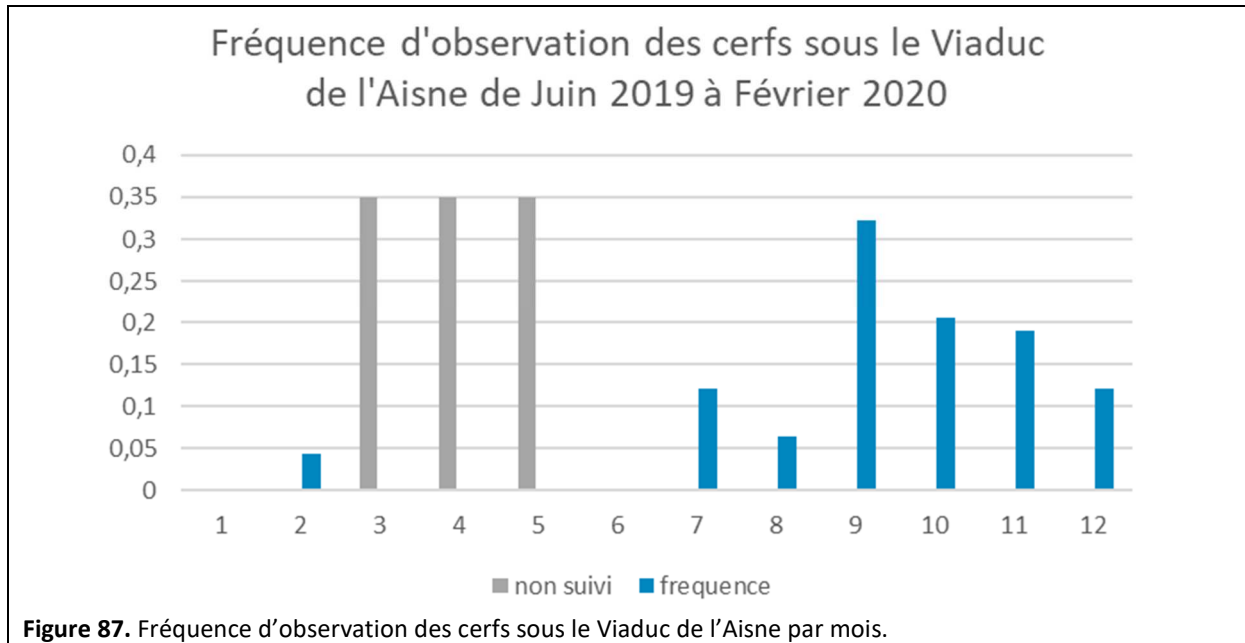


Par ailleurs, notons que 57% des observations de cerfs ont eu lieu en Septembre et Octobre (**Figure 87**), ce qui est légèrement biaisé par une pression d'observation un peu plus élevée à ces périodes (pas de problème de fonctionnement des appareils). Même si certains mois n'ont pas pu être suivis, il existe des écarts importants, notamment dus à une forte fréquentation du viaduc principalement en Septembre, puis en Octobre/Novembre, ce qui correspond à la période de brame. Le viaduc de l'Aisne, en plus d'être souvent fréquenté par les cerfs, l'est donc particulièrement en pleine période de reproduction. Cela ajoute de l'importance à cet ouvrage qui semble ainsi permettre un échange de gènes entre le Nord et le Sud de l'A4.



➤ Autres ouvrages argonnais

Seuls deux cerfs ont été détectés sous la plus large buse, surnommée « Fontaine d'Olive Ouest » (FOW) (**Figure 88, Tableau 20**), suffisamment large pour y faire passer des camions de transport de bois.



Tableau 20. Données de cerfs élaphe sous le pont « Fontaine d'Olive Ouest »

Pont	Date	Heure (GMT+1)	Sexe	Sens Passage
FOW	24/09/2019	4:50	Cerf	Nord-Sud
FOW	21/05/2020	2:29	Biche	Nord-Sud

La buse la plus à l'est, plus petite et nommée « Fontaine d'Olive Est » (FOE), n'a été visitée par aucun cerf. Une observation intéressante a toutefois été faite, d'une biche s'arrêtant devant l'entrée, et refusant de pénétrer dans l'ouvrage (**Figure 89**).



Figure 89. Photographie d'une biche devant l'ouvrage « Fontaine d'Olive Est » (Argonne).

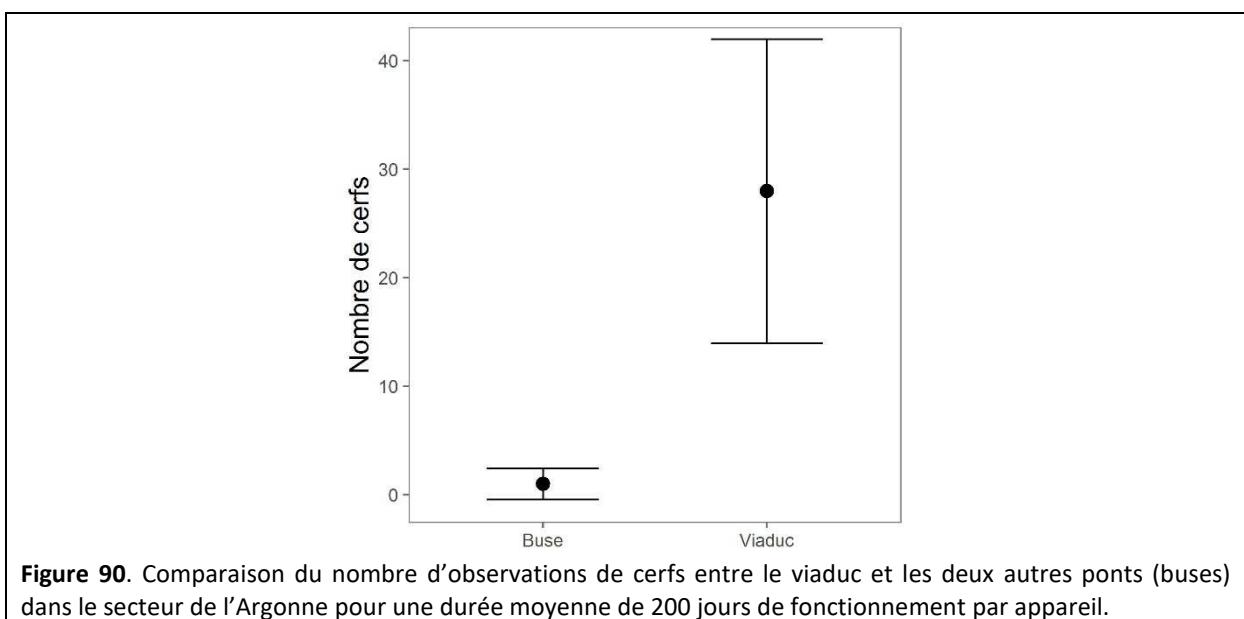


Figure 90. Comparaison du nombre d'observations de cerfs entre le viaduc et les deux autres ponts (buses) dans le secteur de l'Argonne pour une durée moyenne de 200 jours de fonctionnement par appareil.

La comparaison du nombre moyen de cerfs détectés par appareil photo en Argonne (sur une durée moyenne de 200 jours) montre une nette contre-sélection des ouvrages plus petits, même si seulement deux évènements de traversée y ont eu lieu (**Figure 90**). L'importance de ces ouvrages pour la connectivité entre les deux parties du massif semble donc très faible au regard de la forte fréquentation du viaduc, pourtant excentré par rapport au massif forestier.

La **Figure 91** rassemble les données de cerfs, classées par heure de détection. De manière évidente, il est visible que les ouvrages sont évités en journée. La distribution des données est certainement le fait de plusieurs paramètres, d'une part une activité et des déplacements de cerfs plus importants la nuit, et aussi probablement un évitement des infrastructures en journée dû à la forte fréquentation humaine, notamment sur l'autoroute.

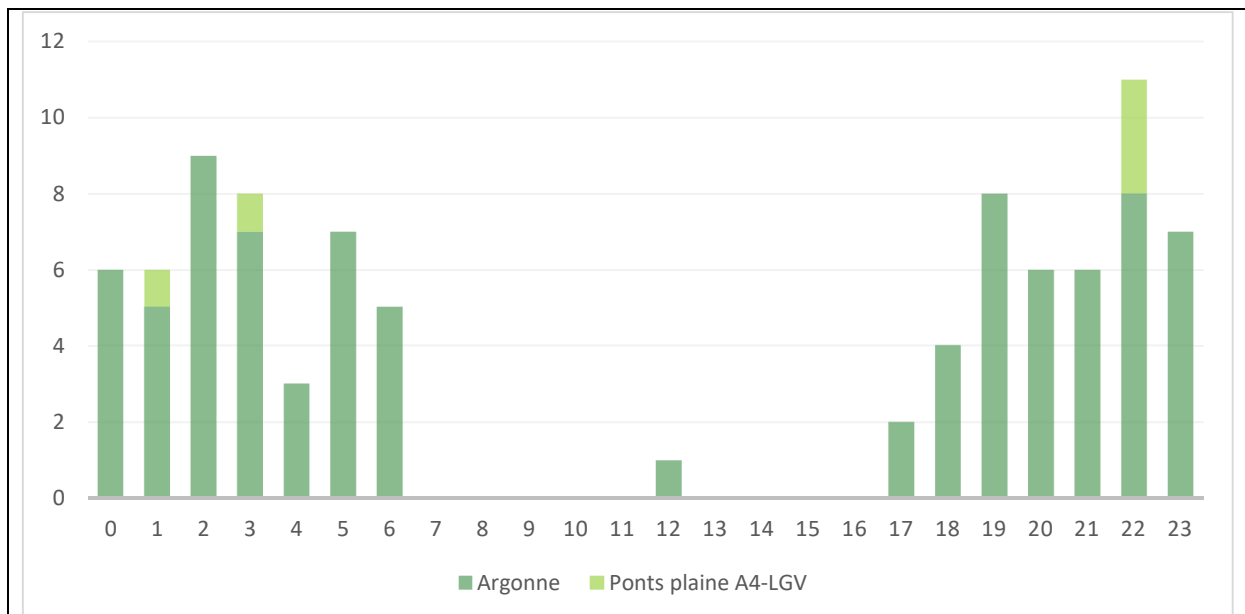


Figure 91. Total des observations de cerfs par heure (GMT+1).

➤ Conclusion cerf

Avec seulement cinq observations sur un total de près de 13 000 jours de piégeage photographique (cumul des durées de suivi pour tous les appareils), les évènements de traversées de Cerfs en plaine sont donc des évènements rares. Il est évident que toutes les traversées n'ont pas pu être détectées, mais sur les quelques données collectées, les ouvrages empruntés ont des caractéristiques assez ressemblantes (pont agricole plutôt supérieur, entouré de cultures, et peu végétalisé).

Le rôle du paysage alentour est évidemment prépondérant dans les écarts observés entre les différentes zones (Argonne et plaine) : les densités de cerfs autour des ponts en plaine sont bien plus faibles qu'en Argonne. Les cerfs détectés sont alors en déplacements hors de leur massif forestier. En Argonne, le viaduc étant situé en bordure de forêt, il peut être utilisé de façon quasi-quotidienne par certains individus.

D'après la littérature, les ponts supérieurs sont plus souvent fréquentés que les passages inférieurs. Ce point est confirmé par nos observations, où seul un Cerf a été observé dans un ouvrage inférieur

(LGV06), alors situé dans un cul de sac infranchissable formé par le croisement entre l'autoroute et la LGV, dont le pont constituait la seule porte de sortie.

En Argonne, tous les ouvrages sont inférieurs. En revanche, le Viaduc, bien plus haut et bien plus long, recense la quasi-totalité des observations. Les buses à proximité sont évitées, alors qu'elles sont situées de manière plus centrale, moins excentrée que le Viaduc par rapport au massif.

Ainsi, si des évènements de traversée ont bien lieu çà et là, il semblerait, au vu des photographies, que la connectivité pour les cerfs soit assurée majoritairement par ce Viaduc. Ce dernier serait donc particulièrement important pour la connectivité chez cette espèce à l'échelle régionale.

c. Résultats pour les autres espèces

➤ Résultats bruts

A l'issue de la quatrième session de piégeage photographique, un total de 1 627 861 clichés ou vidéos ont été visionnés, sur presque trois ans de suivi (**Tableau 21**). Quinze espèces de mammifères ont été recensées (hors micromammifères), avec de grandes disparités géographiques dans la distribution des observations.

Tableau 21. Informations relatives aux quatre sessions de suivi par piégeage photographique.

Session	Nombre de clichés	Total "jours sans problème"	Nombre de ponts suivis	Nombre Appareils disparus
1	561 041	3583	24	7
2	284 459	3745	22	3
3	681 708	3993	24	2
4	100 653	1628	7	1

Au total, 6025 passages de mammifères ont été recensés. Un nombre colossal de clichés s'est avéré inintéressant, l'appareil se déclenchant notamment lors du passage d'humains, d'insectes, de lapins (non comptabilisés car vivant souvent directement sur le pont). Un fait important est la disparition de treize pièges photographiques, conduisant à l'abandon notamment du secteur tout à l'ouest, proche de villages. Les espèces majoritairement détectées sont le Renard (n=2301), le Lièvre (n=1484) et le Blaireau (n=1004) (**Tableau 22**). Le Renard a la distribution la plus large, présent dans 80% des ouvrages. Le Lièvre est second, mais présent seulement dans la moitié des ouvrages (48%). Le grand nombre d'individus parfois noté sur certains ponts peut-être le fait d'un seul ou de quelques individus passant un grand nombre de fois, parfois quotidiennement.

Tableau 22. Nombre de clichés et nombre de sites fréquentés par espèce de mammifères.

Espèce	Nombre sites	% sites	Nombre clichés
Renard (<i>Vulpes vulpes</i>)	45	80,4%	2301
Lièvre (<i>Lepus europaeus</i>)	27	48,2%	1484
Chevreuril (<i>Capreolus capreolus</i>)	23	41,1%	623
Blaireau (<i>Meles meles</i>)	19	33,9%	1004
Fouine (<i>Martes foina</i>)	9	16,1%	18
Putois (<i>Mustela putorius</i>)	7	12,5%	57
Hérisson (<i>Erinaceus europaeus</i>)	6	10,7%	11
Sanglier (<i>Sus scrofa</i>)	6	10,7%	25
Martre (<i>Martes martes</i>)	5	8,9%	31
Cerf (<i>Cervus elaphus</i>)	4	7,1%	5
Chat forestier (<i>Felis sylvestris</i>)	4	7,1%	10
Ecureuil (<i>Sciurus vulgaris</i>)	3	5,4%	36
Raton laveur (<i>Procyon lotor</i>)	3	5,4%	5
Chien viverrin (<i>Nyctereutes procyonoides</i>)	1	1,8%	1
Ragondin (<i>Myocastor coypus</i>)	1	1,8%	16
<i>Martes sp.</i>	15	26,8%	57
<i>NI</i>	*	*	341
Total	51	91,1%	6025

En ce qui concerne le nombre d'espèces détectées par ouvrage, on distingue de grands écarts de richesse spécifique, avec quelques ouvrages sans aucun passage, et trois ouvrages avec plus de huit espèces (**Figure 92**).

La grande majorité des ponts a été traversée par des mammifères, ce qui montre que tous les ponts peuvent être potentiellement utilisés par la faune et avoir un rôle dans la connectivité. Seuls cinq ponts n'ont pas du tout été empruntés au cours du suivi : quatre d'entre eux sont des routes bitumées empruntées par les voitures, et le cinquième est une buse de taille moyenne empruntée notamment par des piétons ou des vélos tout terrain. Cette dernière a la particularité d'être composée de plusieurs passages, la traversée se faisant par une buse, puis par un coude enherbé longeant l'autoroute, puis par une deuxième buse. Cette dernière section semblait utilisée régulièrement par des humains pour des bivouacs.

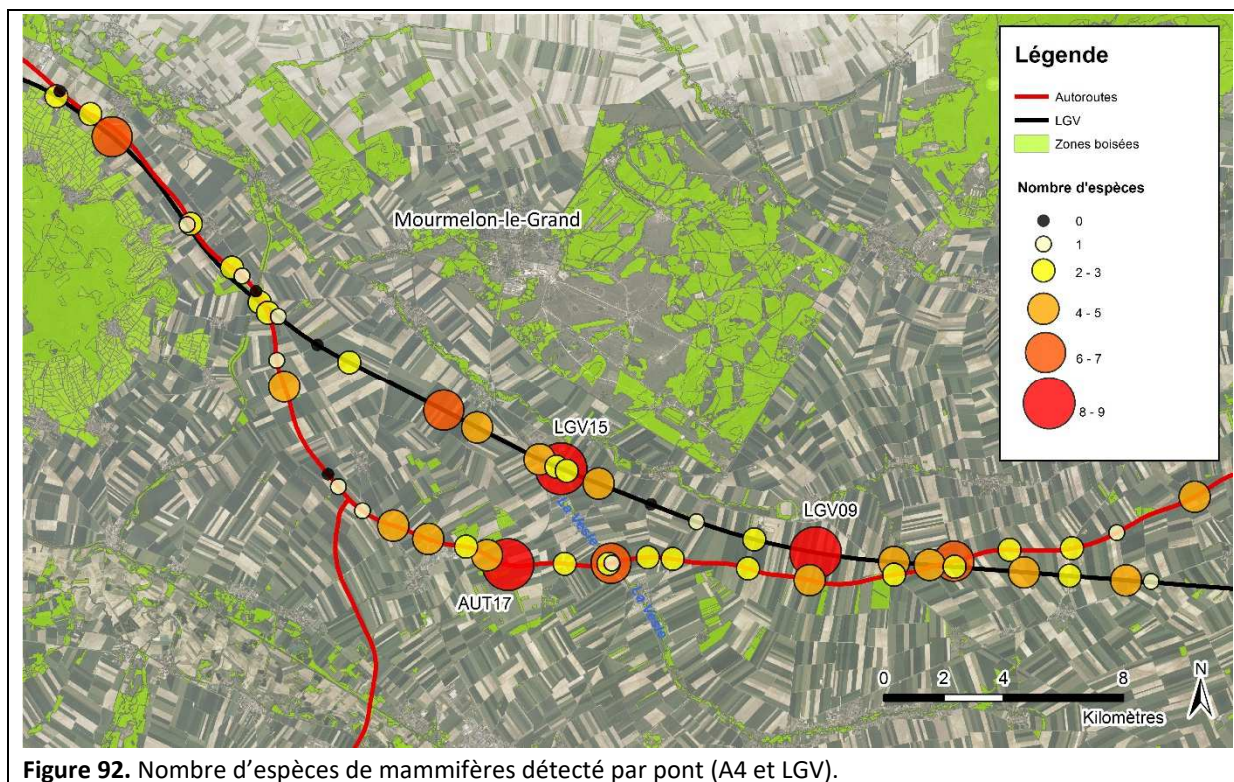


Figure 92. Nombre d'espèces de mammifères détecté par pont (A4 et LGV).

Notons également que pour ces passages où aucune espèce n'a été détectée, trois des cinq appareils ont été volés, un autre a eu de gros problèmes de fonctionnement et n'a été opérationnel que trois mois sur huit, et le dernier a été retiré par précaution au bout de quatre mois après que tous les appareils autour aient été subtilisés.

➤ Résultats de la modélisation

Pour rappel, le modèle de fréquentation des ouvrages a été réalisé pour déterminer les variables (cf. p 84) qui expliquent :

- le nombre de visites par les mammifères par passage toutes espèces confondues (en bleu dans le **Tableau 23**).
- la richesse spécifique (= nombre d'espèces détectées par passage) (en vert dans le **Tableau 23**).
- la fréquentation des ponts par les espèces, une à une (en blanc dans le **Tableau 23**).

