



# ANIMAL – ILTe

Arthropodes Nécrophages Indicateurs de la  
Mortalité Animale Liée aux ILTe

Projet exploratoire | ITTECOP 2015

Porteur de projet : Damien Charabidze

Unité de Taphonomie Médico-Légale, EA7367, Université de Lille 2

# Introduction

## Contexte

Cette étude, intitulée Arthropodes Nécrophages Indicateurs de la Mortalité Animale Liée aux Infrastructures Linéaires de Transport et leurs emprises (ANIMAL-ILTe), est issue de l'appel à projets ITTECOP 2014 (Infrastructures de Transports Terrestres, ECOsystèmes et Paysages).

En 2006, l'Institut Français de l'Environnement a recensé 1 079 072km de routes, soit 1,2% du territoire métropolitain, et 32 888km de voies ferrées (Mallard, 2014). Ces infrastructures entraînent inévitablement, en plus d'une augmentation de la pollution, un fractionnement du paysage, une hausse des collisions animaux-véhicules (Coffin, 2007). Une étude réalisée en France sur les ongulés sauvages a ainsi pu mettre en évidence une multiplication par 6 du nombre de leurs collisions avec des véhicules entre 1984 et 2008 (Vignon & Barbarreau, 2008). Des mesures de protection de la faune telles que des clôtures ou des passages à faune ont été mises en place afin de sécuriser le bord des routes, mais le manque de données précises induit un manque d'efficacité de celles-ci. De plus, les clôtures, en plus de représenter un coût financier élevé, accroissent la fragmentation des habitats et donc l'impact des actions de l'Homme sur les écosystèmes alentours.

Il est néanmoins difficile de quantifier le nombre d'animaux percutés ou victimes des ILTe. En effet, les techniques actuelles de recensement se limitent principalement à des comptages directs, imprécis car les carcasses sont souvent projetées et sont régulièrement déplacées par les animaux charognards ou se dégradent rapidement (Dekeirsschieter, 2007). Alternativement, des enquêtes auprès des conducteurs sont réalisées, méthode ne permettant pas de quantifier la petite faune (Seiler *et al.*, 2004). Les enquêtes réalisées auprès des sociétés d'assurances pouvant fournir des statistiques de déclarations d'accidents impliquant des collisions véhicules/faunes se sont également avérées inefficaces (Vignon & Barbarreau, 2008).

## Existence d'une corrélation entre ILTe et entomofaune nécrophage

L'augmentation des collisions en un lieu aux abords des ILTe entraîne une hausse de la mortalité animale en cet endroit, et, par conséquent, un accroissement de la nécromasse. Un cadavre animal est constitué en majorité d'eau qui s'écoule et s'évapore après la mort de l'individu. La partie organique subit elle un processus complexe de dégradation. Les vertébrés se dégradent en effet par des processus endogènes (autolytiques) et microbiens, mais également par l'activité des arthropodes nécrophages et des charognards. Leur présence influe directement la vitesse de décomposition des cadavres (Marchenko, 1988 ; Carter, Yellowlees, & Tibbett, 2006).

Les observations réalisées sur le terrain couplées à quelques données présentes dans la littérature scientifique permettent de postuler que l'apport régulier de cadavres animaux (nécromasse) en une zone entraîne une augmentation des populations d'insectes nécrophages dans cette zone. Selon cette hypothèse il existerait donc une corrélation forte entre la quantité

de ressource (les cadavres) et l'abondance locale des espèces qui l'exploitent (les insectes nécrophages) (Schoenly, Shahid, Haskell, & Hall, 2005a; Shahid, Schoenly, Haskell, Hall, & Zhang, 2003). Ceci est favorisé par la présence, chez ces insectes, d'un système olfactif assez développé pour leur permettre de détecter un cadavre à plusieurs centaines de mètres de distance (Braack, 1987; F. J. Kelling, Biancaniello, & Den Otter, 2003).

## Objectifs

Partant de ces constats, cette étude vise à tester l'utilisation des populations d'insectes nécrophages comme indicateur de la mortalité animale aux abords des ILTe (établissement d'une corrélation entre populations d'insectes nécrophages et mortalité animale locale). Cet indicateur biologique pourrait à long terme être exploitable à grande échelle et permettre une préservation de la diversité. Dans ce contexte, on peut définir un bioindicateur comme « un indicateur constitué par un groupe d'espèces (groupe éco-sociologique) dont la présence ou l'état renseigne sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement ou sur l'incidence de certaines pratiques. » (Barthès, 2013). Les insectes nécrophages seraient en effet, selon cette démarche, susceptible de renseigner sur les caractéristiques écologiques des abords des infrastructures de transport et sur les incidences de celles-ci sur la faune. Une grande quantité de nécrophage en un endroit permettrait de rendre compte d'une forte mortalité animale aux abords de l'infrastructure adjacente, et inversement. Déjà utilisés comme indicateurs en entomologie médico-légale pour dater le décès et contribuer à la résolution d'enquêtes, les insectes nécrophages présentent un intérêt certain comme bioindicateur grâce à leur abondance et leur odorat développé qui leur assure une colonisation systématique sur les cadavres en milieu naturel.

Ce projet permettrait d'estimer la mortalité animale due aux infrastructures de transport, plus communément appelée *roadkill*<sup>1</sup>, dont le coût en terme de sécurité, de protection de la faune et d'aménagements dédiés ne cesse d'augmenter. L'utilisation d'un tel indicateur pourrait ainsi faciliter la prise de décision pour l'installation d'aménagements visant à préserver la diversité. Il permettrait également de vérifier l'efficacité des aménagements existants et permettraient de savoir à quel endroit et de quel type doivent être les futurs aménagements.

## Modèles biologiques

Les deux principaux groupes constituant l'entomofaune nécrophage sont les diptères et les coléoptères. En France, on trouve fréquemment jusqu'à une trentaine d'espèces de diptères nécrophages, dont les principales familles sont les *Calliphoridae* et les *Muscidae* (Charabidze, 2010). Les coléoptères, s'ils sont moins étudiés en entomologie médico-légale, sont néanmoins fréquemment trouvés sur les cadavres (Charabidze & Gosselin, 2014). Ils possèdent des ailes antérieures sclérifiées (élytres), qui, au repos, recouvrent les ailes postérieures. Les espèces les plus couramment associées aux cadavres appartiennent aux taxons des *Dermestidae*, *Staphylinidae*, *Silphidae* et *Histeridae*. D'autres groupes d'insectes peuvent intervenir sur des cadavres mais ne seront pas pris en compte lors de cette étude. Il

---

<sup>1</sup> Sans équivalent en français, ce terme sera utilisé par la suite dans son sens le plus large, à savoir la mortalité animale due aux ILTe.

s'agit des lépidoptères, qui n'interviennent généralement que tardivement, et des hyménoptères, qui sont plus souvent caractérisés comme opportunistes ou parasites.

### Etat de l'art sur la mortalité animale liée aux ILTe et ses méthodes d'estimation

Les Infrastructures Linéaires de Transport étant une des principales causes du déclin de nombreuses espèces, et donc de la diversité, de multiples projets d'évaluation environnementale ont cherché à mesurer l'impact de ces structures sur l'environnement. L'analyse de ces impacts a vu le jour dès les années 1970, après la mise en place d'une grande partie du réseau de transport (Mallard, 2014). Depuis cette époque, les recherches concernant l'effet des routes sur la faune, sa mortalité induite, la modification de son comportement, etc. n'ont cessé de croître (Coffin, 2007). C'est grâce à un livre de Forman, 2003, qu'a été consolidé le concept d'écologie de la route. Pour ce faire, les auteurs se sont appuyés sur des preuves des effets négatifs des ILTe sur le fonctionnement et la structure des écosystèmes. Les collisions véhicule/animal sont en effet l'une des principales causes de mortalité animale (Jaeger *et al.*, 2005). Chaque année, plusieurs millions de collisions véhicule/animal avec l'élan (*Alces alces*), le wapiti (*Cervus canadensis*) et le caribou (*Rangifer tarandus*) sont recensés en Amérique du Nord et en Europe (Grosman, Jaeger, Biron, Dussault, & Ouellet, 2011). Au Portugal, une étude sur les petits et moyens carnivores a mis en évidence pour *Vulpes vulpes* et *Martes foina* une moyenne de 47 individus blessés par an tous les 100km avec des taux de mortalité très élevés (Grilo, Bissonette, & Santos-Reis, 2009). Les mammifères ne sont pas les seuls touchés par les collisions véhicule/animal, les oiseaux y sont en effet plus vulnérables (Clevenger, Chruszcz, & Gunson, 2003). Une étude réalisée en France entre Nantes et Hyères a ainsi permis de dénombrer, entre juillet et août 2013, 51 animaux morts écrasés sur 1074 km d'autoroute, dont 22 oiseaux et seulement 9 mammifères (Mallard, 2014). Des études ont également prouvé que les espèces nocturnes ne sont pas épargnées par les ILTe. Une expérience mise en place dans la réserve Kalakad Mundanthurai (Tiger, Inde du Sud) a mis en évidence, sur 1412 animaux tués sur les routes, que 50% d'entre eux appartenaient à des espèces nocturnes (Seshadri & Ganesh, 2011).

Face à ce constat, de nombreux progrès ont vu le jour concernant les méthodes d'estimation de la mortalité animale due aux ILTe. Le comptage direct des cadavres écrasés aux abords de ces infrastructures étant fastidieux, une nouvelle méthode a été mise en place afin de préciser et standardiser les données des collisions véhicule/animal via des applications sur téléphone (Olson *et al.*, 2014). Cette méthode a été testée en Utah en 2011 et a permis le recensement de 6822 carcasses en une année. Cette solution a donc permis de faciliter le recensement et de baisser considérablement les taux d'erreurs. En France, des chercheurs de l'Université de Strasbourg tentent de prévenir les collisions véhicule/animal et focalisent leurs recherches sur le renard *Vulpes vulpes*, en combinant des modèles de régression leur permettant de connaître les facteurs de collisions à différentes échelles et de les coupler à l'étude comportementale du renard (Jumeau, 2015).

Partant du principe que les abords des ILTe sont régulièrement pourvus en cadavres, ceux-ci sont donc susceptibles d'héberger une entomofaune nécrophage abondante. Ce postulat implique une sédentarisation des insectes nécrophages : les insectes nécrophages sont en effet attirés dans ces zones, puis pondent sur les cadavres, entraînant l'émergence localisée de nombreux individus. Des populations locales importantes pourraient donc se sédentariser

aux abords des ILTe, celles-ci offrant un continuum de ressources (nécromasse). Peu de recherches ont été effectuées sur ce sujet, mais une étude réalisée sur le campus de l'Université du Tennessee durant l'été 1998 a prouvé qu'il était possible de prédire la structure des communautés d'insectes nécrophages à l'échelle régionale grâce au lien étroit existant entre nécromasse et entomofaune nécrophage (Schoenly, Shahid, Haskell, & Hall, 2005b). Ainsi, un site enrichi en nutriments apportés par les carcasses serait dominé par des espèces d'arthropodes plus compétitives et tolérantes, réduisant donc la richesse spécifique en ce site, mais augmentant l'abondance des populations d'insectes nécrophages. Des observations préliminaires ont également permis de constater l'établissement de populations de coléoptères nécrophages aux abords d'un site de production d'asticots (verminière) approvisionné toute l'année en viande d'équarrissage (com. pers.)

## Protocole

### Présentation des sites

L'expérience s'est déroulée sur deux sites forestiers aux conditions environnementales proches (figure 1 a, b et c).

Le premier, nommé « site à risque », est localisé dans la forêt de Phalempin (50.513333 / 3.030604), forêt de 1520 ha, à 700m à l'Est de la commune de Phalempin de 4616 habitants (1) (2). Il est situé au bord d'une autoroute reliant Paris à Lille, à 800m d'une ligne ferroviaire TER et à 2200m d'une ligne de TGV. Les lignes ferroviaires sont considérées comme très meurtrières et importantes à inclure dans cette étude, provoquant 1 à 5 morts par kilomètre et par mois (COST 341).

