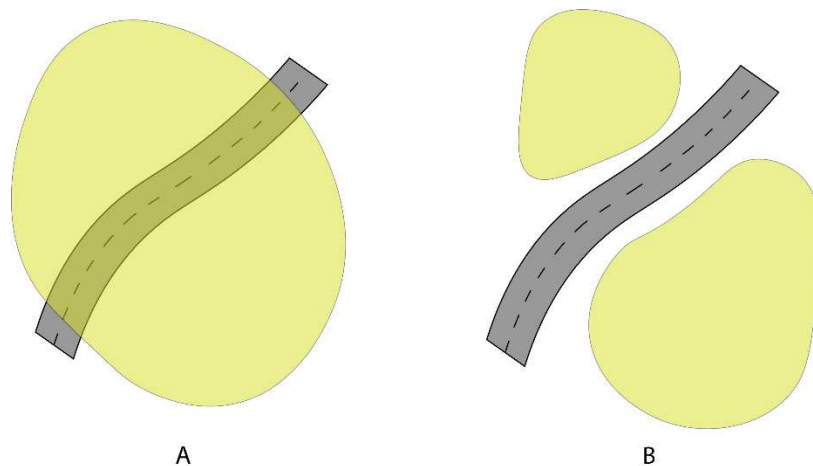
### Déroulement des traversées

Tout comme les modèles l'ont prouvé précédemment, les traversées non plus ne permettent pas de distinguer des altérations plus fortes du comportement lorsque des réflecteurs sont utilisés, voilà pourquoi les traversées ne seront ici pas discutées selon le type de réflecteur, mais bien selon le type d'habitat.

Même s'il n'était bien entendu pas possible de filmer toutes les traversées, celles en direction des zones ouvertes ont été les plus nombreuses. En effet, en commençant les observations à la

tombée de la nuit, il était logique d'observer majoritairement des animaux sortir de la forêt pour se nourrir. Les descriptions de traversées ont permis de mettre en évidence la manière contrôlée avec laquelle les chevreuils traversent généralement les routes. Ceux-ci étaient capables d'attendre le moment idéal pour traverser, même s'il fallait parfois faire demi-tour quand il y avait trop de trafic

Putman et al. (1997) suggèrent que la plupart des cervidés européens, dont le chevreuil, reconnaissent et considèrent les axes routiers majeurs (ou autoroutes) comme des frontières de domaines vitaux. Par contraste, les routes secondaires moins utilisées par les automobilistes pourraient quant à elles ne pas être considérées comme des barrières, mais être régulièrement traversées durant l'activité normale nocturne des chevreuils et être considérées comme faisant partie intégrante des domaines vitaux. Cette supposition va dans le même sens que ce qu'il a été donné d'observer au sein du canton de Berne. Effectivement, là où le trafic routier était important (tronçon équipé de réflecteurs SW), les chevreuils traversaient la route afin d'atteindre les cultures et de s'y nourrir, avant de plus tard retraverser dans l'autre sens. La route ne semblait pas faire partie du domaine vital (y restait moins de 5% du temps), mais semblait plutôt être utilisée comme un point de passage entre les 2 zones d'un unique domaine vital (Figure 13-A). Les chevreuils, ne restaient pas aux abords de la voirie, mais avaient tendance à s'en écarter, une fois la route traversée.



*Figure 13: Représentation de deux domaines vitaux théoriques (en jaune) par rapport à la route. (A=Portion de route faisant partie intégrale du domaine vital ; B=Domaine vital séparé en deux par une portion de route)*

A l'opposé, là où le trafic était bien moindre (tronçon sans réflecteurs), les chevreuils se nourrissaient parfois en étant bien plus proche de la route et certains n'hésitaient pas à passer d'un côté à l'autre. C'est donc sur ces routes secondaires peu utilisées par les automobilistes et possédant de grandes densités de gibiers, que les traversées sont les plus fréquentes. La plupart des traversées se sont faites en l'absence de véhicule. Dans ce cas-ci, les animaux semblaient voir les routes moins comme une barrière à franchir, mais plus comme une partie intégrante de leur domaine vital (Figure 13-B). Ces observations vont dans le même sens que les résultats de Kämmerle et al. (2018), prédisant un nombre de traversée croissant en fonction de la longueur totale de route au sein du domaine vital.