Les résultats sont résumés dans le **Tableau 23**, et détaillés dans les paragraphes qui suivent.

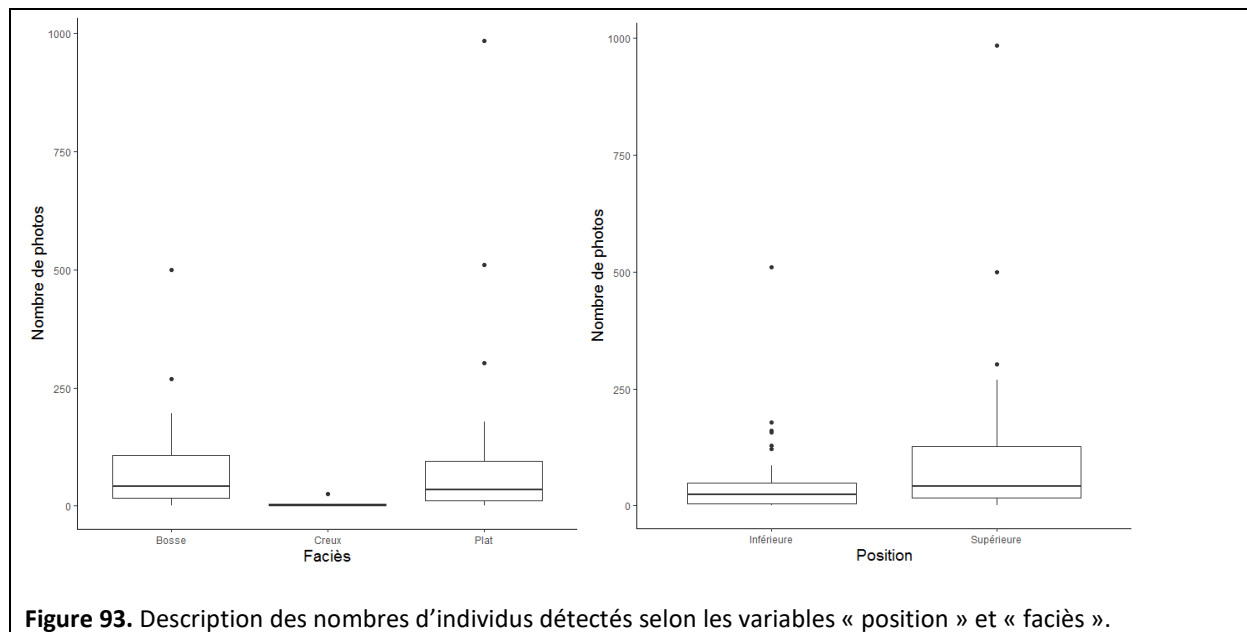
Tableau 23. Résultats généraux des différents modèles linéaires à effet mixtes par espèce, pour le nombre d'individus et la richesse spécifique (+ : effet positif / - : effet négatif ; Significativité de la p-value : * < 0.05, ** < 0.01, *** <0.001).

Espèce (nombre d'ouvrages)	Type	Position	Faciès	Fréquentation humaine	Surface boisée		PSn	Veg 1	Veg 2	Veg 3	Veg 4
					250	3000					
Renard (47)	Chemin : + *** Mixte : + * Route : - * Voie ferrée : + ***	Supérieure : + ***	Creux : - ** Plat : + ***		- ***	ns	+ *	- ***	ns	- ***	ns
Lièvre (27)	ns	Supérieure : + ***	Creux : + *** Plat : + ***	Très fréquenté : - ***	+ ***	- ***		+ ***	ns	- ***	ns
Blaireau (19)	ns	Supérieure : + ***	Plat : + ***	Très fréquenté : - ***	+ ***		ns	ns	ns	ns	ns
Chevreuil (24)	ns	Supérieure : - ***	Creux : - *** Plat : + **	Très fréquenté : - ***	+ ***	+ ***	+ ***	ns	ns	ns	ns
Putois (7)	Chemin : + ***	Supérieure : - *	Plat : - ***		- ***	+ ***		ns	ns	ns	ns
<i>Martes sp (16)</i>	Rivière : + ***	ns			+ ***		ns				
Ecureuil (3)	ns				ns	ns	ns				
Martre (6)	ns				ns	+ ***					
Sanglier (6)	Voie ferrée : + *					+ *	ns	ns	ns	ns	ns
TOUTES ESPECES (53)	ns	Supérieur : + ***	Plat : + ***	Très fréquenté : - ***	+ **	+ *	+ ***	- ***	ns	- ***	ns
RICHESSSE ²	ns	Supérieur : + ***	Plat : + ***	Très fréquenté : - **		+ ***	- **	ns	+ **	+ *	ns

Nombre de visites toutes espèces confondues par passage

Cette variable nous renseigne sur le nombre de photographies avec identification de mammifères. Un nombre élevé de clichés ne renseigne pas sur le nombre d'espèces, ni sur le nombre réel d'individus empruntant l'ouvrage. Il est toutefois un bon indicateur de la perméabilité, même si c'est le fait d'un faible nombre d'individus ou d'un faible nombre d'espèces, mais qui passent potentiellement très souvent.

D'après le modèle, les variables qui semblent favoriser significativement la présence d'animaux sont : La position (supérieure), le faciès (plat), la surface boisée dans un rayon de 250m et 3000m (notions de paysage), et le fait que le pont soit éloigné des autres



La **Figure 93** décrit visuellement les écarts de détection pour les variables Position et Faciès. On confirme que les ponts supérieurs sont plus favorables au passage d'animaux que les ponts inférieurs. De la même manière, la forme « Plate » (c'est-à-dire suivant le relief) et « Bosse » dans une moindre mesure (non significatif dans le modèle) semblent plus favorables que les ponts en « Creux ».

Il est évident que les ponts en « creux » sont nécessairement inférieurs, et qu'il y a certainement une forte corrélation entre ces deux variables. Par ailleurs, les ponts « plats » sont soit des ponts inférieurs ou supérieurs, mais semblent dans les deux cas favorables au passage des mammifères.

Les surfaces boisées dans un rayon de 250m et de 3000m influencent également positivement la fréquentation des ponts par un grand nombre d'individus. Cela indique une importance de l'aspect paysager à faible échelle (250m) et à grande échelle (3000m). Plus d'individus sont donc détectés sur des ponts placés dans un contexte paysager globalement plus boisé à grande échelle, mais la présence de surfaces boisées importantes à proximité des ponts (moins de 250m) est également favorable.

Enfin, l'isolement des ponts, a un effet positif sur la détection de mammifères. Cela confirme l'idée théorique selon laquelle les ponts les plus isolés peuvent concentrer le passage des individus sur un grand secteur. Cela n'est pas un gage de qualité des ponts : il indique surtout une plus grande difficulté à traverser pour les animaux, qui auraient potentiellement de plus grandes distances à parcourir pour trouver un ouvrage leur permettant de franchir les infrastructures.

Les variables influençant significativement de manière négative la traversée d'individus sont la **fréquentation humaine (ponts très fréquentés)**, et, assez étonnement, **les niveaux de végétalisation 1 et 3 des ponts**.

Il y a donc moins de fréquentation par les mammifères sur les ponts fortement fréquentés par l'Homme. En revanche, la variable de végétalisation des ponts se comporte de façon inattendue. Une faible végétalisation des abords des ponts (« Vég 1 »), tout comme une végétalisation importante (« Vég 3 ») sembleraient faire baisser le nombre d'individus fréquentant ces ponts. Cependant, l'échantillonnage des ponts est loin d'être optimal, et de nombreuses variables sont fortement corrélées. Par exemple, la végétalisation des ponts est souvent importante au niveau des talus, lorsque l'ouvrage est en « creux » ou en « bosse ». Ces derniers étant moins entretenus, ils sont très souvent couverts d'arbustes ou même d'arbres. De plus, la longueur et la hauteur de ces talus dépendent étroitement de l'accentuation du relief par l'ouvrage : plus un pont est haut et forme une bosse importante, plus le talus est important, et plus la végétation est abondante. Cela est généralement le cas de la classe « Veg3 », la classe « Veg4 » étant plutôt représentative des ouvrages situés en forêt ou à végétation naturelle importante à proximité. Enfin, des différences existent entre les deux ILT (A4 et LGV), puisque la LGV est plus récente, et les talus n'ont pas eu le temps de se végétaliser autant que sur l'autoroute, alors que ces barrières ont été traitées ensemble dans le modèle. Pour conclure sur ce point, les ponts peu végétalisés sont apparemment moins favorables, et un effet négatif est également noté pour la classe « Vég 3 » (végétalisation importante, mais pas totale), mais qui serait dû à des corrélations multiples avec d'autres variables (notamment dues à la présence de talus végétalisés). Cette variable n'aurait donc pas une grande importance pour la fréquentation des ouvrages par un grand nombre d'individus, étant liée à d'autres variables ayant un effet potentiellement plus important.

Le type d'ouvrage (route, chemin, mixte, buse, rivière, voie ferrée...) ne semble pas influencer significativement le nombre d'individus. Cette variable est également corrélée à un grand nombre d'autres variables : la fréquentation humaine, le revêtement, la largeur.

Le **Tableau 24** recense les données par espèce et par type de pont, en ajoutant la fréquence d'apparition des animaux (nombre de traversées / durée de suivi : moyenne \pm écart-type). Un constat important est la grande hétérogénéité des données : finalement, le nombre d'individus par type de pont est très faible, et varie beaucoup. Ainsi, les écarts-types sont souvent plus élevés que la moyenne, ce qui explique qu'aucune différence n'est détectée par le modèle et qu'aucun écart n'est significatif. Cependant, la visualisation des données dans le tableau et dans la Figure 94 permet de retenir quelques tendances.

Tableau 24. Nombre d'individus par espèce et par type de pont (+ fréquence ± écart-type).

	Buse (n=5)	Chemin (n=16)	Mixte (n=12)	Mixte2 (n=2)	Rivière (n=1)	Route (n=19)	Voie ferrée (n=3)
Renard (n=2301)	49 0.04 ± 0.1	1450 0.33 ± 0.41	205 0.08 ± 0.15	143 0.14 ± 0.08	82 0.22	201 0.07 ± 0.07	171 0.26 ± 0.17
Lièvre (n=1484)	14 0.01 ± 0.03	1230 0.5 ± 1.2	166 0.06 ± 0.17	6 0.005 ± 0.007	0 -	56 0.02 ± 0.04	12 0.01 ± 0.01
Blaireau (n=1004)	22 0.02 ± 0.04	478 0.07 ± 0.13	13 0.005 ± 0.01	0 -	424 1.17	67 0.02 ± 0.03	0 -
Chevreuil (n=623)	60 0.06 ± 0.12	191 0.05 ± 0.11	8 0.003 ± 0.005	87 0.1 ± 0.01	6 0.01	246 0.05 ± 0.21	25 0.03 ± 0.04
Putois (n=57)	1 0.001 ± 0.002	55 0.02 ± 0.07	0 -	0 -	0 -	1 0.0003 ± 0.001	0 -
Martes sp (n=57)	1 0.001 ± 0.002	11 0.002 ± 0.003	4 0.002 ± 0.005	4 0.005 ± 0.003	25 0.07	11 0.004 ± 0.01	1 0.001 ± 0.003
Ecureuil (n=36)	0 -	0 -	31 0.015 ± 0.05	3 0.005 ± 0.007	2 0.005	0 -	0 -
Martre (n=31)	0 -	22 0.002 ± 0.008	2 0.001 ± 0.003	5 0.007 ± 0.005	2 0.005	0 -	0 -
Sanglier (n=25)	2 0.002 ± 0.004	3 0.0003 ± 0.001	-	4 0.007 ± 0.01	9 0.025	1 0.0003 ± 0.001	6 0.004 ± 0.007
Fouine (n=18)	5 0.005 ± 0.011	0 -	5 0.002 ± 0.004	1 0.0008 ± 0.001	0 -	5 0.002 ± 0.006	2 0.005 ± 0.005
Ragondin (n=16)	0 -	0 -	0 -	16 0.03 ± 0.04	0 -	0 -	0 -
Hérisson (n=11)	0 -	3 0.001 ± 0.004	1 0.0004 ± 0.001	6 0.005 ± 0.007	0 -	1 0.0006 ± 0.002	0 -
Chat forestier (n=10)	0 -	9 0.001 ± 0.002	0 -	0 -	0 -	1 0.0004 ± 0.002	0 -
Cerf (n=5)	0 -	4 0.0005 ± 0.001	1 0.0003 ± 0.001	0 -	0 -	0 -	0 -
Raton laveur (n=5)	0 -	5 0.0008 ± 0.002	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -
Chien viverrin (n=1)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1 0.0002 ± 0.0009	0 -
TOTAL	154 0.17 ± 0.35	3461 1.04 ± 0.61	436 0.18 ± 0.25	275 0.34 ± 0.07	548 1.5	591 0.18 ± 0.26	217 0.35 ± 0.25

En effet, deux types de ponts ont une fréquence de traversée supérieure à 1 (fréquence = nombre d'individus / durée de suivi) : il s'agit des types « Rivière » et « Chemin ». Ces ponts pourraient, au vu des données, être plus favorables pour la traversée des animaux. Puis les types « Voie ferrée » et « Mixte 2 » (lit de rivière et banquettes enherbées) semblent être relativement bien fréquentés avec une fréquence de plus de 0.3, avec notamment un écart-type faible pour le type Mixte 2 (deux ponts suivis seulement). Les types « Rivière », « Mixte 2 », « Voie ferrée » et « Chemin » sont par ailleurs les types les plus naturels : l'utilisation de ces ponts revient à choisir des ouvrages peu fréquentés, souvent dans des environnements plus naturels (bois, prairies...).

Nous comprenons bien ici que la qualité des ponts pour le passage de la faune est la résultante complexe d'une grande quantité de variables, pour un nombre de ponts par type assez faible, ce qui rend les inférences difficiles. Toutefois, les passages les plus naturels et les moins fréquentés par l'Homme semblent les plus utilisés par la faune.

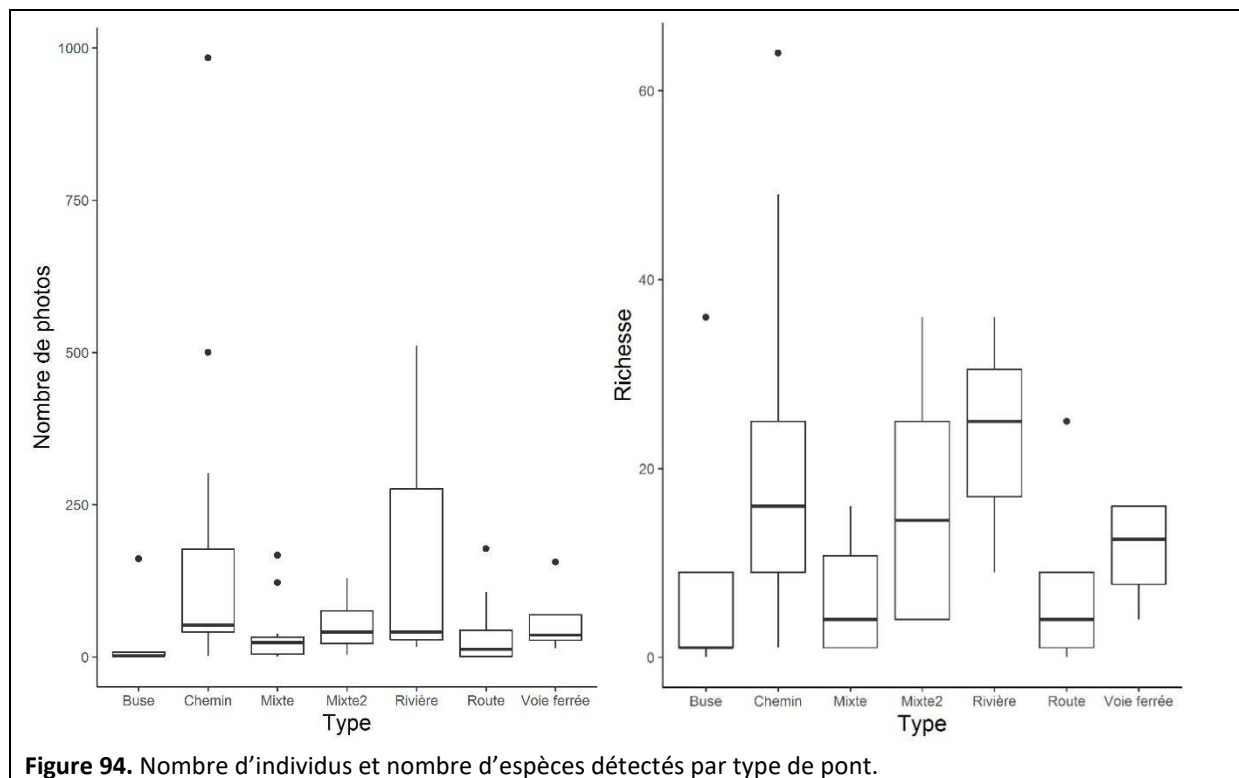


Figure 94. Nombre d'individus et nombre d'espèces détectés par type de pont.

Nombre d'espèce détectées par passage

Résultats du modèle

En s'intéressant aux résultats du modèle pour la Richesse spécifique sur les ponts (nombre d'espèces détectées en ne s'intéressant plus au nombre d'individus), nous pouvons d'abord noter que les mêmes variables ont été retenues par le modèle. La **Figure 95** montre également une bonne relation entre la richesse et le logarithme du nombre d'individus, avec un R^2 de 0.61. D'une manière générale, les ponts avec un grand nombre d'espèces sont aussi ceux où le plus grand nombre d'individus est noté.

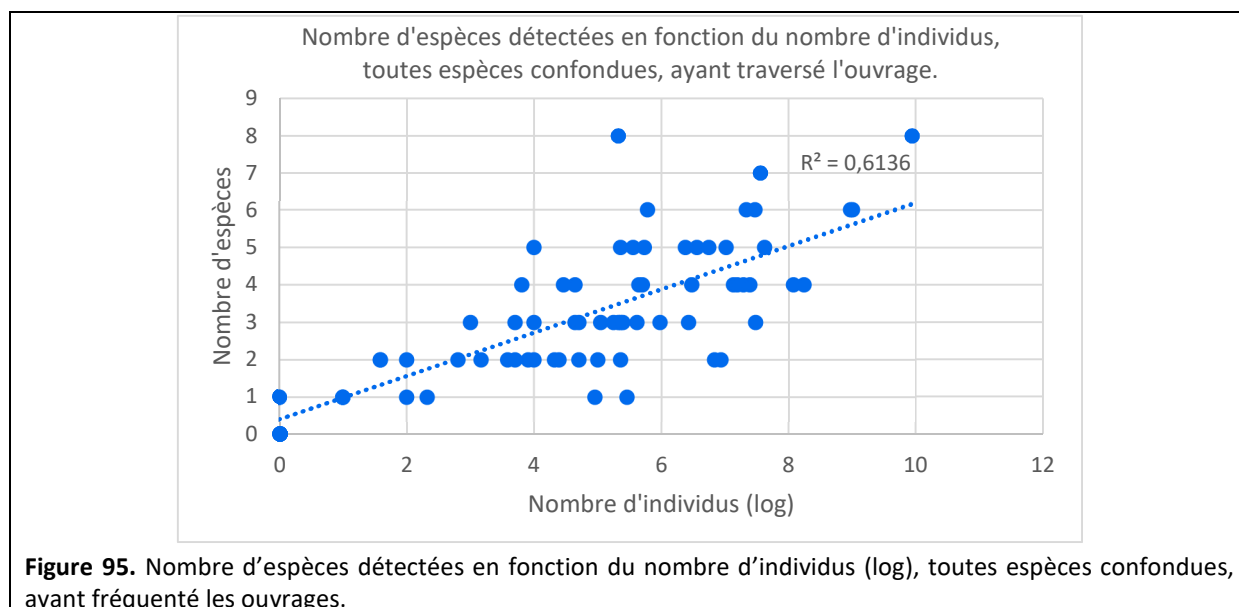


Figure 95. Nombre d'espèces détectées en fonction du nombre d'individus (log), toutes espèces confondues, ayant fréquenté les ouvrages.