La forêt de Phalempin est une forêt domaniale, elle est propriété de l'Etat et sa gestion est assurée par l'Office National des Forêts (ONF). Proche de Lille, elle constitue le massif forestier principal de cette commune, et est par conséquent très fréquentée par les promeneurs (3). De par sa localisation sur des assises géologiques variées telles que des argiles, sables, tuffeaux ou encore alluvions, les essences présentes suivent différents gradients d'hygrophilie et de pH (1). La forêt peut être déterminée par la classe des *Quercus roboris* – *Fagetea sylvaticae*, classe représentée par une végétation multistratifiée, dont la strate arborescente peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de hauteur, et caractérisée par une forte présence de champignons (4). La diversité des milieux composants cette forêt (ourlets, lisières, mares..) induit une diversification des essences présentes. On peut en effet y observer, en plus du Chêne pédonculé (*Quercus robur*) et du Hêtre commun (*Fagus sylvatica*), du Charme (*Carpinus sp.*), du Frêne (*Fraxinus sp.*), des Bouleaux (*Betula sp.*). Le sous-bois est caractérisé par des Primevères (*Primula sp.*), des Ails des ours (*Allium ursinum*) et des tapis des Jacinthes des bois (*Hyacinthoides non-scripta*). La forêt domaniale de Phalempin est classée en Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF). Cette zone présente en effet des critères d'intérêt faunistiques et floristiques, mais aussi fonctionnels, notamment par le corridor écologique qu'elle représente. Elle correspond également à une zone particulière d'alimentation et de reproduction pour la faune locale (3). La gestion réalisée par l'ONF vise à préserver les mares présentes et à diversifier les traitements forestiers (futaie, taillis..), dans le but de pérenniser les essences naturelles.

Néanmoins, l'action de l'homme peut être considérée comme une menace pour la diversité locale, de par la plantation de Peupliers (*Populus sp.*), Mélèzes et Robiniers (*Robinia sp.*), espèces introduites, et surtout par la fragmentation de la forêt due à la présence de l'autoroute A1 au milieu de celle-ci (1). Cette autoroute est très passante et découpe une forêt renfermant des populations de chevreuils, renards, lapins, hermines ou encore écureuils. Elle est donc potentiellement sujette aux collisions véhicule/animal et réunit ainsi les prérequis de notre étude (insectes nécrophages établissent une population à proximité des lieux dans lesquels un apport régulier en cadavre existe).

Le deuxième site est appelé « site témoin », il est situé dans la forêt de 467 ha de Flines-lès-Mortagne (50.529030 / 3.479652). Il a été choisi en prenant en considération les conditions environnementales du site à risque. Il est situé à 2km du village de Flines-lès-Mortagne, commune de 1661 habitants (<http://www.flineslezmortagne.fr/>). La présence d'un village à proximité est donc vérifiée pour les deux sites. Egalement domaniale, cette forêt est gérée par l'ONF, elle fait partie du Parc Naturel Régional Scarpe-Escaut. Tout comme la forêt de Phalempin, cette forêt accueille de nombreux visiteurs. Elle est composée de Hêtres ayant été implantés au XIX<sup>e</sup> siècle, et de Chênes, elle peut donc être caractérisée par la classe des Querco –Fagetea (5). La présence de l'Osmonde royale (*Osmunda regalis*) en grande quantité dénote de la rareté de certaines essences de cette forêt, de son caractère « sauvage », mais également d'un sol acide, sableux à argileux (6). Cette forêt est incluse dans une ZNIEFF de par la présence de seize espèces floristiques et quatorze espèces animales déterminantes de ZNIEFF, mais également grâce au corridor écologique qu'elle représente. La forêt domaniale de Flines-lès-Mortagne fait également l'objet de la Directive Oiseaux (7). Le plan de gestion mis en place par l'ONF au sein de cette forêt vise à favoriser la régénération naturelle des vieux peuplements en prenant en compte leur fragilité. Elle favorise les paysages dits naturels qui enrichissent et diversifient le paysage. Une sylviculture y est réalisée comme dans la forêt de Phalempin, ce qui dénote d'une activité humaine dans cette forêt. Néanmoins, la plus proche Nationale étant à plus de 2km de la forêt, l'impact des infrastructures de transport est hypothétiquement plus faible sur la faune abritant ce site.

Les deux sites sont éloignés d'environ 30km mais présentent de nombreux points communs : ouverts à la chasse, très passants, et peu exposés au vent, ils correspondent à un corridor écologique pour la faune sauvage. Situés tout deux proches de villes, ils sont sujets aux pollutions et nuisances sonores inhérents à la proximité de la présence humaine.

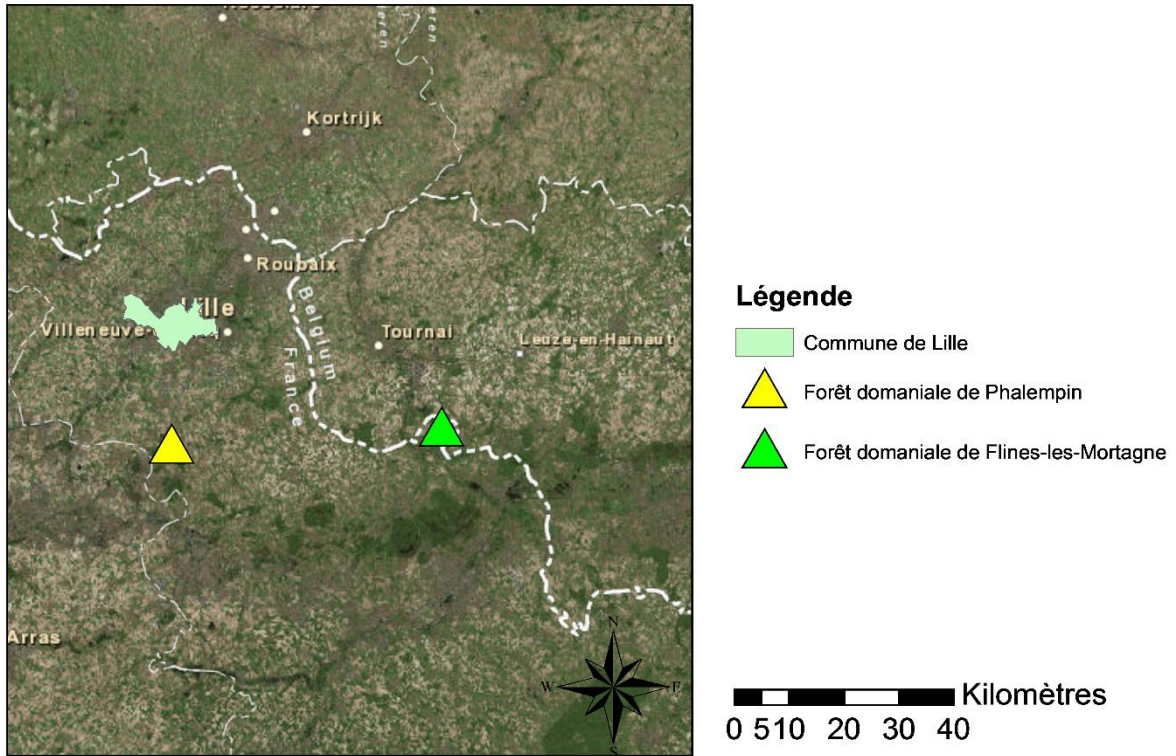


Figure 1a : Situation géographique des deux sites d'étude

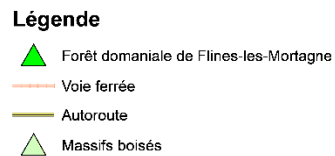
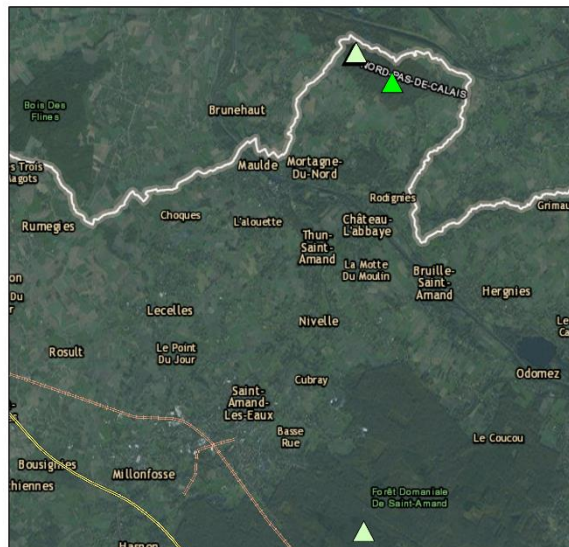
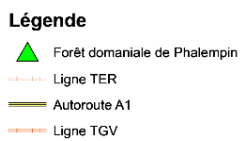
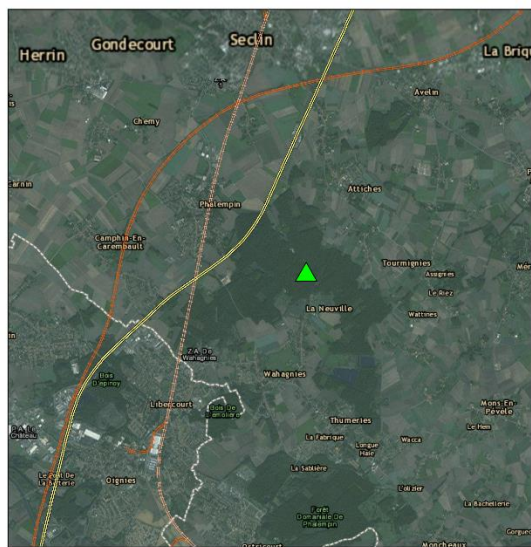


Figure 1b : Localisation du site à risque

Figure 1c : Localisation du site témoin

## Méthodologie

Suite à a divers tests préliminaires (annexe 1), le protocole retenu est le suivant. Sur chacun des deux sites le protocole déployé est le même. La manipulation se déroule sur 10 semaines. Les pièges permettant l'inventaire des insectes sont posés suivant un transect de 200m le long d'une autoroute pour le site à risque, et le long d'une ligne imaginaire pour le site témoin (Annexes 2 & 3).

Deux types de pièges ont été fabriqués spécifiquement pour cette étude (soit 40 pièges au total). Il s'agit de pièges attractifs contenant des cadavres de rats (annexe 4). Dans chacun est disposé un demi-cadavre de rat décongelé ( $291 \pm 25,6$  g), enfermé dans un compartiment permettant la libération des odeurs inhérentes à sa décomposition, mais empêchant les insectes d'accéder à la carcasse et d'y pondre. Les rats sont utilisés préférentiellement à de la viande afin de se rapprocher du sujet de l'étude (animaux percutés/écrasés) (Aak & Knudsen, 2011). Ils sont coupés en deux afin de favoriser leur décomposition et d'optimiser la place existant dans les pièges. Les demi-cadavres de rat servant d'appât sont sortis du congélateur deux jours avant leur mise en place (i.e.. le vendredi) afin de leur permettre d'atteindre le début de la décomposition. L'utilisation de cadavres de rats congelés n'altère ni leur processus de décomposition, ni l'arrivée des coléoptères et diptères nécrophages (Bugajski, Seddon, & Williams, 2011). Cette espèce a également été choisie pour une raison éthique. En effet, les rats utilisés ont été élevés et sacrifiés (CO<sub>2</sub>) dans le cadre de protocoles de recherches médicales et ne demandent donc pas un sacrifice spécifique pour notre étude. Les moitiés postérieures sont utilisées dans les pièges Barber, et les moitiés antérieures dans les pièges Upton. Tous les pièges sont posés le lundi matin et relevés le vendredi après-midi puis amenés au laboratoire. Cette durée de cinq jours permet aux cadavres de rats d'atteindre un stade avancé de décomposition.

L'étude des populations d'insectes nécrophages sur deux sites implique une connaissance des conditions pouvant influencer la présence de ceux-ci. Pour ce faire, les données climatologiques pour la période concernée ont été obtenues auprès de Météo France pour la station de Lille Lesquin. Les deux sites étant éloignés de 30km, nous considérons que les conditions météorologiques y sont les mêmes.