## Critique de l'étude

Les résultats apportés par ce travail peuvent différer de ceux provenant d'autres études principalement pour deux raisons :

Premièrement, cette étude aborde le problème de l'efficacité des réflecteurs d'un point de vue comportemental. Il semble logique de tester une soi-disant solution qui s'attaque au comportement des animaux, par une étude comportementale. Cependant, les autres études n'abordent pas toute la question de la même manière. Dans ce cas-ci, le trafic a dû à certains moments être simulé, l'entièreté des observations ont été réalisées en conditions naturelles, les conditions d'observations du gibier n'étaient pas les mêmes (affût) et la catégorisation des comportements était légèrement différente.

Deuxièmement, cette étude comporte plusieurs biais dont il faut tout de même tenir compte :

- (i) Les distances des chevreuils à la route étaient parfois compliquées à estimer, surtout quand l'observateur se trouvait loin de la route. Même en se donnant une marge de sécurité, il y a toujours un risque de mauvaise interprétation.
- (ii) Les milieux dans lesquels les observations ont été réalisées étaient différents. Or, Bonnot et al. (2013) ont pu mettre en évidence des différences dans l'utilisation des zones ouvertes par le chevreuil en fonction de la proximité des sources de dérangements anthropiques. Autrement dit, les réactions des animaux sont peut-être également liées à la proximité des bâtiments.
- (iii) Les tronçons de routes utilisés étaient tous à deux bandes de circulations, mais les densités de trafic étaient remarquablement différentes. Certains animaux étaient donc peut-être perturbés par le trafic inhabituel occasionné par les simulations de trafic.

## 7. Conclusion

Cette étude ne permet en aucun cas de mettre en évidence un quelconque effet des réflecteurs « Swaro Warn » ou « Multiwarn Wildlife Protector » sur le comportement des chevreuils. Ces réflecteurs sont sensés altérer leur comportement d'une manière plus intense, or aucune altération supplémentaire n'a été détectée. Dans près de 90% des cas, les fuites des chevreuils lors de l'arrivée d'une voiture se sont faites à l'opposé de la route et ont diminuée le risque immédiat de collision. Cependant, les observations réalisées laissent à penser qu'il serait peut-être plus judicieux de ne pas stresser les animaux avec des stimuli supplémentaires, mais plutôt de les laisser attendre le passage du véhicule, comme ils le font la grande majorité du temps. Enfin, les traversées de routes étaient plus régulières là où la circulation était moindre. En effet, les chevreuils avaient moins peur de rester proche de la chaussée, car semblaient intégrer la route dans leur domaine vital.

Au regard des résultats de ce travail et des publications récentes sur ces *Wildlife Warning Reflectors*, il ne semble pas souhaitable de recommander l'utilisation de réflecteur lumineux comme technique de mitigation. Les techniques s'attelant directement au comportement du conducteur, tel que les limitations de vitesses ou les systèmes de détection de gibiers avertissant les conducteurs, semblent plus enclines à réduire le nombre de DVCs sur les routes.