Quelques nuances existent cependant, les variables ne décrivant pas les mêmes phénomènes, et les grands nombres de clichés étant souvent le fait de quelques individus passant très souvent.

Les paramètres ayant une influence positive sur le nombre d'espèces sont la position du pont (supérieur), le faciès (plat), la surface boisée dans un rayon de 3000m, et les classes de végétation 2 et 3. Un plus grand nombre d'espèces est donc susceptible de passer sur des ponts supérieurs, dans un paysage avec présence de bois, mais pas nécessairement à proximité immédiate (moins de 250m).

Cette différence avec les résultats sur le nombre d'individus s'explique par le fait que des bois à proximité pourraient permettre à des animaux de s'installer plus facilement que des habitats agricoles. Ainsi, ces individus vivant à proximité immédiate auraient tendance à traverser les infrastructures plus régulièrement et faire gonfler les chiffres de fréquentation. Pour autant, on note tout de même que des habitats hétérogènes avec présence de couvert boisé dans un rayon de trois kilomètres permet d'avoir un nombre d'espèce plus important à grande échelle géographique, qui finissent par être détectées au bout de quelques semaines ou quelques mois par les appareils photographiques placés sur les ouvrages.

Les résultats sur les classes de végétalisation des ponts nous poussent à dire que les ponts avec une végétation modérée ou importante sont favorables à un plus grand nombre d'espèces. Encore une fois, cela fonctionne de manière concomitante avec d'autres variables. L'exclusion des classes 0 et 1 peut s'expliquer par une utilisation des ponts non-végétalisés par un moins grand nombre d'espèce. La non-significativité de la classe 4 peut, quant à elle, être le reflet de l'évitement des milieux boisés par certaines espèces, notamment le lièvre, présent sur presque tous les ponts en contexte ouvert.

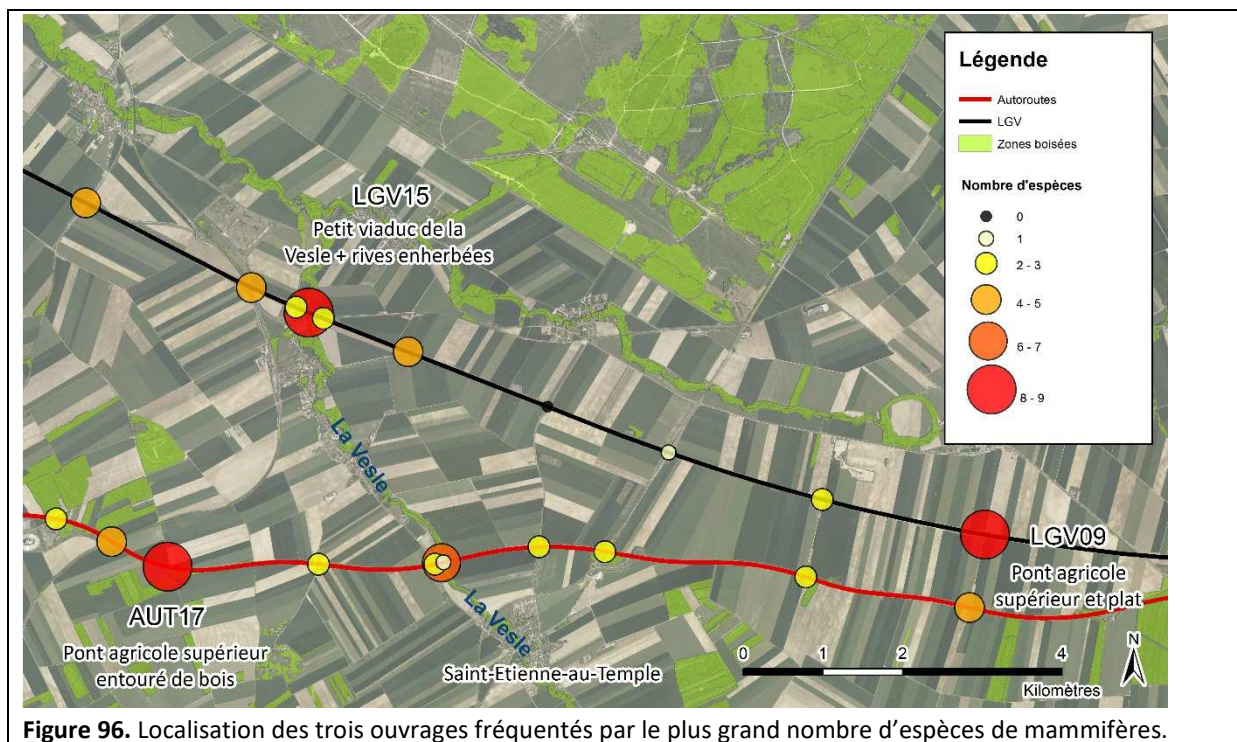
Encore une fois, la fréquentation humaine a un effet négatif sur la diversité d'espèces utilisant les ouvrages. Les routes sont évitées.

L'isolement des ponts semble influencer de manière également négative la présence d'espèces. Ainsi, les ponts isolés permettraient de détecter moins d'espèces que les ponts plus rapprochés les uns des autres, ce qui se comporterait à l'opposé du nombre d'individus. Une explication pourrait être le fait que les ponts isolés sont généralement dans des habitats homogènes, souvent agricoles, alors que les ponts qui sont rapprochés sont en général situés dans des habitats plus hétérogènes, avec une utilisation différente des ouvrages (des zones de bois, chemin piéton, passage d'une rivière, proximité de villages...), le tout apportant une hétérogénéité d'habitats, de types d'ouvrages potentiellement favorables à un plus grand nombre d'espèces.

Pour ce qui est de la variable « Type », le constat est le même que pour le nombre d'individus (**Figure 94**) : seules de larges tendances peuvent être notées, mais il semblerait que les ponts les plus « naturels » (chemins, rivières, voies ferrées) soient globalement utilisés par un plus grand nombre d'espèces.

Ponts à forte détection d'espèces

Si on se réfère à nouveau à la carte des richesses spécifiques par pont (Zoom en **Figure 96**), on remarque que trois ouvrages sortent du lot, avec plus de 8 espèces détectées : LGV15, LGV09 et AUT17.



Le pont **LGV15**, souvent mentionné dans ce document, forme un viaduc de petite taille sous lequel coule la Vesle, bordée par deux larges bandes enherbées (**Figure 97**). A l'instar du viaduc de l'Aisne en forêt d'Argonne, de taille bien plus importante, le pont nommé LGV15 est le pont inférieur le plus souvent fréquenté. Si les résultats montrent une préférence marquée pour les ponts supérieurs, de faciès plat, ici la taille importante de l'ouvrage et la continuité des habitats en font toutefois un des trois ouvrages fréquentés par le plus grand nombre d'espèces de mammifères. Enfin, sur la zone d'étude de plaine concernée par le suivi, la structure et la localisation de ce petit viaduc ferroviaire en font un ouvrage majeur pour la connectivité chez les mammifères.



Il semble que la ripisylve de la Vesle joue un rôle de corridor au moins pour de nombreuses espèces (pas de Cerf observé cependant), et le respect de cette continuité est visiblement une démarche appropriée au regard des enjeux de connectivité. Toutefois, lorsque la Vesle passe sous l'autoroute, à quelques kilomètres au sud, le pont est un ouvrage très simple comprenant juste le lit de la rivière, bordé de palplanches métalliques. Le suivi par piégeage photographique a montré une fréquentation par les mammifères bien moindre par rapport au pont LGV15.

LGV09 est à première vue très différent des autres passages très fréquentés (**Figure 98**). Il est entouré de cultures, et on note une faible couverture boisée à proximité, ce qui, d'après nos résultats, devrait avoir un effet négatif sur le passage des mammifères. En revanche, ce pont a permis de détecter huit espèces alors qu'il a été suivi seulement quelques mois. Sur tous les ponts suivis pendant une durée convenable (pas de disparition prématurée de l'appareil), il est le seul à réunir les autres caractéristiques pointées par nos modèles, qui favoriseraient la fréquentation par les mammifères : il s'agit d'un pont agricole supérieur et en faciès « plat ». Concrètement, cela se traduit par une meilleure accessibilité de ces ponts sans relief (pas de talus abrupt ni de rampe d'accès à gravir). La distance à parcourir pour traverser l'ouvrage est la plus faible (correspond à peu près à la largeur de l'ILT), et l'absence de relief permet de visualiser l'autre côté du pont, ce qui n'est certainement pas négligeable pour les mammifères.

L'écart observé de fréquentation animale par rapport aux autres ponts laisse penser que ces deux caractéristiques (« supérieur » et « plat ») sont tout aussi importantes que la présence d'habitat favorable alentour.



Figure 98. Photographie du pont LGV09 et du paysage environnant, particulièrement fréquenté malgré la faible couverture boisée à proximité.

AUT17 est un des ouvrages supérieurs les plus végétalisés (**Figure 99**). Il s'agit d'un chemin agricole supérieur sur la commune de La Veuve, avec une rampe d'accès importante. Cependant, les talus à proximité sont très végétalisés (présence d'arbres), et une surface boisée très importante est présente à proximité. De nombreuses parcelles boisées sont présentes et forment un réseau important, et ces habitats sont présents des deux côtés du pont. Un total de neuf espèces a été détecté, mais il faut noter que le suivi a été particulièrement long (deux ans). Le nombre d'espèces maximum détecté en une session (même durée que les autres ponts) est de huit, comme LGV09 et LGV15. Il est intéressant de noter que tous les ans, des cerfs sont observés en été juste au Sud de l'ouvrage, dans les bois à proximité. Pourtant, aucun cerf n'a été détecté directement sur le pont. Il ne semble donc pas ou peu utilisé par l'espèce.



Figure 99. Photographie du pont AUT17 à proximité de bois importants.

D'autres analyses ont été réalisées pour connaître la fréquentation des passages en fonction des heures de la journée et pour estimer le temps nécessaire à la détection du plus grand nombre d'espèce (annexe III)

[Fréquentation espèce par espèce](#)

Nous avons également utilisé le GLMM « Poisson » pour décrire la fréquentation des ponts par les espèces, une à une. Seules quatre espèces ont été suffisamment observées, et sur un nombre suffisant d'ouvrages, pour pouvoir utiliser le modèle. Il s'agit du Renard, du Lièvre, du Blaireau, et du Chevreuil. Il est toutefois possible de discuter des tendances pour quelques autres espèces.

Renard

Les renards sont présents sur la quasi-totalité des ouvrages (80% des ponts suivis – voir répartition en **Figure 100**). Ceux-ci sont même parfois utilisés quotidiennement. Le renard semble donc pouvoir utiliser n'importe quel type d'ouvrage, et la traversée des infrastructures linéaires de transport n'est apparemment pas un problème (**Figure 101**).

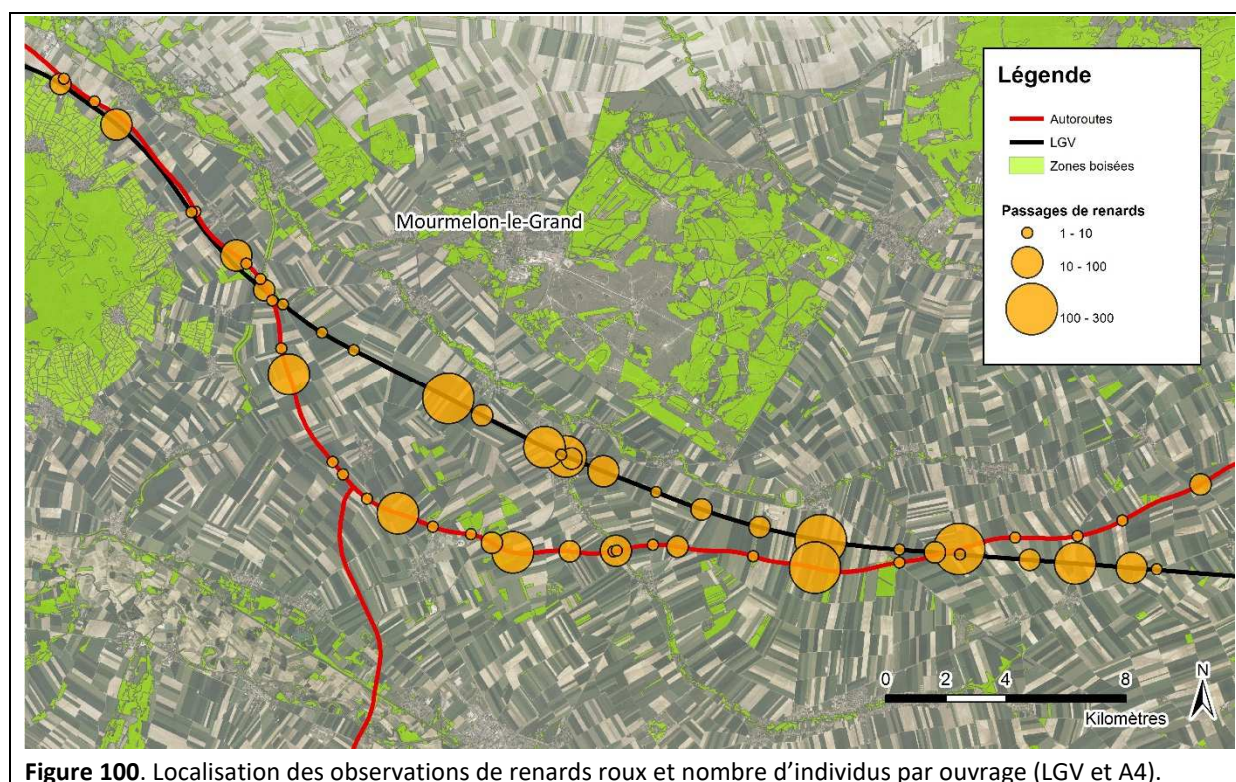


Figure 100. Localisation des observations de renards roux et nombre d'individus par ouvrage (LGV et A4).

D'après le **Tableau 23**, présentant les résultats des modèles, les traversées de renards sont significativement plus fréquentes sur les chemins et voies ferrées, mais également sur les ponts mixtes (chemin agricole + route). En revanche, un évitement significatif des routes est noté. Les renards sont également plus souvent observés sur les ouvrages supérieurs, de faciès « plat ». Le faciès « creux » semble quant-à-lui évité. La surface boisée à proximité (rayon de 250m) aurait un effet négatif sur la présence de renards. Pour ce qui est de la végétalisation des ponts, encore une fois, les résultats sont complexes à analyser. Les ponts peu végétalisés seraient moins favorables pour les Renards. Pour ce Carnivore, outre un attrait pour un aspect plus « naturel » des ouvrages, cela pourrait également être expliqué par une abondance de proies potentiellement plus importante sur les ponts végétalisés, mais cela n'est qu'une hypothèse car les rongeurs, micromammifères, n'ont pas été considérés. Le constat pour la classe « Vég 3 » serait le même que pour le modèle global.

Le Renard est également la seule espèce pour laquelle la fréquentation humaine importante n'affecte pas l'utilisation des ponts. Cela est cependant à nuancer puisque les routes sont globalement évitées, sauf lorsqu'elles sont bordées d'un chemin agricole (**Figure 101**) (effet positif significatif des ouvrages mixtes, et effet négatif des routes). Le Renard semble s'accommoder d'une forte présence humaine, s'il peut toutefois utiliser des zones plus tranquilles sur l'ouvrage.



Figure 101. Photographie d'un Renard roux fréquentant un pont supérieur, à gauche. Photographie d'un pont routier bordé d'un chemin agricole (bitumé seulement sur la partie « pont »), à droite.



Lièvre

Le Lièvre est la deuxième espèce la plus observée sur les ponts, avec une présence notée sur la moitié des ouvrages (**Figure 102**). Les résultats montrent également une utilisation plus importante des ponts supérieurs, mais moins d'individus détectés sur les ponts en « bosse » que sur les ponts « plats » ou « creux ». Les ponts supérieurs de faciès plat (suivant le relief) seraient donc plus favorables.

Le Lièvre est également significativement moins rencontré sur les ouvrages très fréquentés par l'Homme, ce qui correspond globalement aux routes. La surface boisée à grande échelle géographique a également un effet négatif sur la présence de l'espèce, ce qui s'explique par sa préférence pour les grandes cultures et les paysages ouverts. Les lièvres semblent cependant plus nombreux lorsque le couvert boisé à proximité (moins de 250m) est important. Nous n'avons pas d'explication biologique pour ce résultat, le lièvre étant pourtant souvent observé sur des ponts agricoles en contexte ouvert, comme dit précédemment. Les lièvres ont également été observés plus souvent sur des ponts à faible végétalisation.

Le type de pont n'apparaît pas significativement ici dans le modèle. Or, la distribution des données montre une fréquentation très importante des chemins (1230 données sur 1484 individus). Il s'agit ici d'une limite au modèle qui étudie l'ensemble des ponts. Dans cet ensemble, de nombreux chemins n'ont pas été beaucoup fréquentés par les lièvres, ce qui donne des écarts-types très importants et donc des différences non-significatives. Pourtant, de manière exploratoire et en visualisant des données, une préférence pour les chemins peut être décrite. Il est possible, par exemple, puisque les lièvres semblent utiliser plutôt les ponts supérieurs, que de nombreux chemins inférieurs aient été évités, ne permettant pas au modèle de faire pencher la balance vers le type « chemin ».



Bushnell  CAMERA3 50°F10°C 

04-08-2017 21:55:18

Figure 102. Photographie d'un Lièvre européen fréquentant un pont supérieur.

Blaireau

Le Blaireau a été rencontré sur 19 ouvrages, majoritairement sur des ponts supérieurs, à proximité de bois (Surface 250 très significatif). Par ailleurs, le faciès plat a un effet très positif sur la traversée de l'espèce, alors que la fréquentation humaine a un effet très négatif. Les autres variables ne sont pas significatives. A nouveau, le type de pont n'affecte pas significativement le passage. Cependant, en se référant au **Tableau 24**, on observe toutefois que sur 1008 blaireaux observés, 478 individus ont été détectés sur des chemins, et 424 dans le lit d'une rivière. Visuellement, une préférence pour une certaine catégorie de chemins pourrait donc être inférée (chemins supérieurs, « plats », à proximité de boisements). Le seul pont de type « rivière », a, quant-à-lui, été très utilisé par l'espèce.

Une fois de plus, le nombre important de variables rend la généralisation compliquée et réduit fortement la significativité de certains paramètres.



MOULTRIE 

 11°C 29.67inHg

SECTEUR-NOR

07 OCT 2017 07:13 pm

Figure 103. Photographie d'un groupe de blaireaux européens fréquentant le lit de la Vesle à sec.

Sanglier

Les sangliers ont été étonnamment peu nombreux à fréquenter les ouvrages : 25 individus, répartis sur six ponts, ont été détectés (**Figure 104**). La moitié des sangliers ont été photographiés (n=13) sur la ripisylve de la Vesle (ponts AUT14 et LGV15) (**Figure 105**).