## Résultats

### Analyse critique de la méthode

Une telle étude comparative nécessite de choisir deux sites idéalement identiques (deux forêts aux conditions environnementales équivalentes, de même taille et avec la même faune). Il aurait donc été intéressant de réaliser cette étude dans des forêts dans lesquelles un inventaire faunistique précis existe, afin de connaître la quantité de faune présente sur chaque site. Nous n'avons pas trouvé de telles données pour les sites retenus, bien qu'une liste non exhaustive de la grande faune puisse être dressée pour chacune des deux forêts. A cette limite s'ajoute la nécessité de choisir deux sites proches l'un de l'autre, et du laboratoire, afin de permettre la réalisation des trajets nécessaires (deux fois par semaine durant plusieurs mois) à un coût et dans un délai raisonnables. Les deux sites retenus pour cette étude résultent donc d'un compromis entre ces différentes contraintes.

Le choix du site à risque s'est rapidement orienté vers la forêt de Phalempin. Les gestionnaires de l'ONF et différents contacts au sein des équipes de l'autoroute A1 nous ont confirmé une importante mortalité animale liée au passage de l'autoroute. Cependant, aucune donnée chiffrée n'a pu être obtenue quant à cette mortalité, mais des animaux écrasés ont pu être observés sur les bords de l'autoroute tout au long de l'expérience. Pour des raisons de sécurité et d'accessibilité, il n'a cependant pas été possible de réaliser un relevé hebdomadaire de ces cadavres comme prévu initialement. Le site témoin a été choisi pour sa ressemblance avec le site à risque. Trouver un site témoin aux conditions environnementales similaires à celles du site et à risque, et éloigné de tous les ILTe n'a pas été simple compte tenu de l'intensification du trafic routier.

Cette expérience a permis de révéler des similarités entre ces deux sites d'étude, concernant les richesses spécifiques de l'entomofaune nécrophages qu'ils abritent, mais également des dissimilitudes quant aux abondances relatives des différentes espèces capturées, entre les sites et au sein d'un même site. Les métriques correspondantes seront détaillées par la suite.

Les différents pièges conçus et confectionnés spécifiquement pour cette étude ont prouvé leur efficacité tout au long de l'expérience. Sur les dix semaines d'expérience, 5805 insectes nécrophages ont été récoltés, dont 3133 coléoptères et 2672 diptères. Les pièges ont également prouvé leur efficacité concernant la récolte d'individus non nécrophages : les dix semaines d'expérience ont ainsi permis la capture de 7991 coléoptères et diptères. Dans le courant du mois de juillet, un charognard s'est attaqué aux pièges Barber déposés dans la forêt de Phalempin, ce qui a impliqué une adaptation du dispositif expérimental (mise en place de grillages protégeant les appâts).

### Comparaison des sites

La figure 4 représente la somme de coléoptères récoltés chaque semaine sur chaque site dans les dix pièges Barber et les dix pièges Upton. Cet histogramme met en évidence une plus grande efficacité des pièges Upton pour la capture des coléoptères nécrophages. Ces derniers, peu abondants au début de l'expérience, ont vu un pic de présence dans les pièges pendant les quatre premières semaines de juillet, puis une régression lors de la dernière semaine d'expérience. Les données obtenues permettent d'observer une plus grande abondance des coléoptères nécrophages chaque semaine dans le site témoin que dans le site à risque. Cette différence n'est néanmoins pas confirmée statistiquement (test de Mann-Whitney, p-value = 0,930).

En ce qui concerne les diptères, seuls les pièges Upton se révèlent efficaces. La somme des individus récoltés chaque semaine dans les dix pièges Upton pour chaque site est reportée dans la figure 5. Comme observé précédemment chez les coléoptères, la quantité de diptères récoltés, qui n'était jamais supérieure à une centaine d'individus les premières semaines d'expériences, a connu une nette augmentation entre mi-juin et mi-juillet. La différence inter-sites du nombre d'individus récoltés par semaine ne semble pas significative, postulat confirmé grâce au test de Mann-Whitney (p-value = 0,715).

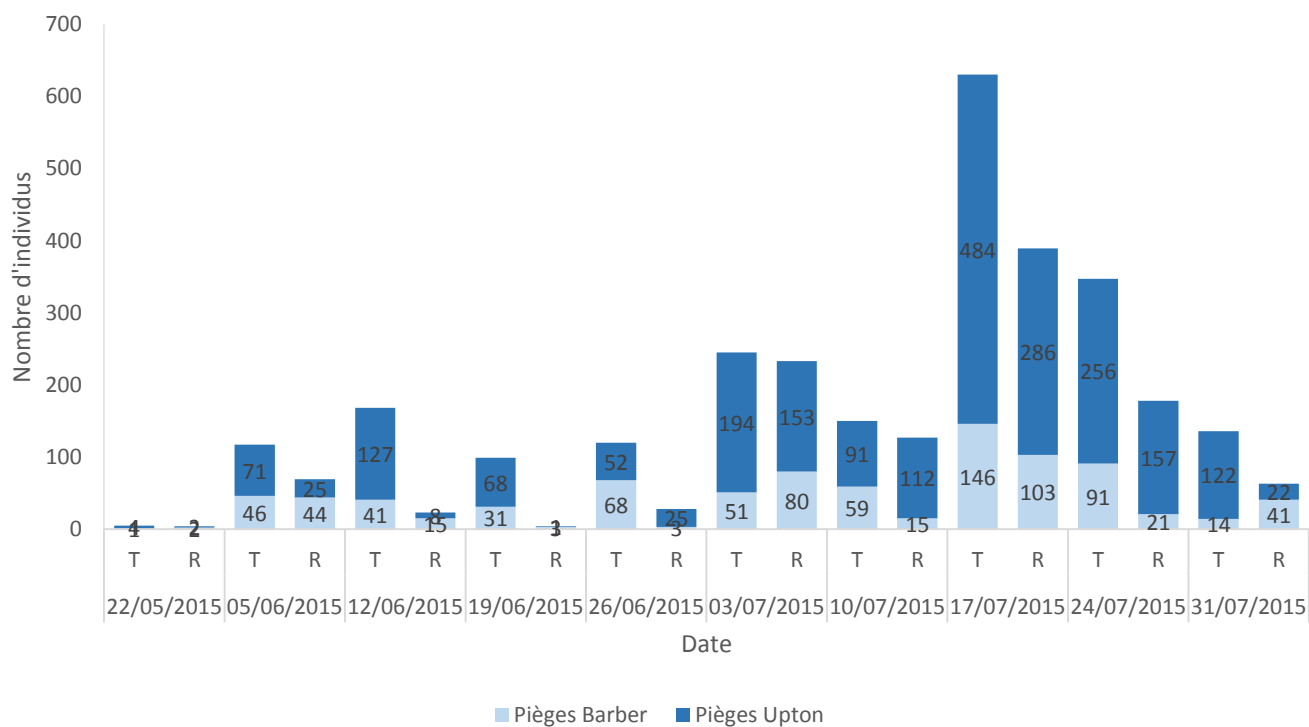


Figure 4 : Histogramme empilé du nombre de coléoptères dans les 10 pièges Barber et dans les 10 pièges Upton sur chaque site (T = site témoin ; R = site à risque).

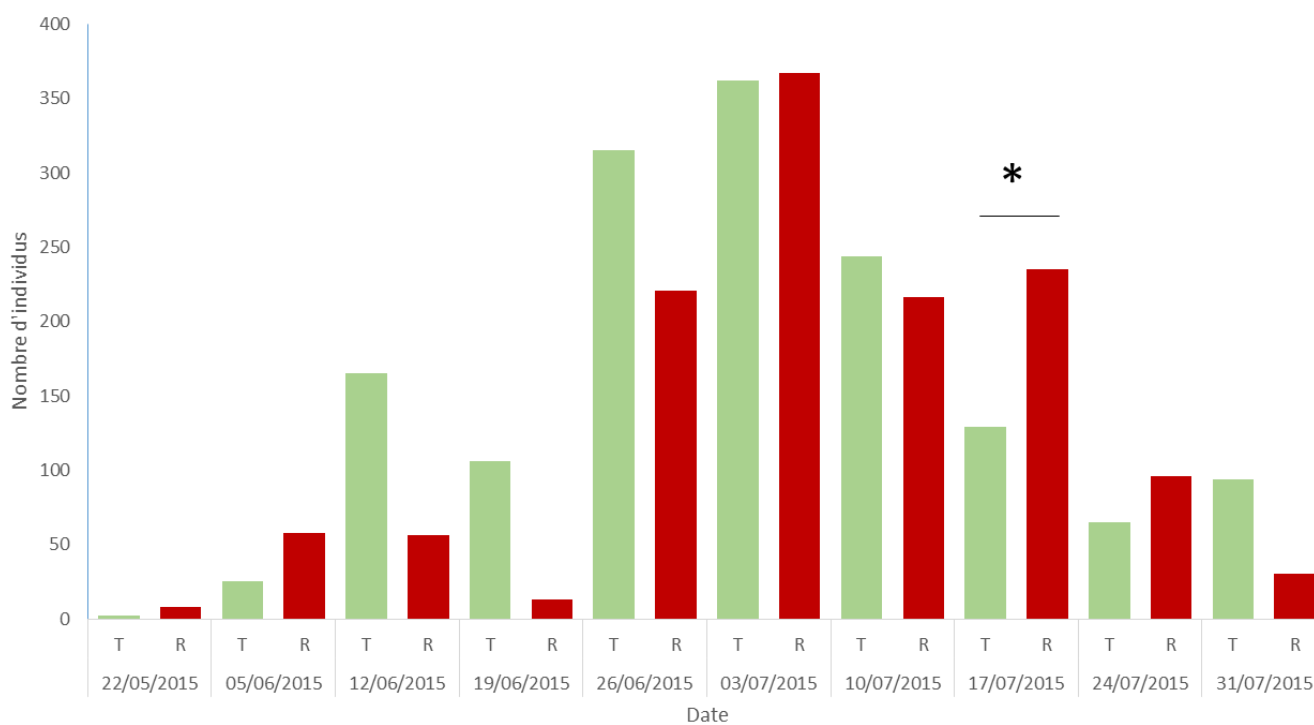


Figure 5 : Somme du nombre de diptères nécrophages dans les 10 pièges Upton sur chaque site par semaine

Les figures 6, 7, 8 représentent les cumuls du nombre de coléoptères et diptères récoltés dans les différents pièges. Le piège Barber a montré une efficacité uniforme tout au long de l'expérience pour la capture des coléoptères nécrophages, tandis que les pièges Upton ont permis de récolter efficacement les coléoptères à partir de la cinquième semaine d'expérience, et les diptères à partir de la quatrième semaine. Les individus capturés avant ces dates ne représentent pas plus de 10 à 20% des insectes collectés dans les pièges Upton sur toute la durée de l'expérience.

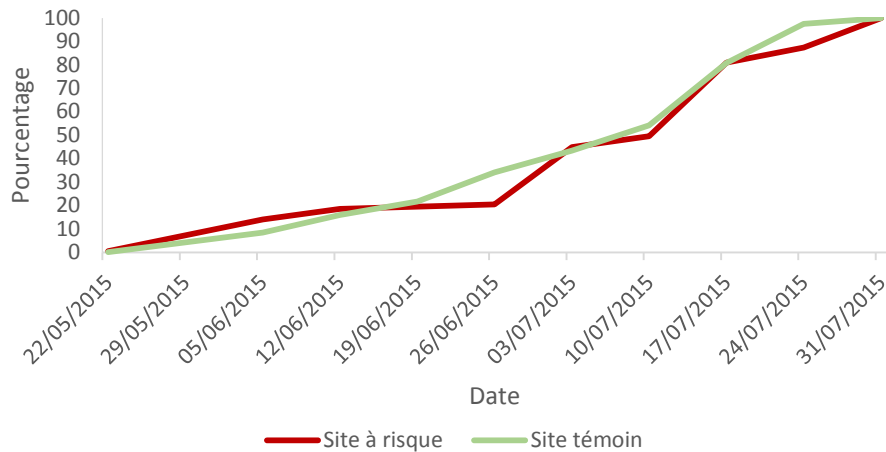


Figure 6 : Cumul du nombre de coléoptères nécrophages au cours du temps sur chaque site (en pourcentage) dans les pièges Barber