## 8. Bibliographie

- Ahnelt P.K. et al., 2006. Independent variation of retinal S and M cone photoreceptor topographies: A survey of four families of mammals. *Vis. Neurosci.* **23**(3–4), 429–435.
- Benten A., Hothorn T., Vor T. & Ammer C., 2018. Wildlife warning reflectors do not mitigate wildlife–vehicle collisions on roads. *Accid. Anal. Prev.* **120**(August), 64–73.
- Bergvall U.A., Schäpers A., Kjellander P. & Weiss A., 2011. Personality and foraging decisions in fallow deer, *Dama dama*. *Anim. Behav.* **81**(1), 101–112.
- Blackwell B.F. & Seamans T.W., 2009. Enhancing the Perceived Threat of Vehicle Approach to Deer. *J. Wildl. Manage.* **73**(1), 128–135.
- Bomford M. & O’Brien P.H., 1990. Sonic Deterrents in Animal Damage Control: A Review of Device Tests and Effectiveness. *Wildl. Soc. Bull.* **18**(4), 411–422.
- Bonnot N. et al., 2013. Habitat use under predation risk: Hunting, roads and human dwellings influence the spatial behaviour of roe deer. *Eur. J. Wildl. Res.* **59**(2), 185–193.
- Brieger F. et al., 2017. Do roe deer react to wildlife warning reflectors? A test combining a controlled experiment with field observations. *Eur. J. Wildl. Res.* **63**(5).
- Brieger F. et al., 2016. Effectiveness of light-reflecting devices: A systematic reanalysis of animal-vehicle collision data. *Accid. Anal. Prev.* **97**, 242–260.
- Bruinderink G.W.T.A.G. & Hazebroek E., 1996. Ungulate Traffic Collisions in Europe. *Conserv. Biol.* **10**(4), 1059–1067.
- Burbaite L. & Csányi S., 2009. Roe deer population and harvest changes in Europe. *Est. J. Ecol.* **58**(3), 169–180.
- Christensen R., 2011. Analysis of ordinal data with cumulative link models—estimation with the ordinal package. *R-package version* 1–31.
- D’Angelo G.J. et al., 2006. Evaluation of Wildlife Warning Reflectors for Altering White-Tailed Deer Behavior Along Roadways. *Wildl. Soc. ...* **34**(4), 1175–1183.
- D’Angelo G. & van der Ree R., 2015. Use of reflectors and auditory deterrents to prevent wildlife-vehicle collisions. In: van der Ree, R., Smith, D.J., Grilo, C. eds. *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, 213–218.
- Danielson B.J. & Hubbard M.W., 1998. A Literature Review for Assessing the Status of Current Methods of Reducing Deer-Vehicle Collisions.
- de Vries M., 2015. Road kills of roe deer (*Capreolus capreolus*) in the Netherlands: assessment of impacts and mitigation measures, Utrecht.
- Forman R. et al., 2003. *Road ecology: science and solutions*, Island Press.