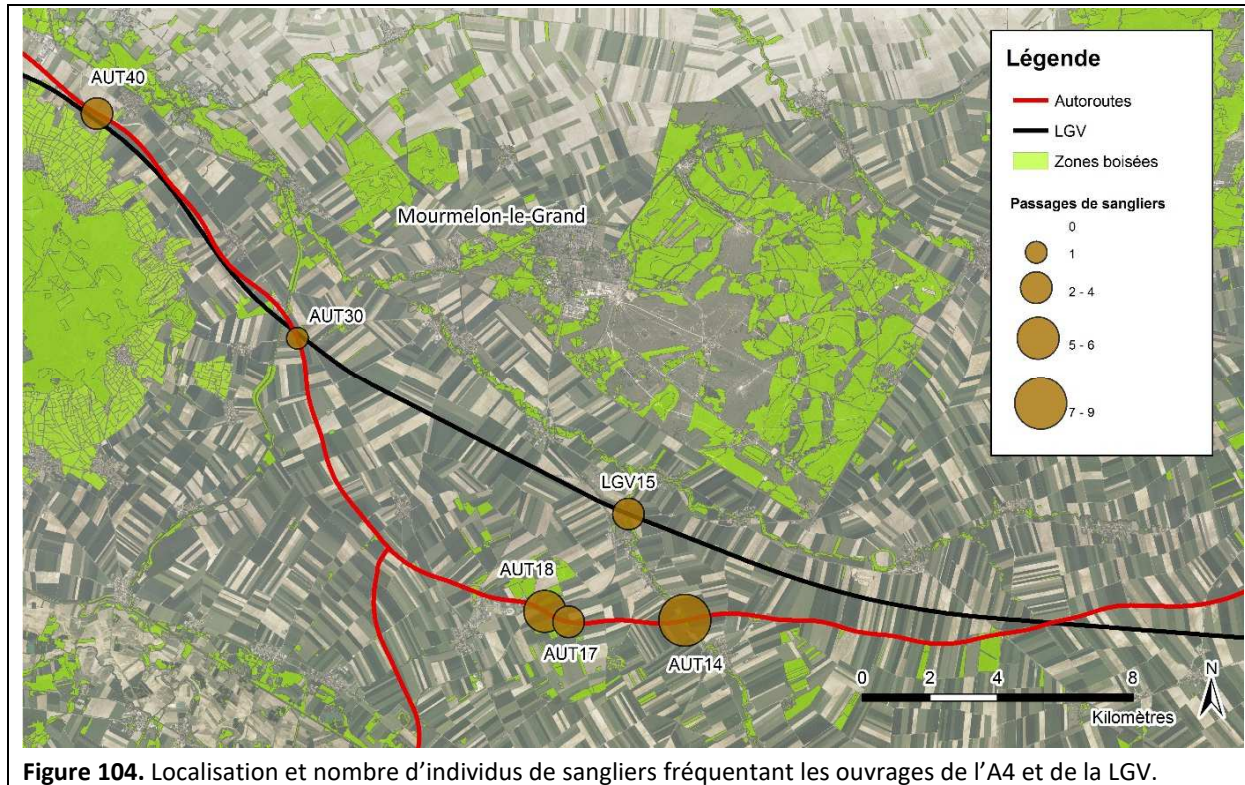


Figure 104. Localisation et nombre d'individus de sangliers fréquentant les ouvrages de l'A4 et de la LGV.

Les résultats du modèle ne montrent, sans surprise, que peu d'effets significatifs. Seul le type « Voie ferrée », et le couvert boisé dans un rayon de 3000 mètres ont un effet positif sur la présence de sangliers. Le type « Rivière » n'apparaît pas alors qu'il regroupe la moitié des observations. Cela s'explique par le fait que la rivière a été suivie pendant deux ans par trois appareils photographiques différents (trois fois deux ans = total cumulé de 6 ans de suivi), ce qui, finalement, ne représente que très peu d'observations par unité de temps. De plus, l'un des appareils n'a détecté aucun sanglier.

Concernant la fréquentation de la rivière par les sangliers, il est intéressant de noter que le pont LGV 15 a été suivi par deux appareils. L'un a été placé sur le chemin enherbé longeant la rivière, et l'autre vers le lit de la rivière. Tous les sangliers photographiés l'ont été dans le lit de la Vesle, et aucun sur le chemin.

Le secteur de la Veuve, a été également fréquenté par les sangliers (ponts AUT17 et AUT18). Ces derniers sont situés à proximité de boisements importants, ce qui confirme l'effet significatif de la présence de bois dans un rayon de 3000 mètres, identifié par la modélisation statistique des données.

On note également qu'à l'exception d'un individu sur le pont AUT30, toutes les observations ont été réalisées sur des sites peu fréquentés par l'Homme. Les routes sont largement évitées, ce qui pourrait montrer une préférence pour les ouvrages les moins anthropisés. Pour exemple, le seul

ouvrage fréquenté par des sangliers pour toute la partie Ouest de la zone d'étude, est une buse isolée, donnant sur des champs, où aucun humain n'a été noté pendant tout le suivi.

Pour conclure, les ILT ne semblent que peu traversées par les sangliers. Une préférence pour les substrats les plus naturels, peu fréquentés par l'Homme semble se dégager. Un pont de voie ferrée a par ailleurs été visité plusieurs fois par des sangliers. Notons toutefois qu'un des individus concernés a été percuté par un train presque devant l'appareil, sa carcasse a été retrouvée au relevé suivant.

Enfin, les données du suivi par piégeage photographique en Argonne n'ont pas toutes été dépouillées (seul le Cerf a été traité), il est bon de noter que les sangliers ont été observés très souvent sous le viaduc de l'Aisne, plus nombreux encore que les Cerfs.



Figure 105. Photographie d'un sanglier franchissant la LGV sous le pont LGV15, dans le lit de la Vesle peu en eau.

La connectivité pour le Sanglier semble se jouer au niveau de ces ouvrages très naturels que sont le viaduc (de première importance donc pour cette espèce), mais également les ouvrages enjambant les rivières, et enfin les sites à proximité de zones boisées.

Chevreaux

Le Chevreuil est la quatrième espèce la plus souvent détectée, avec 623 observations (**Figure 106**). Le GLMM fait apparaître un écart significatif entre ponts inférieurs et supérieurs; l'espèce a significativement plus fréquenté les ponts inférieurs. Toutefois, les passages en « creux » ont été significativement moins visités que les autres faciès, alors que le faciès « plat » a été le plus fréquenté.

Plus de la moitié des observations ont été réalisées sous les ponts LGV15 et LGV 25, qui sont tous les deux inférieurs, mais qui ont un faciès « plat », et qui sont par ailleurs tous les deux à proximité immédiate de boisements importants. Ce dernier point est confirmé par les résultats du modèle, montrant une fréquentation plus importante par les chevreuils lorsque des bois sont présents à petite et large échelle (effet positif très significatif de « Surface 250 » et « Surface 3000 »).

Les ponts très fréquentés par l'Homme semblent également évités par cette espèce. Le PSn semble également avoir un effet significatif sur la fréquentation des ponts par les chevreuils : les ponts les plus isolés sont plus souvent visités : ils concentreraient le passage des animaux ; moins de possibilités s'offrant aux chevreuils voulant traverser.

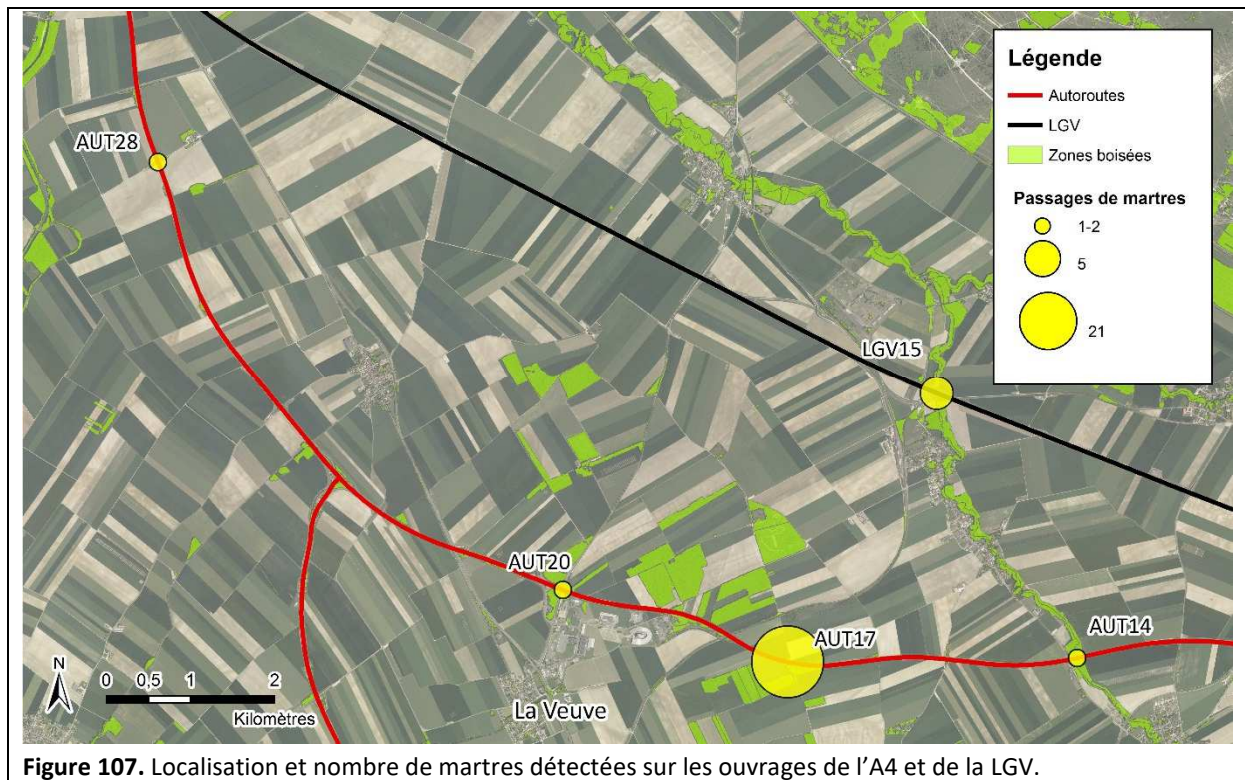


Martre des pins

La Martre des pins, si elle est bien une espèce cible du programme corridors, est toutefois assez difficile à traiter dans ce volet. Le premier écueil est la grande ressemblance avec la Fouine : il a été très souvent impossible de différencier les deux espèces. Un total de 31 martres (sur 5 ponts) a été clairement identifié (**Figure 108**), contre 18 fouines (sur 9 ponts), alors qu'en tout, 57 individus ont été notés en *Martes sp.*, correspondant à l'une ou l'autre des espèces. Les localisations de martres identifiées à coup sûr sont visibles en **Figure 107**.

Notons qu'un des passages les plus empruntés est le pont AUT 17, entouré de bois, où une des martres équipées de collier GPS a effectué une traversée, en dehors de la période de piégeage

photographique. Les deux ponts situés le long de la ripisylve de la Vesle sont également deux ponts très empruntés par les martres. Ce bois traversant les deux infrastructures semble réellement jouer le rôle de corridor pour cette espèce. Toutefois, aucune traversée de Martre des pins n'a été notée sous le pont de la Vesle lorsque celle-ci était en eau. En revanche, un point intéressant est qu'un autre pont similaire, passant sous la route départementale de Suippes à Châlons-en-Champagne est situé à proximité immédiate. Sur ce dernier, des martres ont par deux fois été retrouvées mortes lors de nos visites alors qu'elles avaient été percutées par des véhicules, à des périodes où la Vesle était en eau.



La ripisylve et le lit de la rivière associé semble donc très favorables à la traversée des ILT par les martres. Cependant, un seul pont occupé par la rivière peut inciter les animaux à traverser sur la chaussée lorsque celui-ci est inondé. Ce type de pont serait donc nettement plus favorable s'il comprenait une bordure, passerelle, banquette permettant la traversée par les animaux, en toute sécurité. Sous le pont LGV15, en outre, la rivière est bordée par des bandes enherbées, ce qui rend cet ouvrage très favorable pour l'espèce.

Un autre pont a régulièrement été visité par la Martre des pins, c'est le pont AUT20, entouré de bois, mais qui est très fréquenté par les véhicules à moteur. Cependant, cet ouvrage est un des seuls, sur la zone d'étude, à avoir une forme de trapèze inversé, où les extrémités du tablier forment un replat permettant la traversée tout en étant éloigné de plusieurs mètres de la chaussée. C'est aussi cet ouvrage qui a été traversé par une de nos martres équipée d'un collier GPS (voir **Figure 32**).

L'affection apparente de la Martre pour les ouvrages situés à proximité de bois est confirmée par le GLMM, qui fait apparaître la surface boisée dans un rayon de 3000m comme la seule variable ayant une influence significative (ici très significative) sur la présence de martres. Cela est logique au regard des connaissances sur l'espèce (espèce forestière).

Un ouvrage plus agricole (AUT28) a également été fréquenté par une Martre des pins. Cet évènement, rare pendant notre suivi par piégeage photographique, n'est pas si étonnant au vu des résultats du volet GPS du présent rapport où des martres en grands déplacements ont régulièrement été observées en milieu très agricole.



Figure 108. Martre des pins fréquentant un pont supérieur (à gauche) et martre observant le pont autoroutier de la Vesle (à droite).

Espèces exotiques envahissantes

Deux espèces invasives ont été détectées sur les ponts lors du suivi : le Raton-laveur et le Chien viverrin. Les rats, pourtant bien présents dans la région, n'ont été observés qu'à 5 reprises sur les ouvrages suivis par piégeage photographique. Les deux ponts concernés sont supérieurs, dans un paysage très agricole pour l'un, agricole avec bois importants pour l'autre. Nous ne pouvons pas en conclure que les rats évitent de traverser les ILT, car nous savons qu'ils ont la capacité physique d'escalader les grillages. Par ailleurs, un des individus équipés de collier GPS dans le cadre de travaux parallèles menés par le CERFE a été percuté directement sur l'autoroute A26 entre Recy et Juvigny. Le Raton-laveur a été une des espèces les moins détectées du suivi.

Le Chien viverrin, encore plus rare, n'a été détecté qu'une seule fois, sur une petite route supérieure aux Grandes-Loges (**Figure 109**). Cet animal est très rare dans la région et sa présence est anecdotique.



Figure 109. Photographie de Chien viverrin sur un pont aux Grandes-Loges (51).

3. Suivi du passage à faune de Villers-en-Argonne sur la LGV

A Villers-en-Argonne, la LGV Est-Européenne orientée Est-Ouest comporte un passage à faune supérieur, situé entre le Bois des Horgnes / Forêt de Belval (au Sud) et la forêt domaniale de Chatrices / Forêt d'Argonne (au Nord), et en rive gauche de la vallée de l'Aisne (**Figure 110**).

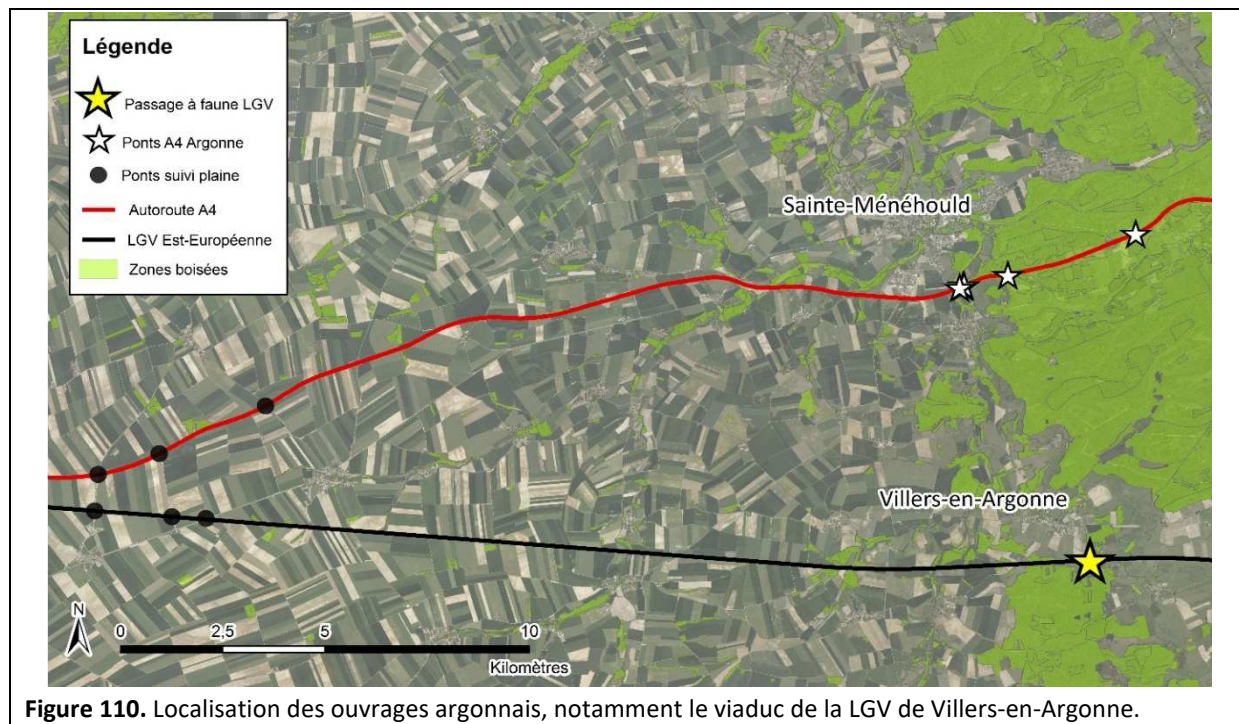


Figure 110. Localisation des ouvrages argonnais, notamment le viaduc de la LGV de Villers-en-Argonne.

Cet ouvrage dédié à la circulation de la faune sauvage (**Figure 111**), en compensation de la perte de connectivité créée par la LGV, a été suivi par piège photographique durant 67 mois consécutifs (hiver 2011-printemps 2017) par la Fédération Départementale des Chasseurs de la Marne (FDC 51). Les données brutes ont été mises à notre disposition, mais le protocole n'étant pas fait pour répondre à la même problématique que la nôtre, les analyses présentées en annexe III ne sont que partielles et les résultats ne prennent pas en compte la durée de suivi (biais important).



Figure 111. Image satellite du passage à faune de Villers-en-Argonne et du paysage environnant.

Quelques points peuvent toutefois être notés. Six espèces ont emprunté régulièrement ce passage. Par ordre d'importance : le Chevreuil (519 photos), le Cerf (250), le Sanglier (202), le Renard (74), le Blaireau (60) et le Lièvre (41). Les observations de cerfs sont beaucoup plus nombreuses que sur les ponts non dédiés de notre suivi en plaine. Cependant, ces effectifs sont de l'ordre de ceux du Viaduc de l'Aisne à Sainte-Menehould. Cet ouvrage semble donc avoir une grande importance pour la connectivité pour le grand gibier, et notamment le Cerf élaphe, en Argonne.

4. Bilan du volet Pièges-Photographiques

Le suivi des ponts de la plaine au Nord de Châlons-en-Champagne a donc été un travail considérable de mise en place et d'analyses de clichés. Nous avons grandement bénéficié de l'aide de la FDC 51 pour le relevé mensuel des appareils. Seuls 5 cerfs ont été détectés dans les ouvrages de potentiel franchissement de la LGV Est-européenne et l'autoroute A4. Quatre ponts ont été utilisés et répartis sur deux zones. L'une (à proximité de Bouy) serait un axe de passage de cerfs, l'autre, au croisement entre LGV et A4, serait un cul-de-sac d'où les animaux sortiraient après avoir longé les infrastructures. Les évènements en plaine sont donc rares. Ils ont majoritairement eu lieu en pleine nuit sur des ponts agricoles supérieurs peu végétalisés, et concernent surtout des mâles (3 cerfs, 1 biche et 1 non-identifié).