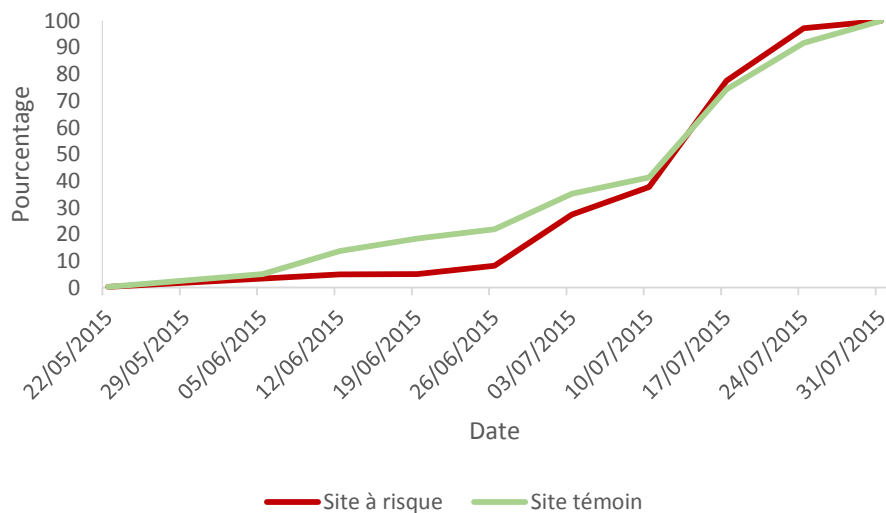


Figure 7 : Cumul du nombre de coléoptères nécrophages au cours du temps sur chaque site (en pourcentage) dans les pièges Upton

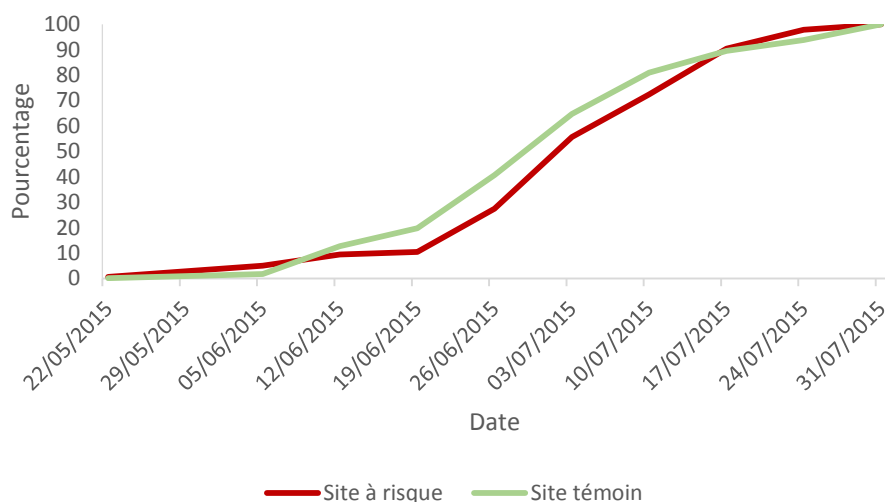


Figure 8 : Cumul du nombre de diptères nécrophages au cours du temps sur chaque site (en pourcentage) dans les pièges Upton

### Caractérisation de la diversité des deux sites

La mise en place de tels relevés permet de mesurer la diversité des deux sites étudiés en termes d'entomofaune nécrophage et permet de répondre aux questions suivantes :

Combien d'espèces peut-on trouver sur chacun des sites ?

Le site à risque héberge six espèces de coléoptères nécrophages et seize espèces de diptères. Il abrite donc vingt-deux espèces d'insectes nécrophages. Dans le site témoin, six espèces de coléoptères et dix-sept espèces de diptères nécrophages sont présentes. Ce site héberge donc au total vingt-trois espèces d'insectes nécrophages. Le site témoin et le site à risque présentent donc une richesse spécifique quasiment similaire.

Quelle est l'importance relative de chacune des espèces sur les différents sites ?

Cette importance est caractérisée par l'abondance de chaque espèce, c'est-à-dire le nombre d'individus pour chacune d'entre elles. Le tableau 1 résume l'abondance des espèces de coléoptères et diptères nécrophages présents sur chaque site.

Tableau 1 : Abondance des espèces récoltées sur les deux sites étudiés

	Espèces	Site à risque		Site témoin	
<b>Coléoptères</b>	<i>Necrophorus fossor</i>	10	0.4%	22	0.6%
	<i>Necrophorus humator</i>	8	0.3%	128	3.7%
	<i>Necrophorus vespillo</i>	5	0.2%	11	0.3%
	<i>Necrophorus vespilloides</i>	1046	44.1%	1626	47.3%
	<i>Necrophorus vestigator</i>	10	0.4%	70	2%
	<i>Oiceptoma thoracicum</i>	37	1.6%	160	4.7%
<b>Diptères</b>	<i>Calliphora vicina</i>	18	0.8%	18	0.5%
	<i>Calliphora vomitoria</i>	86	3.6%	220	6.4%
	<i>Fannia fuscula</i>	0	0%	2	0.1%

<i>Fannia lineata</i>	1	0%	6	0.2%
<i>Fannia postica</i>	3	0.1%	0	0%
<i>Fannia scalaris</i>	4	0.2%	0	0%
<i>Helina sp</i>	39	1.6%	33	1%
<i>Hydrotaea capensis</i>	5	0.2%	9	0.3%
<i>Hydrotaea dentipes</i>	5	0.2%	5	0.1%
<i>Hydrotaea ignava</i>	36	1.5%	88	2.6%
<i>Hydrotaea meteorica</i>	36	1.5%	59	1.7%
<i>Lucilia ampullacea</i>	1	0%	2	0.1%
<i>Lucilia illustris ou caesar</i>	476	20.1%	481	14%
<i>Mydaea sp</i>	10	0.4%	4	0.1%
<i>Phaonia sp</i>	506	21.4%	425	12.4%
<i>Ravinia pernix</i>	0	0%	1	0%
<i>Sarcophaga caerulescens</i>	0	0%	5	0.1%
<i>Sarcophaga carnaria</i>	14	0.6%	45	1.3%
<i>Wohlfahrtia nuba</i>	14	0.6%	15	0.4%

Comment quantifier, à l'aide de ces données, la diversité en insectes nécrophages présente sur ces sites ?

La diversité d'un site se quantifie grâce à la richesse spécifique et à la répartition de ces espèces. Elle se calcule à l'aide d'indices de diversité. Pour cette étude nous utilisons l'indice de Shannon, qui permet de quantifier l'hétérogénéité de la diversité des deux milieux étudiés. Ce calcul est réalisé pour la diversité en coléoptères nécrophages, en diptères nécrophages et en entomofaune nécrophage totale, pour chaque site. Les résultats sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats de l'indice de Shannon pour les différents groupes d'insectes nécrophages

	Site à risque	Site témoin
<b>Coléoptères nécrophages</b>	0,3178	0,7441
<b>Diptères nécrophages</b>	1,517	1,757
<b>Entomofaune nécrophages totale</b>	1,644	1,840

La diversité en insectes nécrophages, et ce pour chacun des groupes, semble faible pour les deux sites, mais semble plus élevée dans le site témoin que dans le site à risque. Néanmoins, la diversité est considérée comme élevée pour ce qui est de l'entomofaune nécrophage étant donné qu'une majorité des espèces françaises susceptibles d'être attirées par ce type d'appât ont été capturées lors de cette expérience (Erzinçlioğlu, 1996). L'analyse de ces résultats à l'aide d'un test non paramétrique de Kruskal-Wallis ne met pas en évidence de différences significatives entre les sites que ce soit pour les coléoptères, les diptères ou l'entomofaune totale.

Les différentes espèces ont-elles des effectifs similaires sur chacun des sites ?

Dans un site abritant un certain nombre d'espèces, plus une de ces espèces est abondante, plus la diversité du site est faible. En effet, la diversité est considérée comme maximale quand le nombre total d'individus sur un site est réparti régulièrement entre les espèces. Cette équifréquence est caractérisée par le terme « régularité ». La figure 9 permet de mettre en évidence les proportions de chaque espèce de coléoptères sur le site à risque et sur le site témoin.

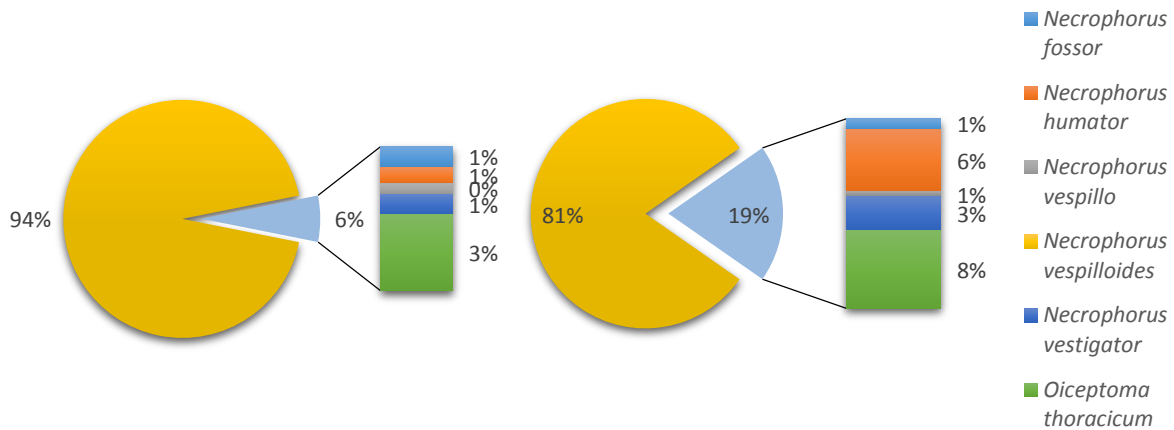


Figure 9 : Proportion de chaque espèce de coléoptère nécrophage récolté sur toute l'expérience dans le site à risque à gauche et dans le site témoin à droite

Ces graphiques permettent de mettre en évidence une large dominance de *Necrophorus vespilloides* dans les deux sites. Néanmoins, dans le site témoin, *Necrophorus humator* et *Oiceptoma thoracicum*, respectivement 6% et 8%, sont en proportion plus importantes que dans le site à risque et permettent à ce premier d'avoir une plus grande régularité.

Les figures 10 et 11 représentent les proportions des espèces de diptères nécrophages récoltées lors de l'expérience, respectivement dans le site à risque et dans le site témoin. Dans le site témoin, les espèces du genre *Phaonia*, *Lucilia illustris* et *Lucilia caesar* représentent 78% de la proportion totale des individus, les quatorze autres espèces étant donc réparties dans les 22% restants. En revanche, dans le site à risque, *Phaonia sp* et *Lucilia illustris* et *caesar* ne représentent que 64% de la proportion totale des individus, l'abondance des autres espèces est donc proportionnellement plus élevée, notamment pour les individus de l'espèce *Calliphora vomitoria* donc la proportion atteint 16%. La régularité semble encore une fois plus forte sur le site à risque.