- Georges S. et al., 1995. Connaissances du Gibier, des animaux sauvages et des chiens de chasse. *In: Chasse & Nature* : Bruxelles, 61–128.
- Huijser M.P. & McGowen P.T., 2004. Reducing Wildlife-Vehicle Collisions. *In: Safe Passages*. 51–75.
- Huijser M.P. & Kociolek A. V, 2008. Wildlife-Vehicle Collision and Crossing Mitigation Measures: A Literature Review for Blaine County, Idaho.
- Huijser M. et al., 2008. Wildlife-Vehicle Collision Reduction Study: Report to Congress.
- Hussain A., Armstrong J.B., Brown D.B. & Hogland J., 2007. Land-use pattern , urbanization , and deer – vehicle collisions in Alabama **1**(1), 89–96.
- Ignatavicius G. & Valskys V., 2018. The influence of time factors on the dynamics of roe deer collisions with vehicles. *Landsc. Ecol. Eng.* **14**(2), 221–229.
- Kämmerle J.L. et al., 2017. Temporal patterns in road crossing behaviour in roe deer (*Capreolus capreolus*) at sites with wildlife warning reflectors. *PLoS One* **12**(9), 1–18.
- Langbein J., Putman R. & Pokorny B., 2011. *Traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation*, Ungulate Management in Europe: Problems and Practices, 215-259.
- Lovari, S., Herrero, J., Masseti, M., Ambarli, H., Lorenzini, R. & Giannatos G., 2016. *Capreolus capreolus*, European Roe Deer. *IUCN Red List Threat. Species* **8235**.
- Martin J. et al., 2018. Temporal shifts in landscape connectivity for an ecosystem engineer, the roe deer, across a multiple-use landscape. *Landsc. Ecol.* 1–18.
- Mastro L.L., Conover M.R. & Frey S.N., 2008. Deer–vehicle collision prevention techniques. *Human–Wildlife Conflicts* **2**(1), 80–92.
- Meek P.D. et al., 2014. Camera traps can be heard and seen by animals. *PLoS One* **9**(10).
- Moll R.J. et al., 2007. A new “view” of ecology and conservation through animal-borne video systems. *Trends Ecol. Evol.* **22**(12), 660–668.
- Nicodème C. et al., 2017. Road Statistics - Yearbook 2017.
- Pafko F. & Kovach B., 1996. Minnesota Department of Transportation, Office of Bridges and Structures, Bridge Management Unit.
- Reeve A.F. & Anderson S.H., 1993. Ineffectiveness of swathflex reflections at reducing deer-vehicle collisions. *Wildl. Soc. Bull.* **21**(2), 127–132.
- Rovero F., Zimmermann F., Berzi D. & Meek P., 2013. “Which camera trap type and how many do I need?” A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. *Hystrix, Ital. J. Mammal.* **24**(2).

- Rutz C. & Hays G.C., 2009. New frontiers in biologging science. *Biol. Lett.* **5**, 289–292.
- Schafer J.A., 1984. Effectiveness of Wildlife warnig Reflectors in Reducings Deer-Vehicle Accidents in Washington State. Technical Report. Washington State Department of Transportation
- Schafer J.A. & Penland S.T., 1985. EFFECTIVENESS DEER-VEHICLE REDUCING. *J. Wildl. Manag.* **49**(3), 774–776.
- Schiviz A.N. et al., 2008. Retinal cone topography of artiodactyl mammals: Influence of bofy Height and habitat. *J. Comp. Neurol.* **507**, 1336–1350.
- Stache A., Heller E., Hothorn T. & Heurich M., 2013. Activity patterns of European roe deer ( *Capreolus capreolus* ) are strongly influenced by individual behaviour. *Folia Zool.* **62**(1), 67–75.
- Sullivan T.L. et al., 2004. Effectiveness of temporary warning signs in reducing deer-vehicle collisions during mule deer migrations. *Wildl. Soc. Bull.* **32**(3), 907–915.
- Ujvári M., Baagøe H.J. & Madsen A.B., 2004. Effectiveness of acoustic road markings in reducing deer-vehicle collisions: a behavioural study. *Wildlife Biol.* **10**(December), 155–159.
- Ujvári M. et al., 1998. Effectiveness of Wildlife Warning Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Collisions: A EFFECTIVENESS OF WILDLIFE WARNING REFLECTORS IN REDUCING DEER-VEHICLE COLLISIONS: A BEHAVIORAL STUDY. *J. Wildl. Manage.* **62**(45), 1094–1099.
- van der Ree R., Smith D.J. & Grilo C., 2015. The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. In: van der Ree, R., Smith, D.J., Grilo, C. eds. *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Ltd., 1–9.
- Waring G.H., Griffis J.L. & Vaughn M.E., 1991. White-tailed deer roadside behavior, wildlife warning reflectors, and highway mortality. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **29**(1–4), 215–223.
- Zacks J.L., 1985. An investigation of Swareflex Wildlife warning reflectors In cooperation with the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration and Michigan Department of Transportation.
- Zimmermann F., Foresti D. & Rovero F., 2016. Behavioural studies. In: Rovero, F., Zimmermann, F. eds. *Camera Trapping for Wildlife Research*. Pelagic Publishing, 142–167.