Le suivi du Viaduc de l'Aisne a montré une forte fréquentation par les cerfs, notamment pendant la période de brame, et principalement par des cerfs mâles adultes. Cet ouvrage, ainsi que le passage à faune de la LGV sont les seuls qui soient d'une réelle importance pour la connectivité des cerfs élaphe. En revanche, deux autres ouvrages inférieurs en Argonne ont été clairement évités par l'espèce.

Les analyses multi-espèces, conduites sur quatre sessions de huit mois concernant près de soixante ponts, ont permis de détecter quinze espèces de mammifères (hors micromammifères). Le Renard roux, le Lièvre d'Europe et le Blaireau européen sont les trois espèces les plus observées. Trois ouvrages sortent du lot, avec le petit Viaduc de la LGV surplombant la Vesle à Saint-Hilaire-au-Temple, un ouvrage supérieur de l'A4 entouré de bois importants à La Veuve, et un pont agricole supérieur et plat de la LGV, à La Cheppe.

Les modèles statistiques montrent globalement que les ouvrages les plus favorables pour les mammifères sont les ponts supérieurs, de faciès plat, et dans un environnement comportant des zones boisées. Les routes (fréquentation humaine importante) sont évitées. De manière générale, les ponts les plus naturels et les moins fréquentés par l'Homme sont les plus utilisés (chemins, rivières, et également voies ferrées). On note cependant des différences de fréquentation entre espèces. Le seul élément influençant de manière significative la fréquentation des ponts par les martres des pins (deuxième espèce modèle de l'étude) est la présence de bois environnants.

Le passage à faune de la LGV à Villers-en-Argonne semble avoir une importance comparable à celle du Viaduc de l'Aisne pour l'A4. Cette importance régionale se joue surtout pour les grandes espèces, les petites espèces étant capables d'utiliser des ponts non dédiés plus facilement.

Ainsi, pour optimiser la connectivité pour les mammifères au niveau de ces infrastructures, certains éléments importants sont mis en évidence :

- L'importance de quelques passages très perméables (Viaduc, passage à faune...) pour relier les massifs séparés par les ILT, notamment pour les grandes espèces.
- Une bonne continuité autour de ces ouvrages d'importance régionale est primordiale, et les aménagements à proximité doivent être strictement encadrés (ne pas gêner les déplacements ou l'attractivité de ces ponts par des engrillagements de parcelles, par exemple).
- La nécessité de ponts plus rapprochés peu fréquentés par l'Homme voire aménagés (bordures enherbées, banquette pour les rivières etc.), pouvant être fréquentés par les plus petites espèces.
- Les ouvrages supérieurs et plats (suivant le relief) sont les plus favorables pour presque toutes les espèces et seraient à privilégier. Une occultation des côtés pourrait également améliorer le passage de certaines espèces. Les ponts inférieurs peuvent également être assez favorables s'ils sont «plats».
- Les cerfs isolés entre l'A4 et la LGV, très rares (secteur difficile à franchir en raison d'une absence d'ouvrages vraiment perméables, et du cumul des barrières), sont potentiellement des candidats importants pour les échanges de gènes entre populations. Ne pas allouer de bagues pour ces individus potentiellement migrants serait un levier pour favoriser le brassage génétique. De futurs travaux du CERFE cibleront ces individus afin d'estimer leur rôle dans le flux génétique (zone de refaits ou zone de transit).
- Les deux infrastructures linéaires de transport étant très proches et presque parallèles, les aménagements devraient être réfléchis de concert pour être réalisés en cohérence.

CONCLUSION GENERALE

a. Rappel et atteinte des objectifs fixés

Phase 2 de l'étude de la connectivité forestière fonctionnelle en Champagne-Ardenne, le programme CORRIDORS 2016-2020 avait pour objectif d'identifier les corridors forestiers et des passages à faune actifs pour les mammifères terrestres en Champagne-Ardenne, et ce par le suivi de deux espèces forestières biologiquement et écologiquement bien différentes, le Cerf élaphe et la Martre des pins.

Les objectifs fixés ont été en grande partie atteints malgré les difficultés rencontrées, notamment pour la capture des cerfs. Les suivis GPS de martres, le protocole de surveillance photographique des potentiels lieux de passages de l'A4 et de la LGV, ainsi que les analyses génétiques ont quant à eux permis de parvenir aux buts fixés. L'obtention des données nécessaires à l'étude a largement bénéficié de la participation d'acteurs locaux de terrain intéressés et de l'aide des fédérations départementales des chasseurs (un grand merci !). Les études à venir pourront ainsi tirer profit des partenariats déjà mis en place dans les différents départements concernés (Ardennes, Marne, et même Aisne et Meuse).

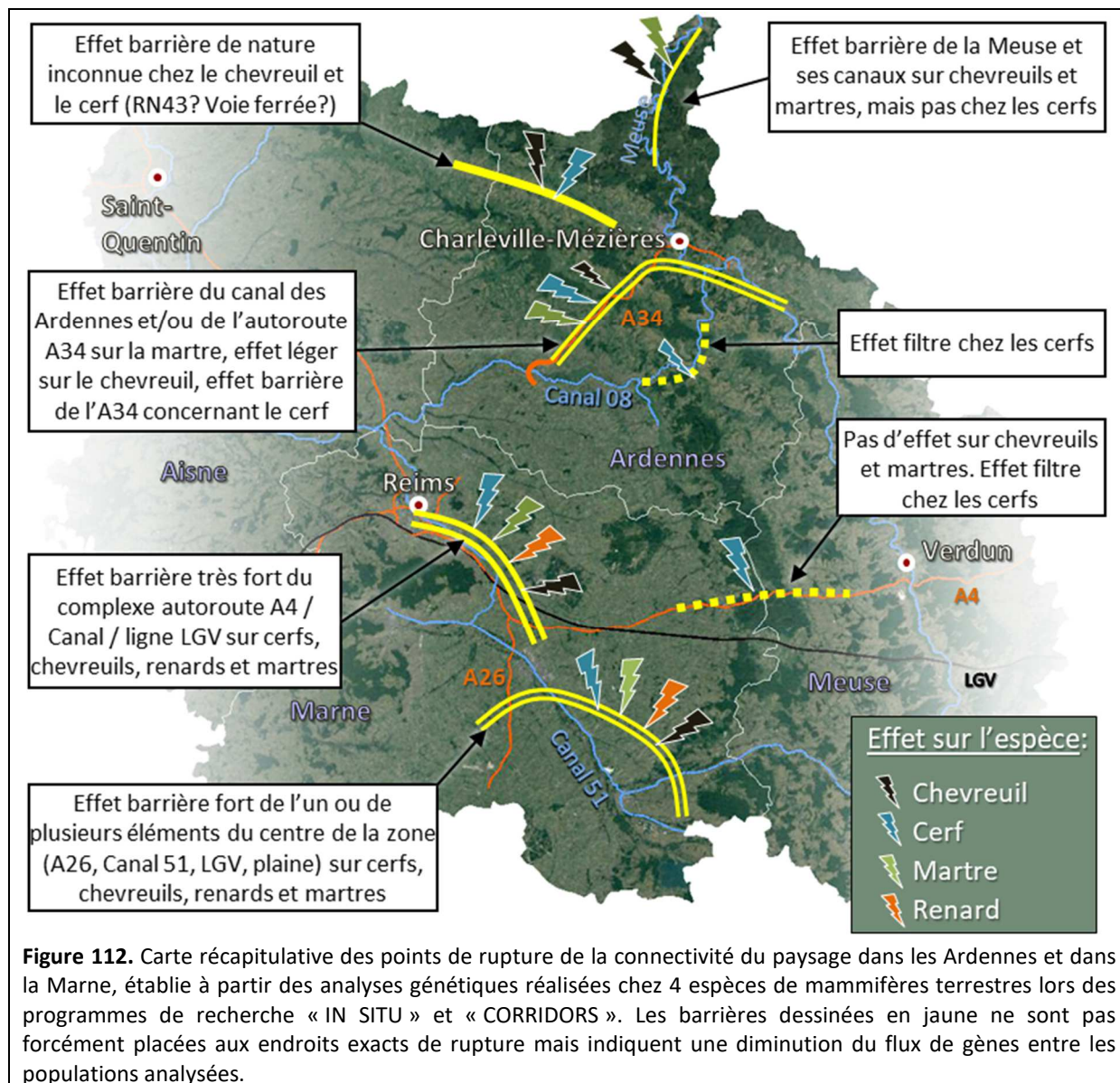
b. Connectivité du territoire multi espèce

Les différentes analyses génétiques menées lors du programme IN SITU et du programme CORRIDORS nous permettent aujourd'hui de dresser une carte globale multi-spécifique assez fiable de la connectivité du territoire dans les Ardennes et dans la Marne, qui révèle plusieurs points noirs (**Figure 112**).

C'est dans la Marne que sont situées les deux zones de rupture de connexion les plus importantes, à savoir le complexe autoroute A4/Canal/LGV au sud-est de Reims et le secteur situé au sud-est de Châlons-en-Champagne qui inclut l'A26, le Canal Latéral à la Marne, la LGV, et de vastes étendues de plaines céréalières. Les quatre espèces de mammifères terrestres étudiées (cerfs, chevreuils, renards et martres) y sont sensibles alors qu'elles sont biologiquement et écologiquement très différentes, entre autres vis-à-vis de leurs capacités de déplacement de leur sélectivité de l'habitat forestier.

Dans les Ardennes, si plusieurs zones se sont révélées problématiques pour certaines espèces, comme la Meuse et ses canaux pour les chevreuils et les martres, ou l'espace séparant le massif de Signy-L'Abbaye du nord des Ardennes pour les plus grandes espèces (chevreuils et cerfs), c'est surtout le secteur de l'A34 et du canal des Ardennes qui semble poser problème. A ce stade il est impossible de discriminer l'effet de ces deux structures chez les martres et les chevreuils (protocole d'échantillonnage inadapté) mais chez le cerf, c'est l'A34 qui semble davantage freiner les échanges entre les populations.

Ces constats, ajoutés au fait qu'ils concernent plusieurs espèces très différentes, laissent à penser que ces zones de conflit pourraient aussi impacter d'autres animaux, et qu'il est nécessaire de considérer le problème de façon plus approfondie en concertation avec les aménageurs du territoire, afin d'améliorer la circulation de la faune sauvage dans les Ardennes et dans la Marne.



Par la suite, les résultats du volet GPS et du volet suivi photographique sont venus appuyer, moduler ou préciser certains éléments et surtout, ont permis de révéler précisément les endroits empruntés par les animaux pour franchir les barrières.

c. Impact des ILT

➤ Autoroutes

Les autoroutes semblent avoir un effet barrière non négligeable sur les échanges entre population, à des degrés divers selon les espèces. Les martres et les renards semblent s'accommoder des passages facilitant les traversées alors que les franchissements de cerfs semblent plus rares au point de provoquer une différenciation génétique de part et d'autre de certaines autoroutes. Les résultats GPS et des analyses photographiques viennent d'ailleurs corroborer les conclusions génétiques puisque peu de traversées de l'A4 ont été observées, sauf dans le cas particulier du viaduc de l'Aisne au niveau du site de Verrières.

Dans ce secteur, les analyses génétiques suggèrent une circulation relativement fluide des cerfs de part et d'autre de l'A4, ce qui est cohérent avec les déplacements des 3 cerfs suivis par GPS qui ont tous franchi l'A4 au moins une fois par le viaduc, et avec les observations réalisées au piège photographique à cet endroit qui révèlent de bien plus nombreuses traversées que sur/sous des ponts de taille plus classique. Il semble donc que seuls des ouvrages de grande taille pourraient limiter l'effet barrière des autoroutes chez le cerf.

➤ LGV

Des résultats manquent encore pour pouvoir conclure quant aux effets de la LGV sur la circulation de la faune sauvage. En effet, les résultats issus des analyses génétiques menées chez les quatre espèces de mammifère en Argonne et qui ne montrent pas de différenciation de part et d'autre de l'infrastructure sont à prendre avec précaution puisqu'il s'agit d'un ouvrage récent (mise en service en 2007 après 5 ans de travaux pour le tronçon qui nous concerne). Les effets génétiques d'une potentielle nouvelle barrière dans le paysage n'est peut-être pas encore visible. Par ailleurs, malgré les efforts fournis, peu de martres et pas de cerf ont été suivis par GPS aux abords de la structure. C'est finalement la surveillance photographique des passages potentiels sur ou sous la LGV qui nous apprend que les traversées de petits mammifères sont régulières, contrairement à celles des cerfs qui sont très rarement observées, en tout cas sur des ponts routiers ou agricoles classiques. Cependant, le suivi du passage à faune de Villiers-en-Argonne, spécialement dédié au franchissement de la LGV par les animaux, met en évidence une plus grande efficacité du passage par rapport aux ponts de plaine, et notamment pour le grand gibier. Des échanges de cerfs de part et d'autre de la LGV via ce passage à faune pourrait alors jouer en faveur de l'absence de différenciation génétique observée. L'impact de la LGV pourrait ainsi être similaire à celui d'une autoroute, interprétation qui semble cohérente au vu de leur similarité en termes de largeur, d'engrillagement et de présence de ponts inférieurs ou supérieurs permettant de les franchir.

➤ Canaux

Les différents résultats obtenus concernant les canaux sont également cohérents et suggèrent qu'ils constituent des éléments peu perméables du paysage, y compris pour les petites espèces telles que la martre. Chez cette espèce, les analyses menées lors du programme IN SITU avaient montré une structuration génétique modérée associée à la présence de canaux, et dans le présent programme, les suivis GPS ont révélé qu'ils agissaient comme un frein au déplacement. Les conclusions chez le cerf concernent uniquement les résultats génétiques car nous n'avons pas pu suivre d'individus par GPS à proximité d'un canal. Comme pour la martre, ils suggèrent un effet barrière modéré avec une légère structuration génétique de part et d'autre du canal des Ardennes. Nous supposons que les autres canaux du site d'étude, notamment le Canal Latéral à la Marne et le Canal de la Marne au Rhin, pourraient avoir un effet barrière au moins aussi fort mais il nous est actuellement impossible de l'affirmer puisque nous ne pouvons pas discriminer leur impact de celui des barrières à proximité (A4, A26, plaines céréalières, LGV).

➤ Plaines céréalières

D'après les résultats obtenus dans les différents volets des programmes « In Situ » et « Corridors », les plaines céréalières peuvent constituer une barrière matricielle pour certaines espèces, mais à différents degrés selon leur attachement à l'habitat forestier. Ainsi, les espèces les moins impactées génétiquement par la présence de milieux ouverts sont les chevreuils et les renards (résultats

génétiques « IN SITU »). Les trajets GPS obtenus chez le renard confirment d'ailleurs une utilisation fréquente des prairies, pâtures et cultures pour les déplacements et la recherche de ressources. Les martres en revanche restent souvent réfugiées dans les bois résiduels et ne réalisent que des déplacements courts et rapides pour rejoindre d'autres bois, en utilisant les haies et éléments arborés pour se déplacer. Sans élément arboré à distance raisonnable à l'échelle d'une martre, il est probable qu'une vaste étendue d'agriculture intensive agisse comme une véritable barrière limitant le brassage génétique. Les groupes génétiques mis en évidence chez cette espèce lors du programme « IN SITU » suggèrent d'ailleurs que la plaine céréalière présente dans l'axe nord-sud de l'ex-région Champagne-Ardenne est responsable de la structure observée, et donc d'un échange d'individus réduit de part et d'autre de ce milieu.

Chez le cerf, il est encore difficile de se prononcer sur un éventuel effet barrière de la matrice agricole. Nous n'avons pas montré de différenciation génétique imputable à ce milieu et les individus semblent capables d'assurer le flux génétique entre deux massifs séparés de 25 km d'espace ouvert (Signy-Sissone). D'autres résultats montrent une rupture du flux de gènes entre Signy-l'Abbaye et le nord des Ardennes (séparés eux aussi par du milieu ouvert constellé de tâches forestières), alors qu'il y a vraisemblablement eu échanges d'individus entre les deux sites (observations GPS et identification génétique des migrants). Cette apparente contradiction peut s'expliquer par un nombre insuffisant de migrants venant assurer le flux génétique, ou encore par des déplacements qui n'aboutissent pas à la reproduction des nouveaux arrivants. Par ailleurs, les suivis GPS et les observations directes de terrain montrent un attrait certain des cerfs pour les prairies et des cultures (notamment de maïs, colza, betterave et luzerne), où ils se nourrissent et ruminent le soir venu, s'éloignant parfois de plusieurs centaines de mètres d'une parcelle forestière. De même, d'après les observations faites au piège photographique, des passages d'individus sur/sous les ponts de la LGV et de l'A4 ont eu lieu à plus d'un kilomètre du premier bois. Les plaines céréalières ne semblent donc pas poser de problème de connectivité chez le cerf dès lors que des zones boisées sont atteignables au petit matin. C'est d'ailleurs ce qui a été constaté lors des grands déplacements du cerf Cano, qui profitait de la présence de bois dès que possible, et notamment en journée. Une réserve peut toutefois être émise si l'on considère le cumul d'obstacles. Par exemple, la plaine céréalière pourrait venir aggraver l'effet barrière d'une ILT. Des investigations plus poussées seraient intéressantes à mener pour éclaircir ce point.

D'un point de vue multi-spécifique, la biodiversité locale bénéficierait sans nul doute d'un réseau de haies et de petits bois dans ces vastes étendues agricoles, afin de réduire la résistance paysagère (démontrée au moins pour les martres) et améliorer la connectivité forestière.

➤ Cumul des barrières

Dans les zones marquant une rupture de connexion flagrante dans le paysage (sud-est de Reims, sud-est de Châlons-en-Champagne, et entre Charleville et Rethel) se trouvent plusieurs types de barrières, matricielles ou linéaires (autoroutes + canaux + plaines). Nous manquons encore de données pour savoir dans quelle mesure chacune d'entre elle participe l'effet barrière mais le cumul de plusieurs structures le favorise certainement. La poursuite d'études, notamment utilisant l'outil GPS permettrait de préciser ce dernier point.

d. Corridors et transparateurs identifiés

Les programmes « In Situ » et « Corridors » ont montré de façon indéniable que pour une espèce très attachée au milieu forestier comme la martre, les haies, les arbres isolés et en dernier recours la végétation haute sont des corridors indispensables pour éviter l'isolement des populations les unes par rapport aux autres, notamment dans des mosaïques paysagères dominées par les espaces agricoles. La linéarité des structures paysagère semble aussi appréciée par cette espèce, tout comme chez le chat forestier, qui, s'il semble s'accommoder particulièrement bien du milieu ouvert, utilise fréquemment les lisières de forêt et même les limites de parcelles agricoles entre différents champs pour se déplacer. Les autres mammifères suivis jusqu'ici par GPS semblent moins sensibles à ces éléments paysagers, notamment les blaireaux et les renards. L'observation fréquente de ces deux dernières espèces sur de nombreux ponts inférieurs laisse en plus supposer une moindre exigence en termes de passages potentiels.

La facilité de franchissement d'ILT dépend, en toute logique, de l'écologie et de la morphologie des espèces considérées mais aussi des caractéristiques des ouvrages facilitant les traversées et du paysage environnant. Globalement, les ouvrages les plus favorables pour les traversées d'ILT chez les mammifères sont les ponts supérieurs, de faciès plat, dans un environnement comportant des zones boisées, sans trop de fréquentation humaine (ponts de chemins, de rivières, et également voies ferrées).