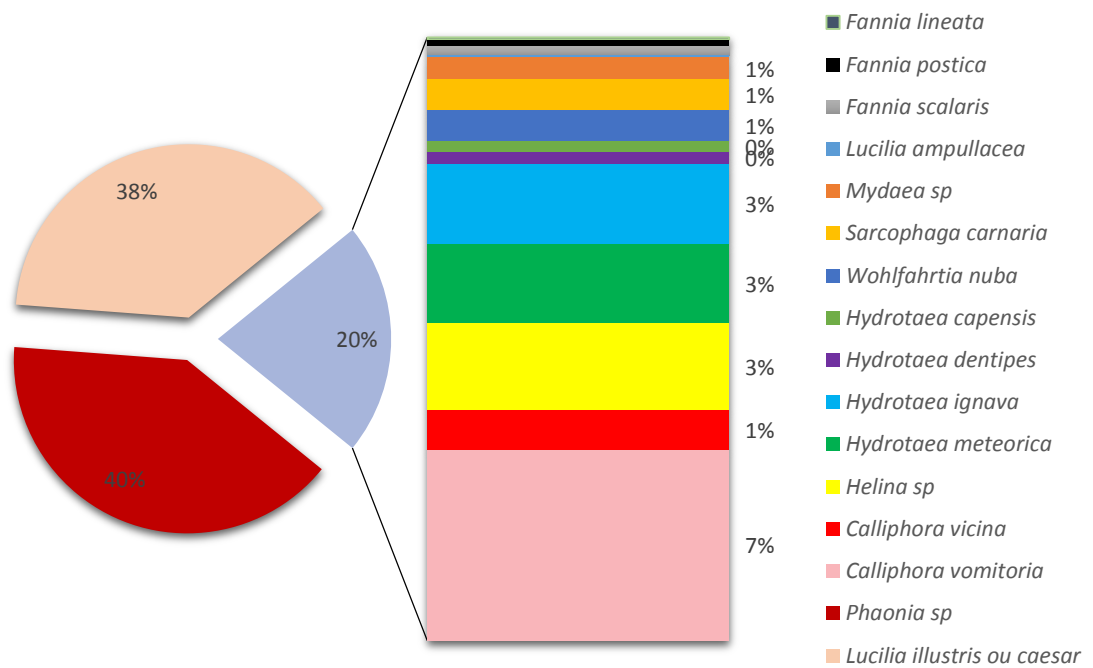


Figure 10 : Proportion de chaque espèce de diptères nécrophage récoltés sur toute l'expérience dans le site à risque

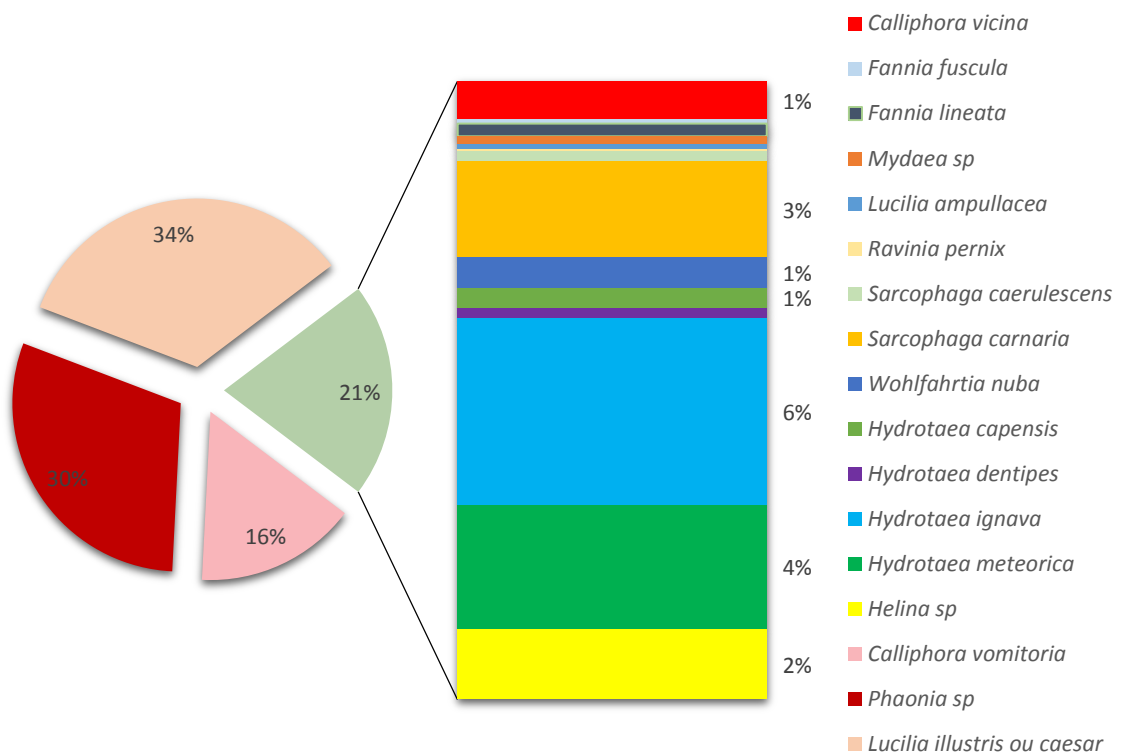


Figure 11 : Proportion de chaque espèce de diptères nécrophage récoltés sur toute l'expérience dans le site témoin

La répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique, est mesurée via l'indice d'équitabilité de Pielou (R). Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces). Ce calcul est réalisé pour les coléoptères nécrophages, les diptères nécrophages et l'entomofaune nécrophage totale, pour chaque site. Les résultats sont représentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats de l'indice d'équitabilité de Pielou pour les différents groupes d'insectes nécrophages

	Site à risque	Site témoin
<b>Coléoptères nécrophages</b>	0,123	0,288
<b>Diptères nécrophages</b>	0,379	0,43
<b>Entomofaune nécrophages totale</b>	0,369	0,407

La régularité est faible en ce qui concerne les coléoptères et diptères nécrophages des deux sites. La diversité semble néanmoins plus importante dans le site témoin, mais l'analyse de ces résultats grâce au test non paramétrique de Kruskal-Wallis ne met pas en évidence de différence significative entre ces résultats, et ce pour chacun des groupes.

Une analyse spatiale de la diversité des deux sites étudiés permet enfin d'étudier la diversité inter-habitats. La variation de composition en espèces entre deux sites dans une région géographique donnée est ainsi caractérisée par la diversité  $\beta$ . Celle-ci ne tient pas compte de l'abondance, contrairement à l'indice de Shannon. L'indice varie de 0 lorsqu'aucune espèce n'est commune aux deux sites, à 1 quand les espèces sont les mêmes sur les deux sites. En ce qui concerne les coléoptères l'indice est égal à 1 car les espèces sont les mêmes. Pour les diptères il est égal à 0,85. La composition en espèce n'y est donc pas significativement différente entre le site à risque et le site témoin.

### Zoom sur les espèces d'insectes nécrophages les plus présentes

Comme mis en évidence précédemment, certaines espèces de coléoptères et de diptères ont été capturées en plus grande abondance tout au long de l'expérience. Il s'agit, en ce qui concerne les coléoptères, de trois espèces de *Silphidae* : *Necrophorus vespilloides*, *Necrophorus humator* et *Oiceptoma thoracicum*. Les deux espèces du genre *Necrophorus* appartiennent à la famille des *Necrophorinae*. Elles sont actives d'avril à septembre-octobre et sont généralement retrouvées sous les petits cadavres ; *Oiceptoma thoracicum*, également actif d'avril à septembre, et retrouvés sous les petits cadavres, appartient à la sous-famille des *Silphinae* (Chatenet, 1986). *Necrophorus humator* et *Oiceptoma thoracicum* ne sont observés en grande quantité que dans le site témoin, contrairement à *Necrophorus vespilloides* représenté dans les deux sites et actif dès les premières semaines d'expérience. Les trois espèces ont connu un pic de présence en juillet, et notamment la semaine du 17/07/2015.

Les espèces du genre *Helina* et du genre *Lucilia* sont présentes dans les mêmes proportions dans les deux sites, contrairement à *Calliphora vomitoria* et aux espèces du genre *Hydrotaea*, plus abondantes dans le site témoin. Comme observé chez les coléoptères, toutes ces espèces ont vu leur nombre augmenter entre mi-juin et mi-juillet, puis diminuer pendant les dernières semaines d'expériences.

## Discussion

L'ensemble des résultats obtenus sur les dix semaines d'expérience a confirmé l'efficacité du protocole expérimental. Ainsi, les dix semaines d'études ont prouvé que les pièges de type Upton étaient plus efficaces que les pièges enterrés, et ce même pour les coléoptères. La capture dans les pièges Upton d'espèces de coléoptères de grande taille telles que *N. humator*, moins précis au vol que les diptères, indique en effet une bonne accessibilité de ces dispositif. La durée de la manipulation (dix semaines) a de plus permis l'observation d'une tendance saisonnière du nombre d'individus récoltés.

L'étude de la diversité en insectes nécrophages des deux forêts a mis en lumière des richesses spécifiques similaires pour les coléoptères comme pour les diptères nécrophages. Cette diversité s'est avérée assez élevée pour le site à risque comme pour le site témoin. Selon notre méthode de capture, les populations présentes sur les deux sites semblent donc équivalentes, tant au niveau de l'abondance que de la richesse spécifique. Les tests statistiques réalisés ont confirmé ces résultats. Cette similarité (abondance et diversité) des communautés d'insectes nécrophages sur les deux sites peut s'expliquer par différentes raisons : l'entomofaune nécrophage étant dépendante de la nécromasse du milieu, il est possible que la faune présente dans le site témoin soit plus abondante que celle du site à risque. Ceci entrainerait une nécromasse naturellement élevée dans le site témoin, qui compenserait celle causée par les ILTe dans le site à risque. Le Réseau des Acteurs de l'Information Naturaliste (RAIN), mis en place par le Groupe Ornithologique et Naturaliste du Nord-Pas-de-Calais, a permis de décrire au sein de la forêt de Phalempin (site à risque) la présence d'au moins 25 espèces d'oiseaux, 5 espèces d'amphibiens, 9 espèces de rhopalocères et 4 espèces d'odonates sur l'année 2015 (8). Le rat musqué (*Ondatra zibethicus*), l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*), le chevreuil (*Capreolus capreolus*) et la musaraigne aquatique (*Neomys fodiens*) ont également pu y être observés durant les trois dernières années. Dans la forêt de Flines-lès-Mortagne (site témoin), le RAIN a indiqué la présence en 2015 de plus de 40 espèces d'oiseaux et de 9 espèces de rhopalocères. Ils ont également permis le recensement, sur les trois dernières années, du rat musqué, du chevreuil, de l'écureuil roux, de la fouine (*Martes foina*), du putois (*Mustela putorius putorius*), du sanglier (*Sus scrofa*), du hérisson d'Europe (*Erinaceus europaeus*) et du lièvre d'Europe (*Lepus europaeus*). De plus, dans le cadre de la gestion mise en place par l'ONF, la chasse est ouverte dans les deux forêts ; mais il est possible que l'exploitation de ce droit de chasse ne soit pas réalisée de la même manière dans les deux sites. Dans la forêt de Phalempin, la chasse est centrée sur le petit et le gros gibier. C'est également le cas dans la forêt de Flines-lès-Mortagne, où la chasse concerne le petit gibier (faisans) ainsi que les chevreuils, mais a conduit à la disparition du cerf et du sanglier.

Enfin, comme démontré par Jaarsma, van Langevelde, & Botma, 2006, un effet barrière pourrait exister au niveau de l'autoroute coupant le site témoin. En effet, une route large entraîne une hausse du flux de véhicules et de la vitesse. Ceci peut réduire le succès de franchissement de la route par la faune mais peut aussi dissuader les individus de tenter de la traverser. Cet effet est accru par le volume sonore induit par une augmentation du trafic, et pourrait entrainer un amoindrissement du roadkill. Le trafic moyen journalier sur le tronçon d'Autoroute traversant la forêt de Phalempin est en effet estimé à 150 000 véhicules (DREAL, 2015).

Si les deux sites ne sont pas considérés comme statistiquement différents en ce qui concerne la quantité d'insectes nécrophages capturés pendant l'expérience, les coléoptères étaient chaque semaine capturés en plus grand nombre dans le site témoin que dans le site à risque. Seule *N. vespilloides* présente des abondances semblables entre les deux sites. L'étude détaillée de la biologie des trois espèces de coléoptères les plus représentées sur l'ensemble de l'expérience apporte des éléments intéressants pour comprendre cette tendance. *N. vespilloides* et *N. humator* sont des espèces strictement forestières (Pukowski, 1933). La présence de *N. vespilloides* est très dépendante de la composition du sol. En effet, un sol pourvu d'une litière épaisse est nécessaire pour l'accomplissement de son cycle reproductif (9). Ceci est le cas du site témoin, dont la litière est jonchée de bois et de feuilles mortes. Le site à risque est en revanche beaucoup plus pauvre en litière. Cette espèce est également sensible à l'humidité, qui ne doit pas être trop élevée pour son développement. Elle préfère donc les sols sableux. Comme indiqué précédemment, les deux forêts possèdent un sol sableux à argileux. Néanmoins, la présence d'*Osmunda regalis* dans le site témoin dénote d'un sol plutôt humide, moins favorable à *N. vespilloides* (6). Chacun des deux sites étudiés possède donc des caractéristiques plus ou moins favorable à *N. vespilloides*, ce qui pourrait expliquer une colonisation similaire des deux milieux.

*N. humator* a été décrit comme le nécrophore le plus présent dans les forêts de feuillus (Pukowski, 1933). Cette affirmation n'a pas été confirmée dans le cas de cette étude, car il a été capturé dans une quantité beaucoup plus faible que *N. vespilloides*. *N. humator* a également des préférences quant au type de sol des forêts qu'il colonise. Il s'agit de sols humides de type argileux. Cette préférence pour l'humidité peut donc expliquer sa présence en plus grand nombre dans la forêt témoin (9). Enfin, la distribution d'*Oiceptoma thoracicum* est assez similaire à celle de *N. humator*, avec néanmoins une plus grande capacité à coloniser les milieux humides (9). Ces deux espèces ont été capturées presque exclusivement dans le site témoin. Ceci est certainement en lien avec la composition du sol dans celui-ci. En effet, la présence au sein de cette forêt de plantes caractéristiques des zones humides à tourbeuses comme le Saule cendré (*Salix cinerea*.) le Gaillet des marais (*Galium palustre* L.) ou la Renoncule rampante (*Ranunculus repens* L) dénote d'un sol humide affecté par ces deux *Silphidae* (10).

*N. vespilloides* et *N. humator* sont deux espèces en compétition car elles se développent toutes deux dans le milieu forestier, ont le même régime alimentaire et recherchent toutes les deux de petits cadavres pour y pondre leurs œufs (Pukowski, 1933). Les deux espèces ont donc su s'adapter en déplaçant leurs niches écologiques. Ainsi, *N. vespilloides* est une espèce diurne alors que *N. humator* est actif la nuit. La manipulation ayant comptabilisé plus de jours que de nuits (5 jours et 4 nuits par semaine), ce comportement pourrait expliquer l'abondance plus élevée de *N. vespilloides* sur l'ensemble de l'expérience.

Les paramètres abiotiques tels que la flore présente sur les sites d'étude, la composition du sol ou encore son humidité semblent donc être des facteurs influençant la présence des espèces d'insectes nécrophages, et peuvent ainsi expliquer leur abondance dans un milieu où l'impact des infrastructures de transport sur la faune, et par conséquent la nécromasse, est hypothétiquement plus faible.

En ce qui concerne les diptères, la différence d'abondance entre les deux sites est encore moins marquée. En effet, si *Calliphora vomitoria* et les espèces du genre *Hydrotaea* sont présents en plus grande quantité dans le site témoin (non significatif), cette tendance n'apparaît pas pour les espèces du genre *Helina* et pour *Lucilia illustris* et *caesar*.

*Helina sp* et *Hydrotaea sp* sont des *Muscidae*. Les *Muscidae* adultes sont rarement nécrophages, ils se nourrissent de fleurs et d'excréments (Charabidze & Gosselin, 2014). Les larves sont souvent saprophages et se développent dans les déchets animaux ou végétaux, fumier ou cadavres. Néanmoins, beaucoup d'espèces sont prédatrices ou encore phytophages.

*Calliphora vomitoria* et *Lucilia illustris* et *caesar* étaient très abondantes dans les 2 sites étudiés. Différentes études ont analysé leurs préférences environnementales et ont mis en lumière le besoin pour *Calliphora vomitoria* d'un milieu couvert comme les sous-bois (Smith, 1986). Une étude menée dans le bois de Jorat (Suisse) d'avril à octobre 1996, consistant en la capture des diptères nécrophages dans deux habitats différents (prairie et forêt), a mis en évidence une préférence de *Calliphora vomitoria* et de *Lucilia caesar* pour les forêts plutôt que pour les prairies, contrairement à *Lucilia sericata* (Faucherre & Cherix, 1998). En revanche, *Lucilia illustris* peut fréquenter les deux types de milieux. Holdaway & Evans (1930) ont également démontré qu'en France, *Lucilia caesar* préfère les milieux ombragés. Les deux espèces du genre *Lucilia* sont présentes dans les mêmes proportions dans les deux sites, ce qui dénote d'une similarité entre les deux forêts. Si *L. illustris* apparaît deux semaines plus tôt dans la saison que *L. caesar*, est moins synanthropique, et est également plus héliophile, des études ont prouvé que les fluctuations de densité de populations annuelles et journalières entre les deux espèces étaient presque identiques (Smith, 1986). Les résultats de notre étude confirment les similarités existant entre les populations de ces deux espèces.

En revanche, s'il est démontré que *Calliphora vomitoria* est présente dans les deux sites, elle est largement plus abondante dans le site témoin, et notamment la semaine du 26 juin. Cette espèce est généralement attirée par les plus grosses carcasses (Erzinçlioğlu, 1996). Ce pic d'abondance pourrait donc indiquer la présence, au sein de cette forêt, d'espèces faunistiques de grande taille. Le décès antérieur d'un gros mammifère et le développement sur cette carcasse de centaines de larves pourrait expliquer cette abondance ponctuelle d'individus. Celui-ci a pu être à l'origine de nombreuses pontes succédées d'un pool d'émergence d'individus qui ont ensuite été attirés par les pièges présents sur le site. Une femelle *Calliphoridae* peut en effet pondre jusqu'à 200 œufs (Erzinçlioğlu, 1996).

Ce pic d'abondance de *C. vomitoria* démontre que les populations d'insectes peuvent évoluer au cours du temps : plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ces fluctuations temporelles des populations. Premièrement, les communautés de nécrophages évoluent lors de la décomposition d'un cadavre, tant au niveau de la richesse spécifique que de l'abondance (Ordóñez, García, & Fagua, 2008), évolution qui peut être due à la mort ou à l'émergence d'individus. Ce dernier phénomène a pu se produire dans le cas de *C. vomitoria*, mais également pour les autres espèces qui ont toutes connu un pic d'abondance au cours de l'expérience. Des études ont également mis en évidence le fait que les espèces n'arrivent pas toutes sur un cadavre au même stade de décomposition de celui-ci, et qu'elles ont des préférences quant au groupe faunistique du cadavre sur lequel elles vont se poser pour se reproduire (Ordóñez et al., 2008). Ceci expliquerait les variations d'abondances ainsi que les

variations d'espèces au cours du temps sur les sites, dépendantes de la présence éventuelles dans les forêts d'autres carcasses que celles déposées dans mes pièges.

De plus, les variations d'abondances des insectes nécrophages peuvent être largement dues aux paramètres climatiques. Cette expérience n'a pas permis de mettre en évidence une corrélation directe entre les facteurs environnementaux suivis (température, ensoleillement, précipitations) et l'abondance des insectes nécrophages dans les pièges. Néanmoins, une tendance saisonnière est cependant bien visible pour la majorité des espèces, et a déjà été mise en évidence lors de précédentes études.

## Conclusion

L'abondance et les richesses spécifiques des espèces d'insectes nécrophages présentes sur un site sont donc dépendantes de nombreux paramètres qui se sont révélés, au cours de cette étude, difficiles à appréhender et à intégrer. Ces résultats démontrent donc que l'étude d'un site, et de l'état du roadkill sur celui-ci, nécessiterait une connaissance approfondie de la faune présente dans ce site (richesse spécifique et abondance) afin de prévoir la quantité de nécromasse sur celui-ci. Un état des lieux préalable devrait également être réalisé afin d'inventorier la flore présente aux alentours, susceptible de changer la composition en entomofaune du site. De plus, la plupart des espèces de *Silphidae* sont exclusivement forestières. Leur utilisation ne serait donc adaptée que pour l'utilisation du bioindicateur en milieu forestier. Enfin, les communautés d'insectes nécrophages fluctuent chaque semaine non seulement en fonction de l'état de décomposition des cadavres présents sur le site étudié mais également selon plusieurs facteurs climatiques. Autant de facteurs qui pourraient biaiser les résultats.

La création d'un indicateur de la mortalité animale due aux ILTe via l'utilisation des insectes nécrophages nécessiterait donc la prise en compte de chacun de ces paramètres. Il semble donc difficile, au regard de ces résultats, d'établir une corrélation fiable entre quantité d'insectes nécrophages (richesses spécifiques et abondances) et impact des infrastructures, et par conséquent de mettre en place un tel bioindicateur (utilisable dans tous les milieux et tout au long de l'année). Cette étude a néanmoins permis d'ouvrir la réflexion quant à l'évolution des populations de cette entomofaune nécrophage face à l'évolution de la quantité de nécromasse en un lieu. Il serait ainsi intéressant d'effectuer une étude temporelle d'un milieu, année après année, afin de corréler l'enrichissement en cadavres de ce site à l'évolution des populations. Il semble de plus primordial de continuer les recherches quant à l'impact des ILTe sur la faune afin de trouver des mesures d'atténuation efficaces. Compte tenu des enjeux importants que représente la protection des milieux naturels, la conception et la mise en œuvre de projets doit définir les mesures adaptées pour éviter, réduire et, lorsque c'est nécessaire compenser leurs impacts négatifs sur l'environnement. Le projet Dood doet Leven, en Français « La mort fait la vie », mis en place depuis plusieurs années dans la forêt de Soignes en Belgique, s'est ainsi intéressé aux cadavres issus du roadkill, très abondants dans cette forêt. Le principe de cette initiative est de laisser se décomposer dans la forêt les carcasses des animaux victimes du roadkill, au lieu de les emmener à l'équarrissage, afin de favoriser la décomposition naturelle de celles-ci. Ce projet a su intégrer la gestion des cadavres à celle des milieux et des ILTe.

## Bibliographie

- Aak, A., & Knudsen, G. K. (2011). Sex differences in olfaction-mediated visual acuity in blowflies and its consequences for gender-specific trapping. *Entomologia Experimentalis et Applicata*
- Baofa, Y., Huyin, H., Yili, Z., Le, Z., & Wanhong, W. (2006). Influence of the Qinghai-Tibetan railway and highway on the activities of wild animals. *Acta Ecologica Sinica*, 26(12), 3917–3923. [http://doi.org/10.1016/S1872-2032\(07\)60001-8](http://doi.org/10.1016/S1872-2032(07)60001-8)
- Braack, L. E. O. (1987). Community dynamics of carrion-attendant arthropods in tropical african woodland. *Oecologia*, 72(3), 402–409. <http://doi.org/10.1007/BF00377571>
- Bugajski, K. N., Seddon, C. C., & Williams, R. E. (2011). A comparison of blow fly (Diptera: Calliphoridae) and beetle (Coleoptera) activity on refrigerated only versus frozen-thawed pig carcasses in Indiana. *Journal of Medical Entomology*, 48(6), 1231–1235.
- Campan, M. (1974). [Orientation behavior of *Calliphora vomitoria* (Diptera) females toward the odor of the laying site. Influence of allata secretions and preliminary data on the role of the ovary]. *General and Comparative Endocrinology*, 22(2), 177–183.
- Carter, D. O., Yellowlees, D., & Tibbett, M. (2006). Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, 94(1), 12–24. <http://doi.org/10.1007/s00114-006-0159-1>
- Charabidze, D., Hedouin, V., & Gosset, D. (2012). Que font les mouches en hiver ? Étude des variations hebdomadaires et saisonnières des populations d'insectes nécrophages. *La Revue de Médecine Légale*, 3(3), 120–126. <http://doi.org/10.1016/j.medleg.2012.06.001>
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. E. (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109(1), 15–26. [http://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00127-1](http://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00127-1)
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396–406. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- Degenkolb, T., Düring, R.-A., & Vilcinskas, A. (2011). Secondary Metabolites Released by The Burying Beetle *Nicrophorus vespilloides*: Chemical Analyses and Possible Ecological Functions. *Journal of Chemical Ecology*, 37(7), 724–735. <http://doi.org/10.1007/s10886-011-9978-4>
- Dekeirsschieter, J. (2007, August 31). *Etude des odeurs émises par des carcasses de porc (Sus domesticus L.) en décomposition et suivi de la colonisation postmortem par les insectes nécrophages*. Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique.
- Dekeirsschieter, J., Verheggen, F. J., Haubruge, E., & Brostaux, Y. (2011). Carrion beetles visiting pig carcasses during early spring in urban, forest and agricultural biotopes of Western Europe. *Journal of Insect Science*, 11(1), 73. <http://doi.org/10.1673/031.011.7301>
- Erziñlioğlu, Z. (1996). Blowflies., ii + 71 pp.
- Farinha, A., Dourado, C. G., Centeio, N., Oliveira, A. R., Dias, D., & Rebelo, M. T. (2014). Small bait traps as accurate predictors of dipteran early colonizers in forensic studies. *Journal of Insect Science*, 14(1), 77. <http://doi.org/10.1093/jis/14.1.77>
- Fisher, P., Wall, R., & Ashworth, J. R. (1998). Attraction of the sheep blowfly *Lucilia sericata* (Diptera : Calliphoridae) to carrion bait in the field. *Bull. Entomol. Research*, 86(6), 611–616.
- Forman, R. T. T. (2003). *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press.
- Frederickx, C., Dekeirsschieter, J., Verheggen, F. J., & Haubruge, E. (2012). Responses of *Lucilia sericata* Meigen (Diptera: Calliphoridae) to cadaveric volatile organic compounds. *Journal of Forensic Sciences*, 57(2), 386–390. <http://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.02010.x>
- Glista, D. J., DeVault, T. L., & DeWoody, J. A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91(1), 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.001>
- Grilo, C., Bissonette, J. A., & Santos-Reis, M. (2009). Spatial–temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: Consequences for mitigation. *Biological Conservation*, 142(2), 301–313. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.026>