Chez le cerf, les franchissements d'ILT semblent rares sur des ponts routiers ou agricoles classiques. La disponibilité d'un ouvrage de grande dimension de type viaduc, ou grand passage à faune, peut cependant limiter la perte de connectivité engendrée par l'obstacle. La martre, de par sa petite taille, semble profiter de la moindre structure permettant son passage, de l'écluse au pont autoroutier en passant par des buses de drainage, la condition principale étant que des éléments boisés se retrouvent de part et d'autre de la structure. Ce dernier fait est d'ailleurs confirmé par les analyses photographiques qui montrent que le seul élément influençant de manière significative la fréquentation des ponts par les martres des pins est la présence de bois environnants. Il est aussi possible pour cette espèce de franchir directement les obstacles, que ce soit à la nage pour les canaux, ou à la course pour les autoroutes.

Certains leviers qui peuvent favoriser globalement la connectivité pour les mammifères au niveau des transparateurs ont ainsi été révélés :

- Les ouvrages supérieurs et plats (suivant le relief) sont les plus favorables pour presque toutes les espèces et seraient à privilégier. Une occultation des côtés du passage pourrait également améliorer le passage de certaines espèces particulièrement farouches. Les ponts inférieurs peuvent également être assez favorables s'ils sont « plats ».
- Une végétalisation des bords de pont routiers ou ferroviaires ainsi qu'un boisement des rives des ILT, même sur seulement quelques mètres, pourrait favoriser sensiblement la circulation de mammifères forestiers tels que la martre.
- L'aménagement de pont surplombant une rivière avec une bordure (une banquette) permettant le passage d'animaux même lorsque le lit est en eau, serait très favorable aux franchissements, d'autant que les rivières sont généralement bordées de ripisylves facilitant le déplacement des espèces forestières.

- Lorsque deux ILT sont proches, comme c'est le cas pour l'A4 et la LGV qui sont aussi presque parallèles, les aménagements devraient être réfléchis de concert pour être réalisés en cohérence. Il serait en effet contre-productif de favoriser le passage d'animaux sur un ouvrage si le suivant a un effet répulsif.

- La présence régulière au niveau des ILT de quelques passages très perméables comme un viaduc ou un passage à faune de grandes dimensions, végétalisés et en continuité avec les éléments du paysage facilitant les déplacements, serait bien évidemment bénéfique.

e. Perspectives

Si les objectifs de l'étude « Corridors » ont bien été atteints, des zones d'ombre mériteraient d'être éclaircies concernant certains résultats, notamment lorsque les effets barrière des différentes infrastructures et matrices n'ont pas pu être isolés. C'est par exemple le cas dans la Marne, au sud-est de Reims et entre Châlons-en-Champagne et le camp militaire de Mailly. Dans les Ardennes, c'est au niveau de l'A34 et/ou du Canal des Ardennes qu'il existe une rupture de connectivité du paysage mais sans savoir précisément dans quelle mesure chacune des infrastructures y participe (sauf pour les cerfs).

Par ailleurs selon les endroits les barrières n'impactent pas les différentes espèces de la même manière et des transparateurs utilisées par certaines ne le sont pas forcément par d'autre. Afin d'avoir une vision plus globale, il conviendrait donc compléter nos résultats avec le suivi d'autres espèces, notamment le chevreuil, qui n'a pas encore été suivi par GPS dans nos études, mais aussi le sanglier, pour lequel nous n'avons pas encore analysé la structure génétique des populations ni identifié les endroits utilisés par les individus pour franchir les éventuels obstacles. D'ailleurs, la surveillance photographique de l'A4 et de la LGV montre très peu d'observation de sanglier franchissant les infrastructures, ce qui soulève la question de la sensibilité de l'espèce aux ILT.

Enfin l'étude « Corridors » a nécessité un suivi GPS à fine échelle, avec des localisations fréquentes, et donc à court terme (<1 an). Afin de compléter l'étude de la connectivité du territoire, il est important de l'aborder sous un autre angle, à plus large échelle. En effet, les résultats obtenus suggèrent que des déplacements de grande amplitude ont lieu (que ce soit chez la martre et chez le cerf) mais que seul un suivi à plus long terme optimiserait les chances de les observer. Ce sont en effet ces grands déplacements, suivis d'évènements de reproduction, qui assurent un brassage génétique entre les différentes populations. Dans ce contexte et en réponse aux différents points d'ombre déjà soulevés dans ce rapport, de nouveaux projets de recherche sont actuellement développés, et notamment le projet « DISPERSE » et le projet « A34 ».

DIFFUSION

Depuis ses débuts, le programme de recherche « Corridors » fait régulièrement l'objet de communications écrites ou orales, que ce soit auprès du grand public ou de la communauté scientifique :

- Publication d'un article de presse dans l'Union-l'Ardennais (22/03/2017, « sur les traces des martres »).
- Publication d'un article de presse dans Le Chasseur Ardennais (décembre 2017, FDC08, « Les recherches scientifiques sur la faune et la connectivité du paysage continuent à l'aide de la participation des chasseurs des Ardennes »).
- Publication d'un article de presse dans Le Chasseur de la Marne (décembre 2017, FDC51, « Corridors écologiques : que se « trame » -t-il ? »).
- Publication d'un article de presse dans Le Chasseur Ardennais (juin 2018, FDC08, « Etude « Corridors » : bilan à mi-parcours »).
- Publication d'un article de presse dans l'Union-l'Ardennais (05/10/2018, « Prélèvements ADN et collier GPS : connecter le gibier pour le protéger »).
- Publication d'un article de presse dans « Nos Chasses » (décembre 2018, « Les gardes particuliers de la Marne piègent la martre pour aider la recherche »)
- Publication d'un article de presse dans l'Union-Marne (16/05/2019, « Comment protègent-il le cerf et la martre »).
- Conférences ouvertes au public du Parc Argonne Découverte chaque été (Olizy-Primat, Ardennes) : déjà plusieurs dizaines d'animations réalisées.
- Présentations régulières ouvertes aux différents partenaires (Fédérations de Chasse, Gardes particuliers, piégeurs, ...)

Diffusion scientifique :

- Communication orale à la journée technique et scientifique organisée par le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) exclusivement consacrée aux suivis de la faune liés à la réalisation des projets d'infrastructures de transport terrestre à METZ (55) le 08/12/2016.
- Communication orale au 32ème Colloque Européen sur les Mustélidés (du 15 au 17 Novembre 2017, « Movements of the European pine marten when facing lanscape constraints », Lyon).
- Communication orale et poster au Martes Symposium (du 29 juillet au 03 août 2018), Ahsland, Wisconsin, USA.
- Présentation d'un poster à l'International Conference on Ecology and Transportation (du 22 au 26 septembre 2019). Sacramento, California, (USA).

Pour améliorer la visibilité de l'étude et permettre à toute personne intéressée de suivre nos activités et l'avancement des travaux, un site internet dédié au programme « Corridors » a été créé à l'adresse suivante : <https://cerfe-corridor.jimdo.com>.

REMERCIEMENTS

Afin de mener à bien ce programme de recherche, nous avons sollicité l'aide, les autorisations et/ou le soutien de nombreuses personnes et organismes. Nous remercions sincèrement :

- Les financeurs du programme : le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER), la Région Grand-Est, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), la Communauté de Communes de l'Argonne Ardennaise (2C2A), la Société des autoroutes du Nord et de l'Est de la France (SANEF), Voies navigables de France (VNF), la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), les Fédérations Départementales des Chasseurs des Ardennes et de la Marne (FDC08 et FDC51).
- Les techniciens des Fédérations Départementales des Chasseurs des Ardennes et de la Marne pour leur participation active à ce projet, et notamment Frédéric Baudet, Freddy Talarico et Maxime Guyot.
- M. Gilles Remy, M. Gilles Tible et M. Daniel Isler qui ont réalisé de nombreux relevés de pièges lors des sessions de capture de martres.
- Tous les piégeurs qui nous ont permis d'équiper (ou rééquiper) des martres capturées dans leurs pièges (M. Richelet, M. Wattier, M. Gruselle, Mme Maudoux, M. Galas, M. Desmaret, M. Galichet, M. Lefevre, M. Pierron et M. Fallet)
- Les propriétaires, les particuliers, les acteurs de la chasse, les gestionnaires forestiers, les agriculteurs, les gardes, qui nous autorisent et/ou nous aident à installer nos dispositifs et notre matériel sur les terrains dont ils s'occupent (cf liste ci-dessous).

Cette liste présente les personnes qui nous aidé ou donné leur autorisation pour nous permettre de mener à bien notre étude. N'hésitez pas à nous informer d'éventuels erreurs ou manquements. Malheureusement, certaines personnes qui participent à la collecte d'échantillons de tissus ne sont pas citées, notamment les chasseurs et découpeurs qui ont travaillé pour ce programme et qui sont évidemment remerciés.

Nom	Prénom	Organisme/fonction	Volet du projet
ALLART	Solène	FDC51	Programme "Corridors"
APPERT-COLLIN	Pascal	Association Foncière	Suivi photos passages 51
ARNOULD	Alain	SNCF	Suivi GPS martres canal08
ARROUART	Hubert	Mairie	Suivi photos passages 51
AUBERT	Denis	Mairie	Suivi GPS martres canal08
AYALA	Raymond	Mairie	Suivi photos passages 51
BAUDET	Frederic	FDC08	Programme "Corridors"
BAZELAIRE	Jean-Marc	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
BERNAUER-BUSSIÉ	Jean-François	DIR EST	Suivi photos passages 51
BESTEL	Bernard	Mairie	Suivi GPS martres canal08
BONNET	Marcel	Mairie	Suivi photos passages 51
BONNETIER	Lionel	SANEF	Suivi photos passages
BOULOY	Catherine	Mairie	Suivi photos passages 51
BOURBON	Christine	VNF	Programme "Corridors"
BOURGEOIS	Noël	Mairie	Suivi GPS martres canal08
BOURNAISON	Julien	Association Foncière	Programme "Corridors"
BROSSE	Michèle	DDT08	Programme "Corridors"
BUSIGNIES	Olivier	Garde particulier	Suivi GPS martres 51
CAGNACCI	Frédéric	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
CANNEAUX	Jean-Marc	Agriculteur	Suivi GPS cerfs 08
CARBONI	Christian	Mairie	Suivi photos passages 51
CARVENANT	Alain	Chasse	Suivi GPS martres canal08
CHAMPENOIS	Guillaume	Agriculteur	Suivi GPS cerfs 08
CHAPPAT	Thierry	Mairie	Suivi photos passages 51

CHARLIER	Claude	Chasse	Suivi GPS martres canal08
CHARPENTIER	Fabien	Mairie	Suivi photos passages 51
CHER	Conrad	Mairie	Suivi photos passages 51
CHOUMERT	Guillaume	DREAL	Programme "Corridors"
CLOSQUINET	Pascal	Chasse	Suivi GPS martres canal08
CROUVEZIER	Valérie	SNCF	Programme "Corridors"
DACQUIN	Lionel	Chasse	Suivi GPS martres canal08
DALLE	Antoine	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
DE CAUSANS	Jacques	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
DECHAMPSAVIN	Sophie	Région	Programme "Corridors"
DELVAUX	Luc	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
DEMISSY	Guy	Chasse	Suivi GPS martres 51
DESBROSSE	Jacky	Président FDC51	Programme "Corridors"
DESMARET	Bruno	Chasse	Suivi GPS martres 51
DONY	Justin	Chasse	Suivi GPS martres canal08
DROUAIN	Jean-Pierre	Chasse, propriétaire	Suivi GPS martres 51
DUBOIS	Jean-Michel	Association Foncière	Suivi photos passages 51
DUBOIS	Bertrand	Mairie	Suivi photos passages 51
DUFOUR	Patrice	VNF	Suivi GPS martres canal08
DUROY	Jean-Charles	Agriculteur, Chasse	Suivi GPS cerfs 08
FALLET	Guy	Piégeur	Suivi GPS martres 51
FERNANDEZ	Richard	Mairie	Suivi photos passages 51
FONSECA	Jacqueline	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
FONTAINE	Xavier	Mairie	Suivi GPS martres canal08
FOUERE	Olivier	forestier	Suivi GPS cerfs 51
FRANKART	Jean	Mairie, Chasse	Suivi GPS martres canal08
FROHLICH	Philippe	SANEF	Suivi photos passages
FROMENT	Patrice	Chasse	Suivi GPS cerfs 08 et 51
FROMENT	Pierre	Chasse	Suivi GPS cerfs 08 et 51
GALAS	Michel	Agriculteur, Piégeur	Suivi GPS martres 51
GALICHET	Gérard	Mairie	Suivi photos passages 51
GALICHET	Thierry	Agriculteur	Suivi GPS martres 51
GALLOIS	Sylvie	Mairie	Suivi GPS martres canal08
GARET	Pauline	FDC51	Suivi photos passages 51
GENTIL	Jonathan	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
GEORGEON	Yannis	FDC08	Programme "Corridors"
GILBERT	Nadine	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
GODART	Jean-Marie	Mairie	Suivi photos passages 51
GRAGE	Jacques	Mairie	Suivi photos passages 51
GRAN	Michaël	SNCF	Suivi GPS martres canal08
GRUSELLE	J. P.	Agriculteur	Suivi GPS martres canal08
GUERIN	Daniel	Chasse	Suivi GPS martres canal08
GUERIN	Regis	Chasse	Suivi GPS martres canal08
GUERIN	Jean-Luc	Chasse	Suivi GPS martres canal08
GUNTHER	Charles	CG08	Suivi GPS martres canal08
GUTNECHT	Quentin	FDC08	Programme "Corridors"
GUYOT	Maxime	FDC51	Suivi photos passages 51
HANNEQUIN	Jean-Michel	Particulier	Suivi GPS cerfs 08
HENRION	-	Gestionnaire	Suivi GPS cerfs 08
HERMANT	Jacky	Mairie	Suivi photos passages 51
HERY	Jean Luc	Mairie	Suivi GPS martres canal08
HIET	Serge	Mairie	Suivi photos passages 51
HUBERT	Michel	Président FDC08	Programme "Corridors"
HUBERT	Daniel	Particulier	Programme "Corridors"
HUGUENIN	Claude	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
ISLER	Daniel	Chasse	Suivi GPS martres 51
JACQUIER	Michel	Mairie	Suivi photos passages 51
JANSON	Guy	Mairie	Programme "Corridors"
JOLY	Martial	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
JOPPE	Lionel	Particulier	Programme "Corridors"
JOPPE	Lionel	particulier	Suivi GPS martres 51
KELLER	Benoit	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
KUBIAK	Marie-France	Mairie	Suivi GPS martres canal08
LADOUCE-LEPINE	Nicole	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
LEBEL	Bruno	FDC51	Programme "Corridors"
LEBEL	Bernard	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
LEBEL	Michel	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
LEBEL	Bruno	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
LEDERNE	Josianne	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
LEFEVRE		Piégeur	Suivi GPS martres 51

LEGAND	Christophe	DRD 51	Suivi photos passages 51
LENOBLE	Luc	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
LESCOUET	Alain	ONF	Programme "Corridors"
LUCAS	Marie Christine	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
MACHET	Francis	Mairie	Suivi photos passages 51
MAGISTRINI	Frank	FDC02	Programme "Corridors"
MARCHAND	Pascal	Mairie	Suivi photos passages 51
MARECHAL	Guillaume	SANEF	Programme "Corridors"
MARIAGE	Renaud	gestionnaire	Suivi GPS cerfs 08
MARTIN	Damien	DDT08	Programme "Corridors"
MATHIEU	Jérôme	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
MATTLIN	Landry	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
MAUDOUX	Nathalie	Propriétaire	Suivi GPS martres 51
MERIEAU	Anthony	FDC08	Programme "Corridors"
MESNARD	Emmanuel	CIL - URCA	Suivi photos passages 51
MILLOT	James	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
MONGAY	Marie Neige	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
MOREAU	Claire	URCA	Programme "Corridors"
MULETTE	Laurent	SANEF	Suivi GPS cerfs 51
NOIZET	Pascal	Chasse	Suivi GPS martres canal08
OTTO-LOYAS	Robert	VNF	Suivi GPS martres canal08
LOUDIN	Bertrand	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
PAMART	Maxence	Propriétaire/Chasse	Suivi GPS martres canal08
PARDONCHE	Jérôme	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
PERREIN	Vincent	Propriétaire	Suivi GPS martres 51
PICOULT	Pierre	SNCF	Suivi photos passages 51
PIERRON	Michel	Piégeur	Suivi GPS martres 51
PILLIERE	Nathalie	VNF	Suivi GPS martres canal08
PONSIN	Jean-Guy	Association Foncière	Programme "Corridors"
POSE	Denis	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
PREUX	Emanuel	SANEF	Suivi photos passages
REMY	Gilles	Chasse	Suivi GPS cerfs 51
RICHELET	Jean-Pol	Mairie, Chasse	Suivi GPS martres canal08
RING	Marie-Laure	DRD 51	Suivi photos passages 51
ROLLET	Jean-Marie	Region	Programme "Corridors"
ROUSSEAU		Militaire	Suivi GPS cerfs 51
ROYS	Suzanne	Chasse	Suivi GPS martres canal08
SCHIANTARELLI	Bernard	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
SCHMINKE	Georges	Mairie	Suivi GPS martres canal08
SIMON	Claude	Mairie	Suivi photos passages 51
SZULIK	Sophie	Mairie	Suivi photos passages 51
TALARICO	Freddy	FDC51	Programme "Corridors"
TETENOIRE	André	Mairie	Suivi photos passages 51
TIBLET	Gilles	Chasse	Suivi GPS martres 51
TOUCHARD	Marie Noëlle	Propriétaire	Suivi GPS martres canal08
TOUPET	Claude	Chasse	Suivi GPS cerfs 08
VADEZ	James	Mairie, Chasse	Suivi GPS martres canal08
VIELLARD	Stéphane	Propriétaire/Chasse	Suivi GPS martres canal08
VINCENT	Pierre	DREAL	Programme "Corridors"
VUIBERT	Michel	Agriculteur	Suivi GPS cerfs 08
WAROUX	Christian	Chasse	Suivi GPS martres canal08
WATTIER	Gérard	Chasse	Suivi GPS martres canal08
ZANELLI	Catherine	VNF	Suivi GPS martres canal08

ANNEXES

I. Compléments statistiques- Analyses génétiques cerfs

Analyse avec le logiciel STRUCTURE

Les principales analyses génétiques des populations de cerfs ont été conduites avec le logiciel STRUCTURE. Il s'appuie sur le regroupement bayésien des individus qui définit le nombre probable de groupes génétiques au sein d'un pool d'individus et les probabilités, pour chaque individu, d'appartenir à l'un de ces groupes génétiques. Dans nos analyses, seules ont été utilisées les informations génétiques.

Pour information, nous avons paramétré nos analyses Structure avec 10 000 burnins et 500 000 runs, en mode Admixture (diverses populations d'origine), pour une recherche du nombre de groupes génétiques entre 2 et 10. Seules les données génétiques (donc sans information quant à l'origine géographique des animaux) ont été incluses dans cette analyse. Le **Tableau 25** est un extrait des résultats de répartition des profils individuels des individus en fonction des 6 groupes génétiques observés.

Tableau 25. Exemple de la répartition du profil génétique de 7 animaux prélevés dans les massifs de Signy-l'Abbaye et du camp militaire de Sissonne.

ind	Capture	% du profil génétique de l'individu reparti selon les 6 groupes génétiques						Classement
		Gpe 1	Gpe 2	Gpe 3	Gpe 4	Gpe 5	Gpe 6	
.....
CER225	Signy	0.01	0.01	0.97	0.01	0.00	0.00	RESIDENT Groupe 3
CER231	Signy	0.05	0.02	0.85	0.03	0.00	0.05	RESIDENT Groupe 3
CER233	Signy	0.02	0.04	0.73	0.20	0.01	0.00	Indéterminé
CER362	Sissonne	0.00	0.02	0.05	0.87	0.01	0.05	MIGRANT gpe 4 (>0.80)
CER363	Sissonne	0.00	0.01	0.96	0.01	0.01	0.01	RESIDENT Groupe 3
CER364	Sissonne	0.02	0.01	0.91	0.01	0.00	0.05	RESIDENT Groupe 3
CER396	Sissonne	0.02	0.26	0.49	0.15	0.04	0.04	Indéterminé
.....