- Grosman, P. D., Jaeger, J. A. G., Biron, P. M., Dussault, C., & Ouellet, J.-P. (2011). Trade-off between road avoidance and attraction by roadside salt pools in moose: An agent-based model to assess measures for reducing moose-vehicle collisions. *Ecological Modelling*, 222(8), 1423–1435. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.01.022>
- Hainsworth, F. R., Fisher, G., & Precup, E. (1990). Rates of energy processing by blowflies: the uses for a joule vary with food quality and quantity. *Journal of Experimental Biology*, 150(1), 257–268.
- HOLDAWAY, F. G., & EVANS, A. C. (1930). Parasitism a Stimulus to Pupation: *Alysia manducator* in relation to the Host *Luciia sericata*. *Nature*, 125(3155), 598–599 pp. <http://doi.org/10.1038/125598a0>
- Jaarsma, C. F., van Langevelde, F., & Botma, H. (2006). Flattened fauna and mitigation: Traffic victims related to road, traffic, vehicle, and species characteristics. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(4), 264–276. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2006.05.001>
- Jaeger, J. A. G., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., ... von Toschanowitz, K. T. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185(2–4), 329–348.
- Johansen, H., Solum, M., Knudsen, G. K., Hågvar, E. B., Norli, H. R., & Aak, A. (2014). Blow fly responses to semiochemicals produced by decaying carcasses. *Medical and Veterinary Entomology*, 28(1), 26–34. <http://doi.org/10.1111/mve.12016>
- Kelling, F. J., Biancaniello, G., & Den Otter, C. J. (2003). Effect of age and sex on the sensitivity of antennal and palpal olfactory cells of houseflies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 106(1), 45–51. <http://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00009.x>
- Kelling, J., Biancaniello, G., & Den Otter, C. J. (2003). Effect of age and sex on the sensitivity of antennal and palpal olfactory cells of houseflies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 106, 45–51.
- Kočárek, P. (2003). Decomposition and Coleoptera succession on exposed carrion of small mammal in Opava, the Czech Republic. *European Journal of Soil Biology*, 39(1), 31–45. [http://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)00007-9](http://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)00007-9)
- Mallard, F. (2014, March 5). *Développement d'une méthode d'évaluation quantitative des effets des projets d'infrastructures de transport terrestre sur les milieux naturels* (phdthesis). Ecole Centrale de Nantes (ECN).
- Marchenko, M. I. (1988). Medico-legal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time since death. *Acta Medicinæ Legalis Et Socialis*, 38(1), 257–302.
- Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Suárez, F., & Malo, J. E. (2005). Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. *Biological Conservation*, 124(3), 397–405.
- Olson, D. D., Bissonette, J. A., Cramer, P. C., Green, A. D., Davis, S. T., Jackson, P. J., & Coster, D. C. (2014). Monitoring Wildlife-Vehicle Collisions in the Information Age: How Smartphones Can Improve Data Collection. *PLoS ONE*, 9(6), e98613. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0098613>
- Ordóñez, A., García, M. D., & Fagua, G. (2008). Evaluation of efficiency of Schoenly trap for collecting adult sarcosaprophagous dipterans. *Journal of Medical Entomology*, 45(3), 522–532.
- Prado e Castro, C., Serrano, A., Martins Da Silva, P., & García, M. D. (2012). Carrion flies of forensic interest: a study of seasonal community composition and succession in Lisbon, Portugal. *Medical and Veterinary Entomology*, 26(4), 417–431.
- Pukowski, E. (1933). Ökologische untersuchungen an necrophorus f. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*, 27(3), 518–586. <http://doi.org/10.1007/BF00403155>
- Schoenly, K. G., Haskell, N. H., Hall, R. D., & Gbur, J. R. (2007). Comparative performance and complementarity of four sampling methods and arthropod preference tests from human and porcine remains at the Forensic Anthropology Center in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*, 44(5), 881–894.
- Schoenly, K. G., Shahid, S. A., Haskell, N. H., & Hall, R. D. (2005a). Does Carcass Enrichment Alter Community Structure of Predaceous and Parasitic Arthropods? A Second Test of the

- Arthropod Saturation Hypothesis at the Anthropology Research Facility in Knoxville, Tennessee. *Journal of Forensic Sciences*, 50(1), 1–9. <http://doi.org/10.1520/JFS2004137>
- Schoenly, K. G., Shahid, S. A., Haskell, N. H., & Hall, R. D. (2005b). Does carcass enrichment alter community structure of predaceous and parasitic arthropods? A second test of the arthropod saturation hypothesis at the Anthropology Research Facility in Knoxville, Tennessee. *Journal of Forensic Sciences*, 50(1), 134–142.
- Seshadri, K. S., & Ganesh, T. (2011). Faunal mortality on roads due to religious tourism across time and space in protected areas: A case study from south India. *Forest Ecology and Management*, 262(9), 1713–1721. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.017>
- Shahid, S. A., Schoenly, K., Haskell, N. H., Hall, R. D., & Zhang, W. (2003). Carcass Enrichment Does Not Alter Decay Rates or Arthropod Community Structure: A Test of the Arthropod Saturation Hypothesis at the Anthropology Research Facility in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*, 40(4), 559–569. <http://doi.org/10.1603/0022-2585-40.4.559>
- Skidmore, P. (1985). *The Biology of the Muscidae of the World*. Springer Science & Business Media.
- Smith, K. G. V. (1986). *A manual of forensic entomology.*, 205pp.
- Stoffolano Jr., J. G. (1974). Influence of diapause and diet on the development of the gonads and accessory reproductive glands of the black blowfly, *Phormia regina* (Meigen). *Canadian Journal of Zoology*, 52(8), 981–988. <http://doi.org/10.1139/z74-130>
- Tsuda, Y., Hayashi, T., Higa, Y., Hoshino, K., Kasai, S., Tomita, T., ... Kobayashi, M. (2009). Dispersal of a blow fly, *Calliphora nigribarbis*, in relation to the dissemination of highly pathogenic avian influenza virus. *Jpn. J. Infect. Dis.*, 62, 294–97.
- Van Bohemen, H. D. (1998). Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering1. *Ecological Engineering*, 11(1–4), 199–207. [http://doi.org/10.1016/S0925-8574\(98\)00038-X](http://doi.org/10.1016/S0925-8574(98)00038-X)
- Woodcock, B. A., Watt, A. D., & Leather, S. R. (2002). Aggregation, habitat quality and coexistence: a case study on carrion fly communities in slug cadavers. *Journal of Animal Ecology*, 71(1), 131–140. <http://doi.org/10.1046/j.0021-8790.2001.00584.x>

## Sitographie

- (1) Inventaire ZNIEFF. Site n°1/2/116 La forêt domaniale de Phalempin, le bois de l'Offlarde et leurs lisieres. [http://www.nord.gouv.fr/content/download/9734/59922/file/Znieff1-116\\_cle68bcfe.pdfv](http://www.nord.gouv.fr/content/download/9734/59922/file/Znieff1-116_cle68bcfe.pdfv)
- (2) Toutes-les-villes.com. Phalempin (59). <http://www.toutes-les-villes.com/59/phalempin.html>
- (3) ZNIEFF. La forêt domaniale de Phalempin, le Bois de l'Offlarde, Bois Monsieur, les Cinq Tailles et leurs lisières (Identifiant national : 310013741) <http://inpn.mnhn.fr/docs/ZNIEFF/znieffpdf/310013741.pdf>
- (4) CBNBL. Forêts de feuillus caducifoliés sur sol non marécageux. [http://www.cbnbl.org/IMG/pdf/03\\_-\\_querco-fagetea-p-102-171.pdf](http://www.cbnbl.org/IMG/pdf/03_-_querco-fagetea-p-102-171.pdf)
- (5) PNR Scarpe Escaut. La forêt domaniale de Flines-lès-Mortagne. [http://www.pnr-scarpe-escaut.fr/sites/default/files/foret\\_de\\_flines\\_web.pdf](http://www.pnr-scarpe-escaut.fr/sites/default/files/foret_de_flines_web.pdf)
- (6) Tela Botanica - Le réseau des botanistes francophones. <http://www.tela-botanica.org/site:accueil>
- (7) ZNIEFF. Forêt domaniale de Flines-les-Mortagne (Identifiant national : 310013711) <http://inpn.mnhn.fr/docs/ZNIEFF/znieffpdf/310013711.pdf>
- (8) SIRF. <http://www.sirf.eu/index.php?cont=common&tpl=accueil>
- (9) Atlas écologique des Coléoptères forestiers. <http://www.sibnef1.eu/Coleopteres/Silphidae/img145/eco145.HTM>
- (10) CBNBL. Digitale 2. <http://digitale.cbnbl.org/digitale-rft/site/>

## Annexes

### Annexe 1 : Tests préliminaires

Des tests préliminaires ont été réalisés pendant sept semaines entre le 1<sup>er</sup> avril 2015 et le 15 mai 2015. Si la forêt de Phalempin était déjà choisie comme site à risque, le site témoin était lors de ces prétests situé dans un bois proche du village de Bouvignies. Celui-ci possédait les mêmes conditions environnementales que le site à risque. Lors de ces semaines d'expérience, les pièges de type Barber et Upton n'étaient installés que le mercredi et relevés le vendredi. Le lundi étaient posés des assiettes jaunes qui étaient relevées le mercredi au moment de la pause des pièges Barber et Upton. Posés également au nombre de dix, éloignés chacun de 20m, ces pièges posés au sol ont la particularité d'attirer les insectes qui seront ensuite piégés dans l'eau remplissant l'assiette. Ces pièges ont été mis en place afin d'éviter les biais possibles dus à la mise en place des pièges de type Upton. En effet, ces derniers, à cause de la présence d'un cadavre à l'intérieur, peuvent hypothétiquement attirer des diptères éloignés du site d'étude car les mouches peuvent sentir l'odeur d'une ressource à plusieurs kilomètres, et elles se déplacent vite. Un record a ainsi déjà été observé pour *Musca Domestica* (*Muscidae*) à Cameron Highlands, elle a parcouru 7km en deux jours à la recherche de nourriture. Une étude au Japon a pu mettre en évidence une vitesse moyenne de 1000m par jour pour des individus de *Calliphora nigribarbis* (Tsuda et al., 2009). Cette étude souhaite mettre en évidence la présence continue d'insectes nécrophages dans les environs des zones à apport de cadavres régulier, mettre des pièges non attractifs permettait donc de confirmer ou non le biais créé par les pièges attractifs car ils n'attirent que les diptères nécrophages se déplaçant aux alentours. Cette précaution n'a pas lieu d'être pour les coléoptères nécrophages car ceux-ci se déplacent sur de plus petites distances sur une journée.

Les résultats de ces prétests ne seront pas analysés pour cette étude car les propriétaires du site témoin n'ont pas souhaité donner suite à l'installation des pièges au sein de leur propriété. De plus, l'analyse des assiettes jaunes s'est révélée inefficace car ces derniers attiraient un nombre très important de diptères non nécrophages qui m'auraient demandé un travail d'identification trop conséquent par rapport à la durée de l'étude. Il a enfin semblé plus judicieux d'augmenter le temps de présence des pièges Barber et Upton chaque semaine. Ces sept semaines de tests m'ont néanmoins permis de tester l'efficacité des différents pièges, d'en améliorer la conception et de me familiariser avec les techniques d'identification des diptères et coléoptères nécrophages.




## Annexe 2 : Emplacement des pièges dans le site à risque

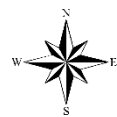


0 0,04 0,08 0,16 0,24 0,32 Kilomètres

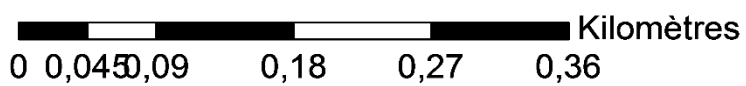
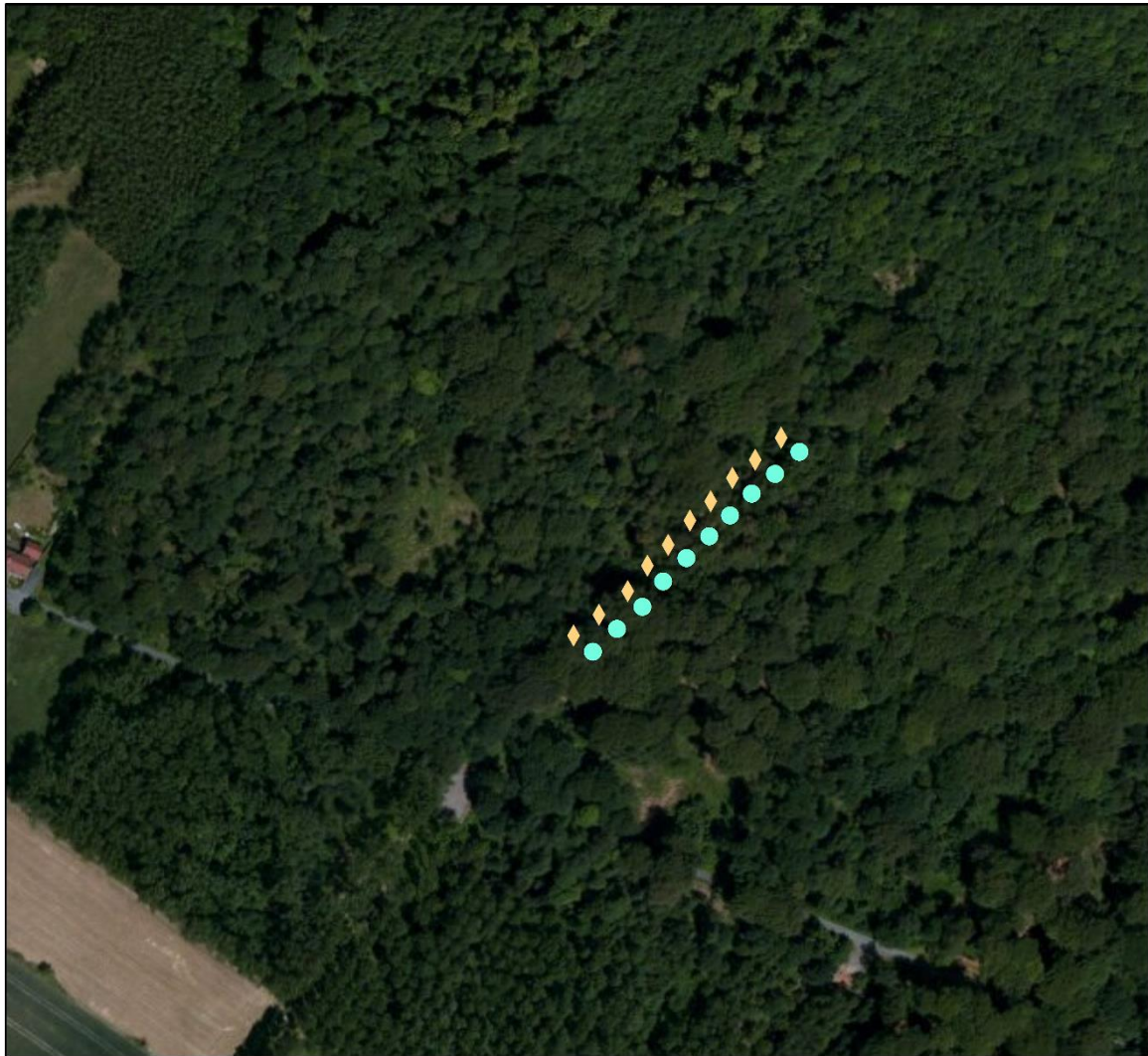
## Emplacement des pièges sur le site à risque

### Légende

-  Autoroute A1
-  Pièges Barber
-  Pièges entonnoirs



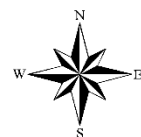
### Annexe 3 : Emplacement des pièges dans le site témoin



## Emplacement des pièges sur le site témoin

### Légende

- ◆ Pièges entonnoirs
- Pièges Barber



### Annexe 3 : détails des pièges

**Les pièges de type Barber** sont enfoncés au niveau du sol (figure 2). Les pièges de type Barber, plus connus sous le nom « pitfall trap », sont considérés comme l'un des pièges les plus efficaces pour la récolte de coléoptères nécrophages (Schoenly, Haskell, Hall, & Gbur, 2007). Ils sont au nombre de 10 par site, espacés de 20m chacun, et permettent notamment le piégeage des coléoptères. Les coléoptères, attirés par l'odeur du cadavre en décomposition, se posent près du piège puis marchent pour s'approcher du cadavre jusqu'à tomber dans le piège. Ils ne peuvent ensuite plus en sortir à cause de la présence d'eau dans le fond de celui-ci. A l'eau sont ajoutées quelques gouttes de liquide vaisselle, qui permet de réduire la tension superficielle afin que les insectes se noient directement.

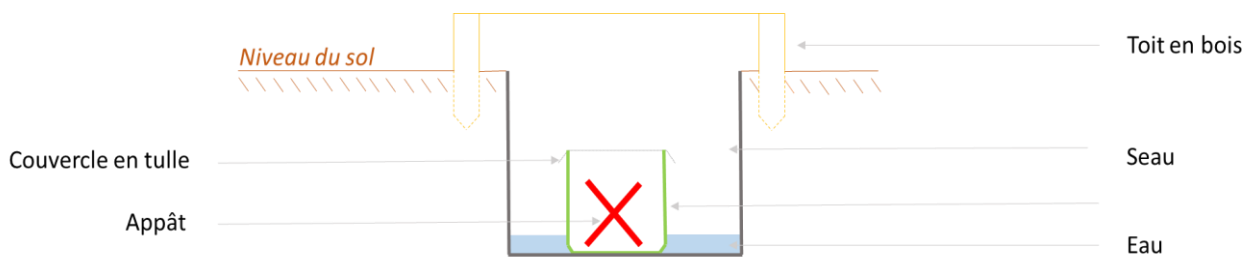


Figure 2 : Schéma représentant un piège de type Barber

L'entomofaune est récoltée sur le terrain à l'aide d'un entonnoir et d'un papier absorbant et est placée dans différents pots, chaque pot correspondant à un piège. Ceux-ci sont ensuite placés une nuit au congélateur puis les pots sont triés afin de séparer les diptères et coléoptères des autres insectes et arachnides tombés dans le piège. Les diptères et coléoptères sont ensuite séchés. Enfin, les diptères sont comptés, et les coléoptères identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire et dénombrés. Les coléoptères non nécrophages sont identifiés jusqu'à la famille et les coléoptères nécrophages jusqu'à l'espèce.

**Des pièges type Upton**, au nombre de 10, sont accrochés à environ 1m de hauteur, à 20m d'intervalle les uns des autres (figure 3). Les pièges type Upton sont efficaces pour la capture de diptères, faciles à fabriquer et peu onéreux (Farinha et al., 2014). Ils contiennent un réceptacle fermé dans lequel est disposé un demi cadavre de rat, celui-ci laisse passer les odeurs de décomposition vers un réceptacle principal ouvert grâce à des entonnoirs qui permettent aux insectes d'entrer mais ne leur permettent pas d'en sortir.

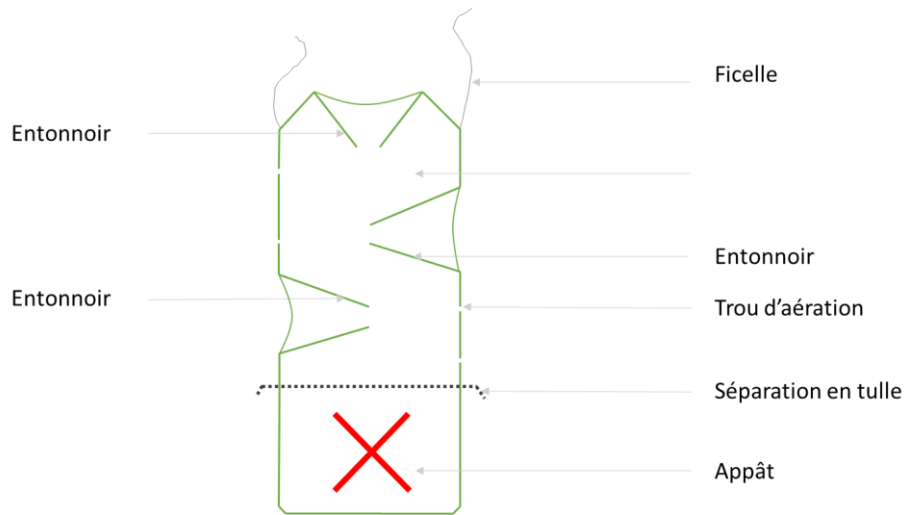


Figure 3 : Schéma représentant un piège type Upton

Une fois les pièges retirés des terrains, ils sont placés au congélateur le temps que les insectes récoltés meurent. Tous les diptères et coléoptères ainsi récoltés sont dénombrés identifiés, ceux identifiés comme nécrophages jusqu'à l'espèce, les autres jusqu'à la famille.

## Annexe 4 : Retour sur les projets exploratoires

### - le processus de sélection

Le processus de sélection est clair et rapide. La taille du dossier est cohérente avec l'investissement financier correspondant.

### - la subvention allouée

La subvention allouée semble raisonnable (du moins dans le cadre de ce projet) avec le coût des études réalisées et le temps passé. La gestion financière du budget n'a pas posé de problème.

### - contraintes administratives

Outre l'établissement de la convention préliminaire, un peu long et complexe, il n'y a pas de contraintes administratives. Le principal problème concerne le retour des résultats : poster + communication orale + rapport. D'autant plus que le retour oral, auquel ma présence était souhaitée, se déroulait dans le sud : je ne suis pas certain de l'intérêt d'un déplacement sur 2 jours avec les frais liés (avion + hébergement) pour 10 minutes de présentation... Il serait à mon avis préférable de rendre ce retour facultatif (visioconférence), ou bien de choisir un lieu plus central...

### - mise en réseau

Dans le cadre de ce projet, nous n'avons pas pu bénéficier du réseau théoriquement offert par ITTECOP. Le gestionnaire de l'infrastructure (SANEF, autoroute A1), n'a pas répondu à nos sollicitations... ce qui a grandement limité l'interprétation de nos résultats (cf rapport). Par ailleurs, nous avons été confrontés au refus de plusieurs propriétaires de forêts (particuliers) pour l'installation de pièges à insectes sur leurs domaines.

Enfin, dans un tout autre contexte (recherche d'un site pour suivi de décomposition de cadavres animaux), nous avons fait appel au réseau ITTECOP : nous avons eu très peu de retours, et toujours négatifs (l'impression générale était une absence de volonté d'implication dans la recherche).

**- suites à donner aux projets : quels seraient les critères qui feraient qu'après un PExplo l'équipe ne voudrait pas donner suite ? (critères basés sur le Pexplo lui-même, pas sur les contraintes de montage d'une suite),**

Les résultats de ce projet exploratoire n'ont pas permis de mettre en évidence une tendance significative, et n'incitent donc pas à monter un projet de plus grande envergure basé sur le postulat initial.

**- les projets exploratoires sont-ils vraiment exploratoires ? Quelle est la différence selon vous par rapport à d'autres projets de recherche ? Quelles limites intellectuelles ?**

Il s'agissait vraiment d'un projet exploratoire (test d'un postulat).

### - commentaires libres

Il serait utile de pouvoir développer les projets exploratoires sur 2 ans au lieu d'1 afin de disposer de répliques (même budget mais réparti sur 2 ans).