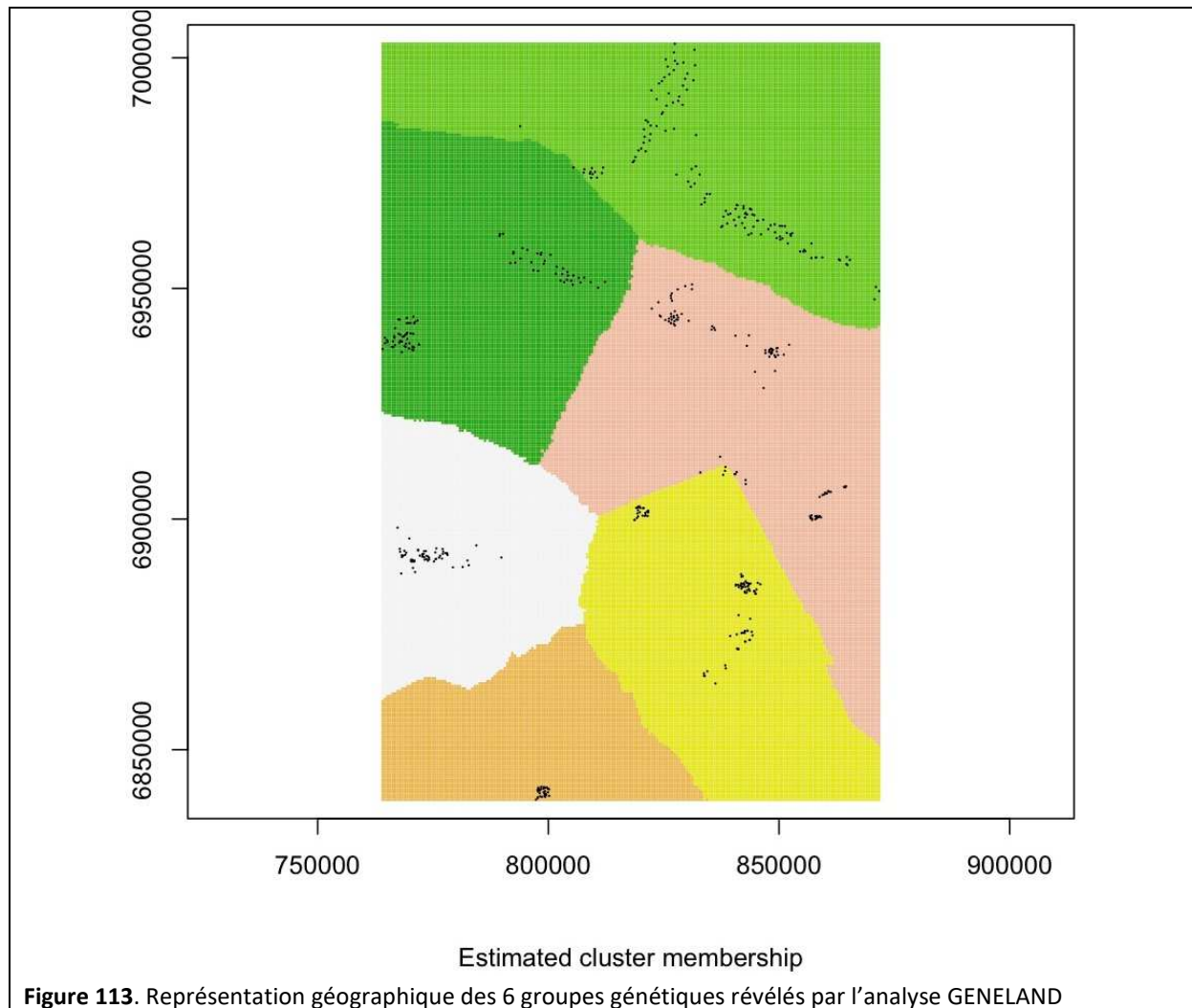
Analyse avec le logiciel GENELAND

Nous avons vérifié les résultats en les confrontant à ceux obtenus par une seconde approche par groupements bayésiens, la méthode GENELAND (Guillot et al. 2005) du programme R (R Development Core Team, 2011). Celle-ci analyse les variations des fréquences alléliques en fonction de la localisation géographique des échantillons.

Nous avons commencé par réaliser 10 runs indépendants cherchant le nombre de populations le plus vraisemblable dans ces 13 sites d'échantillonnage entre 1 et 15. Pour ce faire, nous avons fixé les paramètres tels que recommandés par les auteurs (100 000 répétitions MCMC, thinning 100, burnin 200, $1 \leq K \leq 15$, maximum rate of Poisson process fixed 507_nombre d'échantillons, maximum

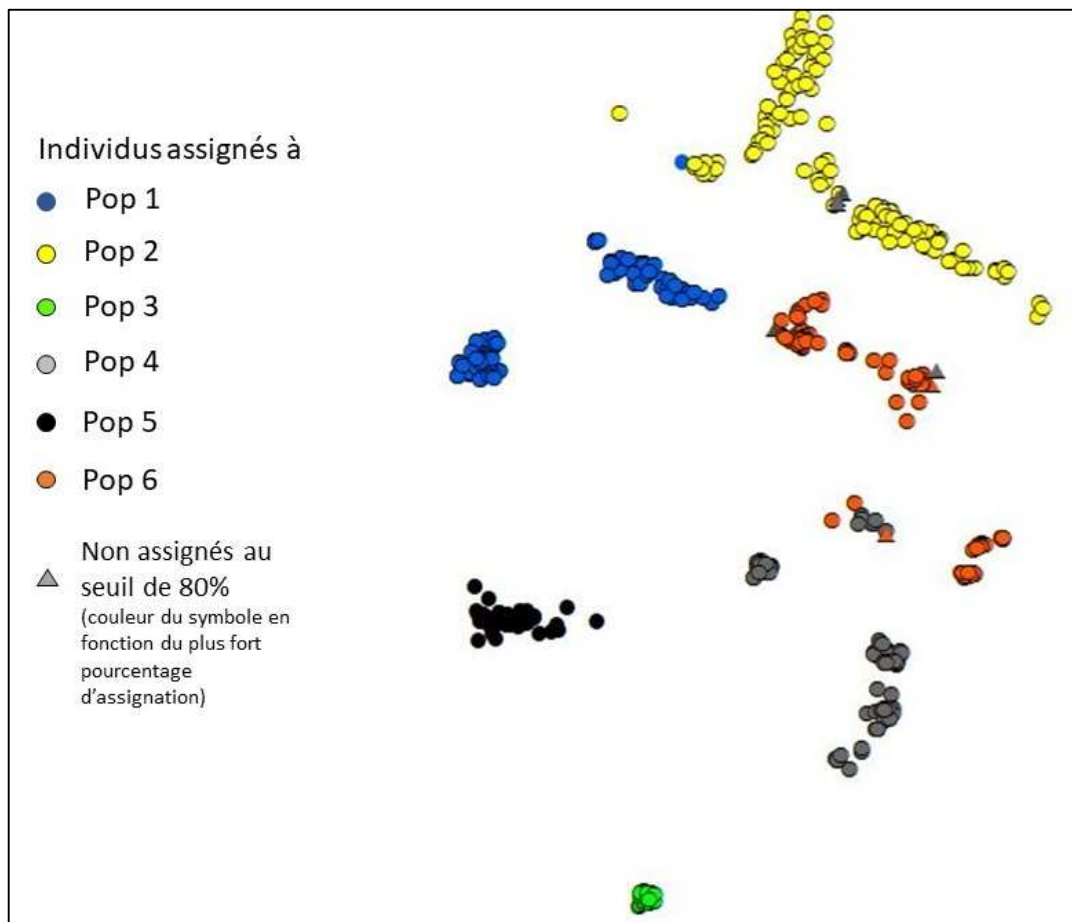
number of nuclei 1521_ trois fois le nombre d'échantillons). L'ensemble des échantillons est assigné en fonction de leur génotype multilocus et de leurs coordonnées spatiales. Nous avons comparé les vraisemblances des 10 runs et comparé l'estimation des paramètres (nombre de populations et taux d'assignation des individus, cartes).

Comme pour les analyses STRUCTURE, le nombre de populations le plus vraisemblable est 6 groupes génétiques (**Figure 113**).



Les six groupes sont constitués sur un regroupement des populations géographiques (sites) identique à celui obtenu avec STRUCTURE : des groupes isolés ([Mailly] ; [Montagne de Reims]) et des sites regroupés ([Pointe Ardennes Est – Pointe Ardennes Ouest] ; [Signy – Sissonne] ; [Vendresse – Mont-dieu – Mont-faucon] ; [Argonne Sud – Argonne Centre – Suippes]). Ici aussi, le groupe de Argonne Nord est très mal défini. La seule différence concerne la population de Argonne Nord qui comprendrait, dans cette analyse, des individus à profil Argonne Suippes ou de Mont-Dieu-Vendresse- Mont-Faucon.

Concernant l'appartenance au groupe génétique, les résultats de GENELAND identifient un nombre plus important d'individus avec seulement 7 individus non identifiés au seuil de 80%.



Les 7 cerfs non assignés sont principalement des individus de la population Argonne – Suippes Suippes échantillonnés sur les sites PN08 Est, Vendresse et Mont Dieu. On trouve également un individu migrant de la population de Signy-Sissonne (probablement de première génération au vu du pourcentage d’assignation) qui a été échantillonné sur le site PN08 Ouest.

Le site d’étude Argonne Nord comprend deux individus migrants de première génération de la population 6 (Vendresse, MontDieu et Mont Faucon) et un individu non assigné au seuil de 80% mais proche de cette population également.

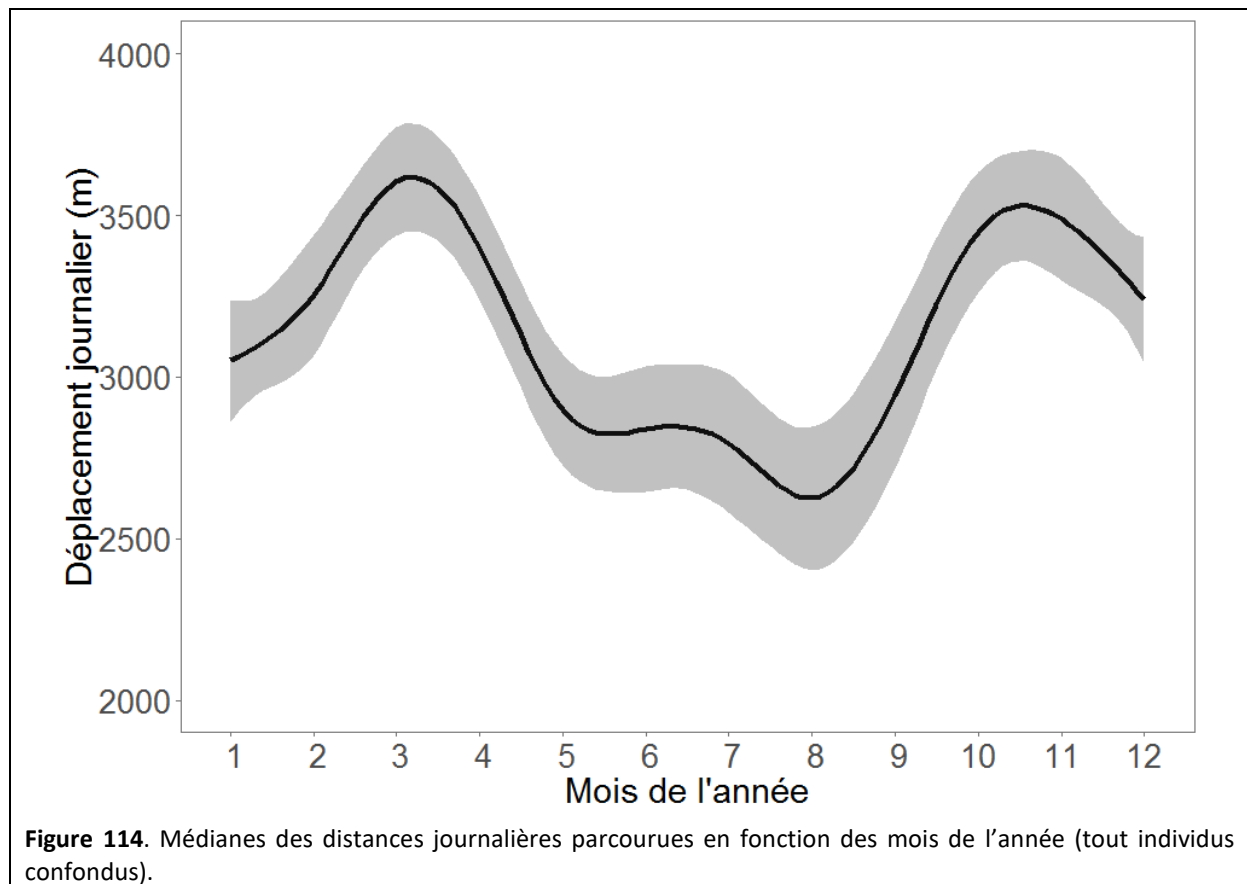
Sur l’ensemble du site d’étude, on retrouve trois individus migrants de façon évidente et sept individus mitigés qui sont probablement des migrants de deuxième ou troisième génération.

II. Compléments d'analyse sur les déplacements des cerfs et leur rythme d'activité.

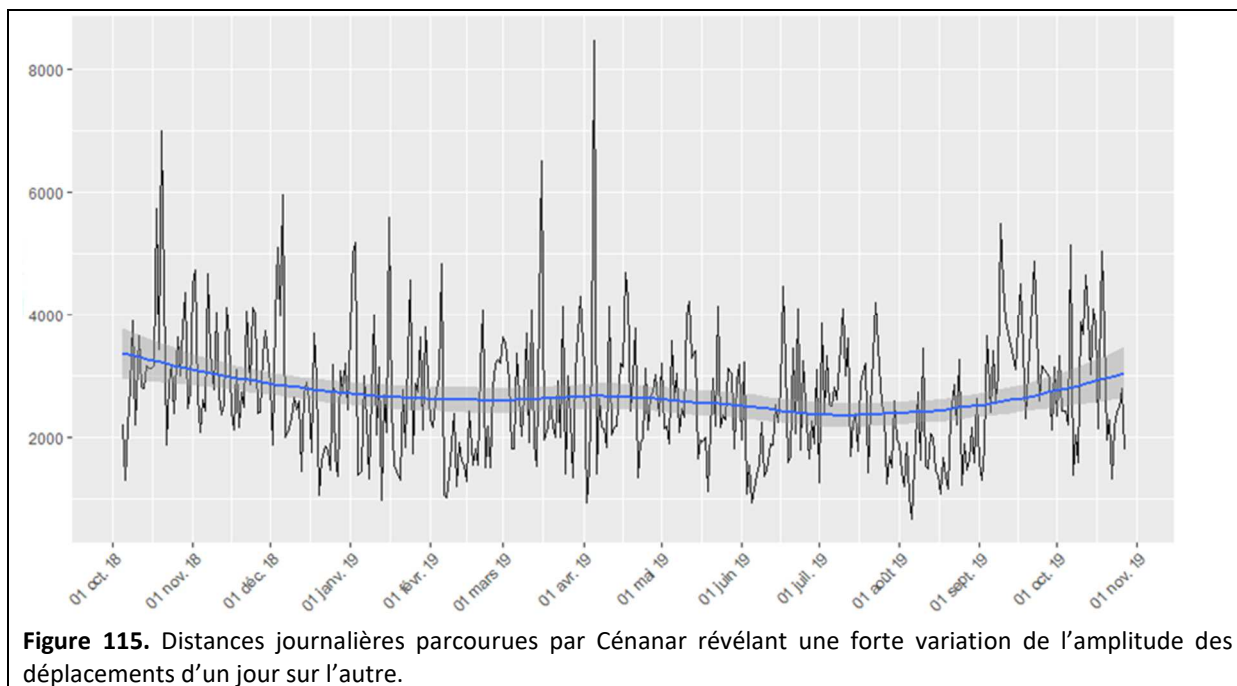
Si l'analyse des déplacements des cerfs n'entre pas strictement dans l'objectif de ce programme de recherche (l'identification des zones de franchissement des barrières), il nous paraît intéressant de présenter quelques résultats sur les variations du comportement de déplacement en fonction des saisons et de l'heure de la journée.

➤ Déplacement en fonction des saisons

Cette analyse vise à chercher d'éventuelles modifications du comportement de déplacement en fonction des saisons. La médiane des distances journalières parcourues en fonction des mois de l'année (tout individus confondus) fait apparaître des différences statistiques (Kruskal-Wallis chi-squared = 89.002, df = 11, p-value < 0.0001) avec de plus grands déplacements en Avril et Novembre par rapport à la période de Mai à Aout (**Figure 114**), la médiane de la distance parcourue ce dernier mois étant plus petite que celles de tous les autres mois.

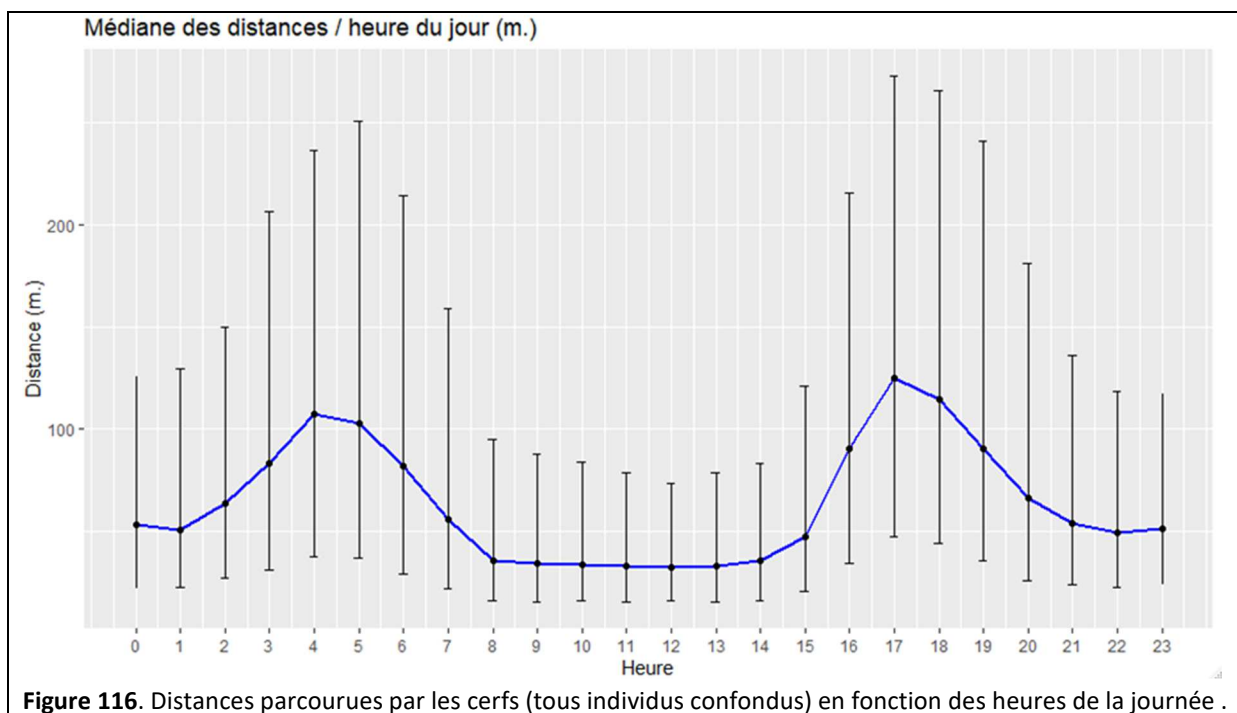


Toutefois, les distances journalières parcourues successivement montrent une forte variation, avec une alternance de trajets courts et longs comme le montre l'exemple de Cénanar (**Figure 115**).



➤ Activité au cours de la journée

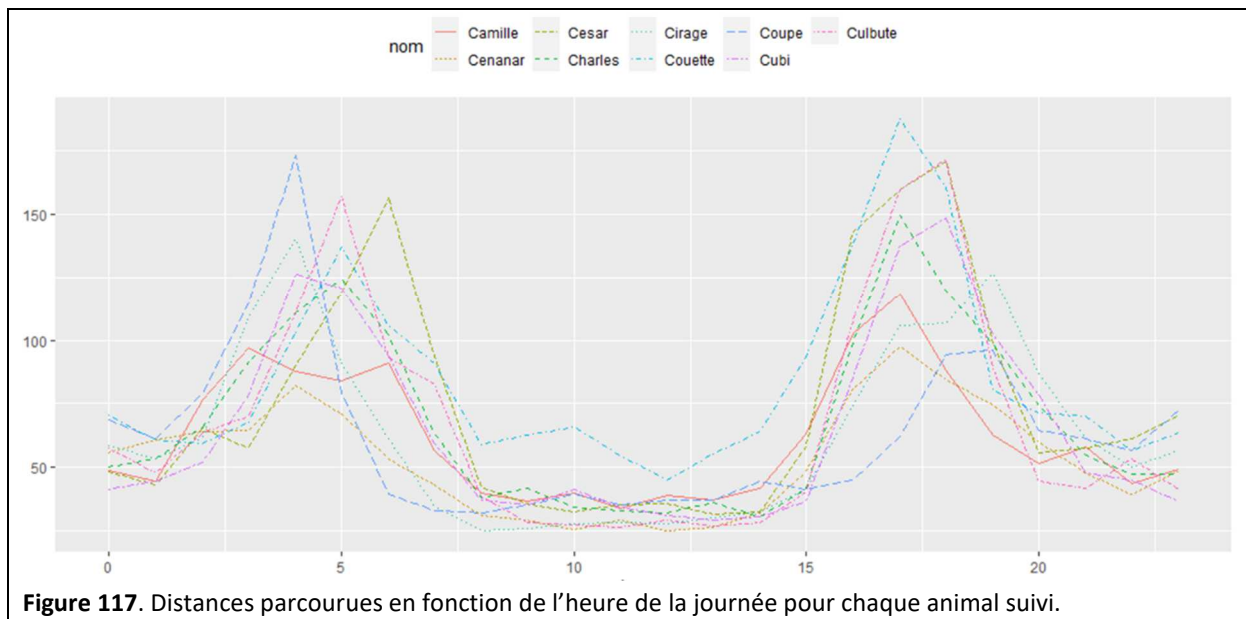
Cette analyse vise à chercher d'éventuelles modifications du comportement de déplacement en fonction des heures de la journée (heure de lever et du coucher non prise en compte). Dans le graphique ci-dessous, les heures sont en UTC (décalage de de +2 heures en été et + 1 heure en hiver) (**Figure 116**).



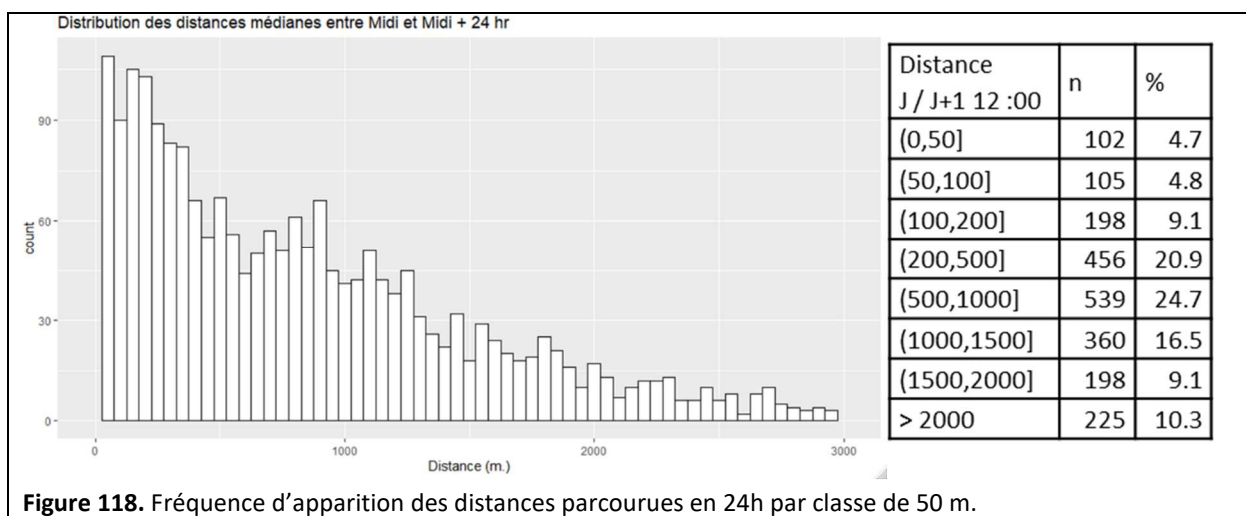
Quatre phases d'activité peuvent être dénombrées au cours de la journée :

- de 08 :00 à 14 :00 , les individus bougent peu (environ 30 m. / heure, dont une bonne partie est sans doute due aux incertitudes de localisation des points)
- de 15 :00 à 20 :00 : une activité de déplacement culminant de 17 :00 à 18 :00 (avec une médiane de 120 m./hr)
- de 21 :00 à 02 :00 : une phase de déplacement faible (médiane de 50 m./hr), attribuée à la phase de nourrissage
- de 03 :00 à 07 :00 : une nouvelle phase de déplacement (médiane de 110 m. :hr), durant laquelle les animaux quittent leur lieu de nourrissage.

Ce schéma se retrouve chez tous les animaux, bien que certains conserve une certaine activité de déplacement pendant la journée comparativement aux autres individus (**Figure 117**).



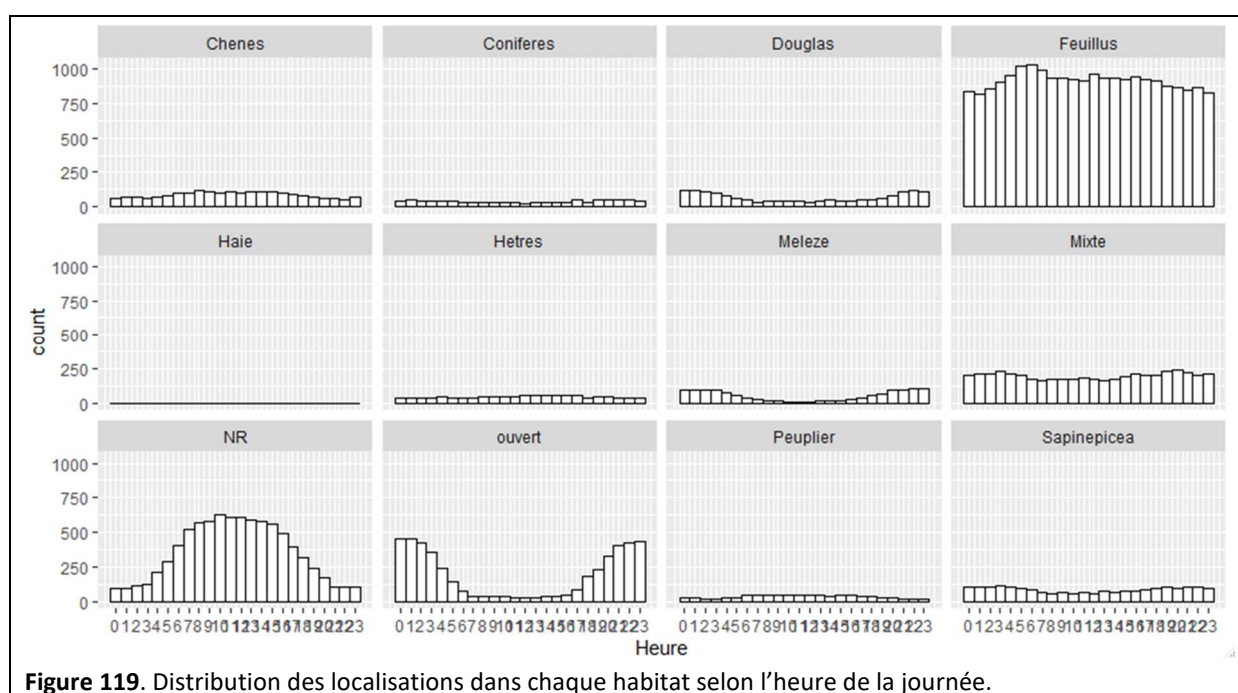
On remarquera que les individus ne retournent sur leur site de départ (J-1) que dans 5 % des cas et s'éloignent à plus de 1 km dans plus d'un tiers des cas (**Figure 118**).



➤ Type d'habitats fréquenté en fonction de de déplacement

Au cours des déplacements journaliers, nous avons cherché à savoir si les animaux montraient une préférence en matière d'habitat. Nous avons donc regardé la répartition des localisations en fonction de l'heure et de l'essence forestière dans laquelle elles se plaçaient (**Figure 119**).

Dans le tableau ci-dessous, les Chênes, Hêtres et peupliers sont exclus du groupe « Feuillus » lorsqu'ils forment des îlots d'essence pure. De même, les sapin/épicéas, Mélèzes et Douglas sont exclus des conifères lorsqu'ils sont en îlots purs. Le milieu ouvert regroupe toutes les surfaces non forestières. Enfin, le groupe NR (non renseigné) correspond à des parcelles de régénération sans plus d'information.



Comme nous ne disposons pas du prorata des surfaces disponibles, nous ne pouvons pas déduire de ces données une préférence d'un habitat par rapport à un autre (par exemple, la fréquentation des Chênes pourrait sembler très faible par rapport aux mélanges de feuillus, mais cela est sans doute simplement dû au fait qu'il y a plus de parcelles classées « Feuillus » que de parcelles classées « Chêne pur ». En revanche, nous pouvons affirmer que les animaux fréquentent beaucoup plus les habitats en régénération (NR) pendant la journée que pendant la nuit. Ce même type d'observation, centrée cette fois sur les îlots purs, montrent les résultats suivants (**Figure 120**):

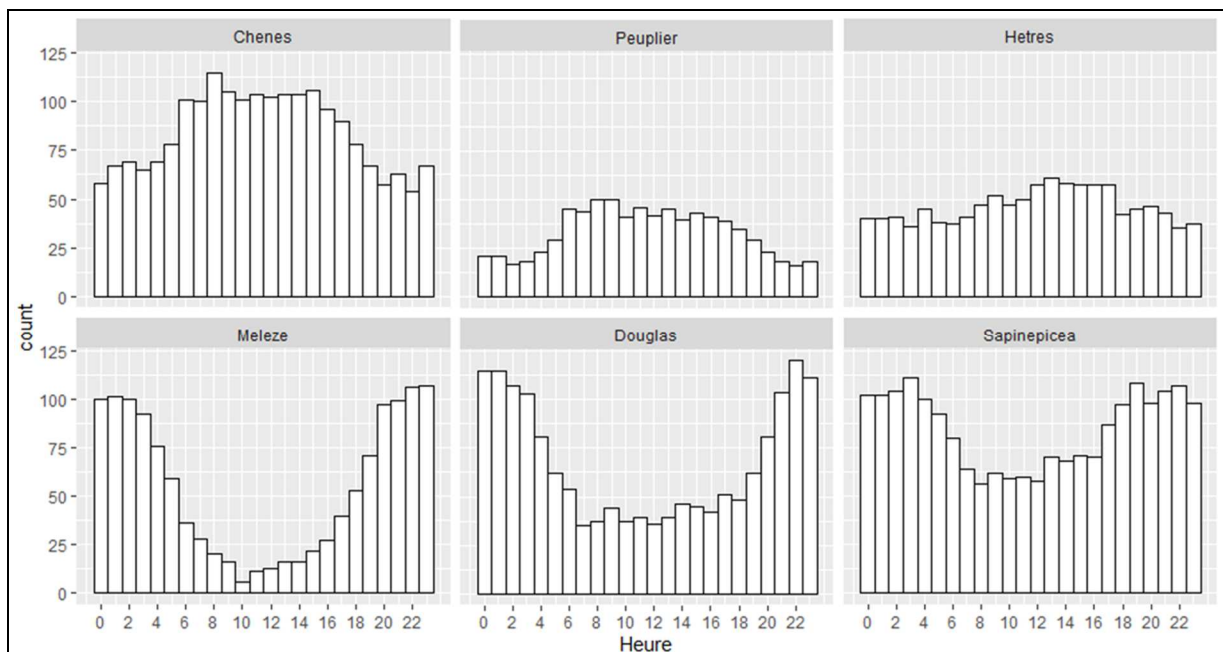


Figure 120. Distribution des localisations dans chaque « ilot pur » selon l’heure de la journée.

On constate que les chênes sont presque 2 fois plus fréquentés le jour que la nuit à l’inverse des parcelles d’épicéa ou de sapin. La fréquentation des parcelles de douglas, mais plus encore de mélèzes est très tranchée avec, pour le mélèze, une quasi absence durant le jour et une beaucoup plus forte fréquentation durant la nuit.

➤ Effet de la capture sur les distances de déplacement des cerfs

Afin de connaître l’effet du fléchage et de la manipulation des cerfs sur leur comportement de déplacement juste après la capture, nous avons pratiqué des analyses comparatives de la distance moyennée par le nombre d’heures. En effet, les animaux étant capturés en fin de journée, nous ne pouvons pas comparer les distances effectuées pour le reste de la journée à celles réalisées lors des trajets de 24 heures (**Figure 121**). Le résultat montre un très net impact de la capture sur le mouvement des cerfs avec des distances horaires près de deux fois supérieures à celles observées par la suite.

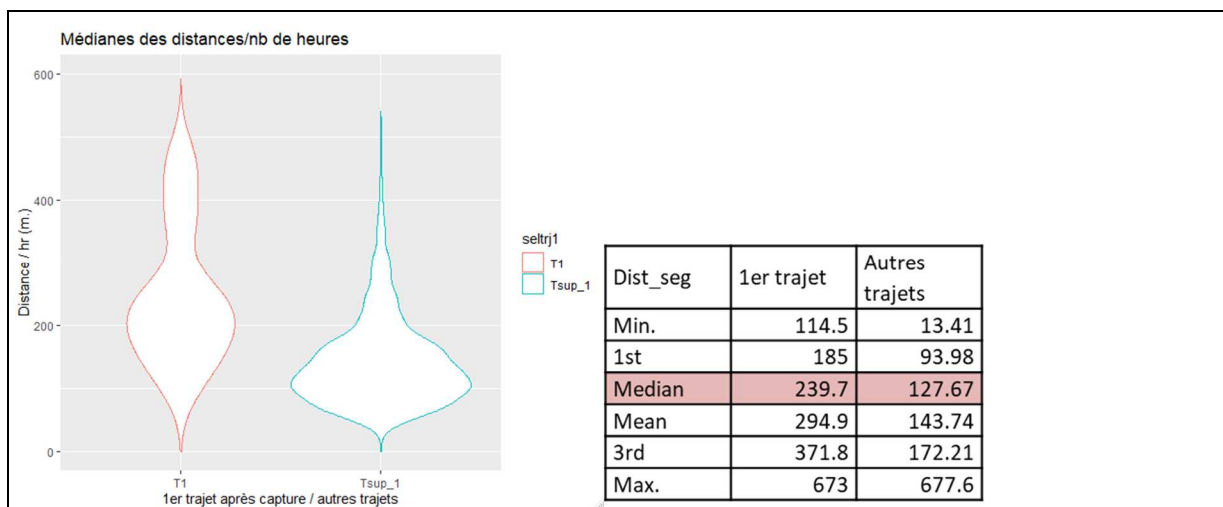


Figure 121. Comparaison des distances de déplacement des cerfs entre les heures qui suivent la capture et celles observées en temps normal.

III. Compléments d'informations pièges photographiques

➤ Descriptif et mise en place des appareils Photographiques

Jusqu'à vingt-cinq appareils ont été déployés simultanément le long de l'A4 et de la LGV Est-européenne. Ces appareils sont assez divers, de marque et de qualité assez hétérogènes. Aussi, pour éviter des corrélations entre appareils, sessions, et types de ponts, la répartition des points suivis par session et des appareils utilisés ont été choisies aléatoirement.

Les appareils ont été disposés au mieux selon les possibilités de terrain : les supports existants (grillage, arbres...) ont été privilégiés, et parfois, un piquet a dû être planté spécialement. La position a été choisie et réglée minutieusement pour permettre la détection du plus grand nombre d'individus, même petits (position basse privilégiée). Les pièges photographiques ont été placés de sorte que l'axe du capteur forme un angle de 45° avec l'axe du passage.

Le matériel photographique a été protégé à l'aide d'un caisson antivol, lui-même protégé par un cadenas et un câble antivol. Une étiquette informative décrivant l'étude était également attachée à l'ensemble.

Tableau 26. Caractéristiques des appareils photographiques utilisés.

Marque	Modèle	Réglage choisi	Temps de déclenchement théorique	Portée de détection théorique
Bushnell	TrophyCam HD 119537	3 photos, intervalle 5 secondes	0.6 seconde	15m
Bushnell	TrophyCam HD 119437	3 photos, intervalle 5 secondes	0.6 seconde	15m
Bushnell	Trophycam Aggressor 119776	3 photos, intervalle 5 secondes	0.2 seconde	25m
Bushnell	Trophycam Aggressor 119876	3 photos, intervalle 5 secondes	0.2 seconde	25m
Cuddeback	AttackIR 1156	1 photo, intervalle 5 secondes	0.25 seconde	18m
Moultrie	m 990i – MCG12634	3 photos, intervalle 5 secondes	0.79 seconde	15m
Moultrie	MFH DGS M80X BLX	3 photos, intervalle 5 secondes	1.5 seconde	12m
Moultrie	m 990i – MCG12596	3 photos, intervalle 5 secondes	0.79 seconde	15m
Bolyguard	MG982K-10M	3 photos, intervalle 5 secondes	1.2 seconde	?

➤ Difficultés techniques et optimisation du suivi

La disparition de pièges photographiques a certainement été le plus gros écueil de ce volet. En effet, 13 appareils ont été subtilisés, ce qui interdisait ensuite la pose d'un nouvel appareil : le passage concerné, même s'il était intéressant du point de vue de la faune, devait être écarté du suivi. Ainsi, un grand nombre d'appareils ayant été subtilisés à l'Ouest de la zone d'étude (secteur de la

Montagne de Reims), certains ponts n'ont pas été suivis afin de ne pas risquer de nouvelles disparitions.

L'étendue de la zone d'étude et le nombre important de passages a nécessité de réduire le temps de suivi à huit mois. Il aurait cependant pu être intéressant de connaître la fréquentation des ponts par les mammifères sur une année complète. Ici, le suivi s'intéressant au Cerf élaphe, le choix est justifié. Il pourrait être intéressant de poursuivre une étude à plus long terme, ciblée sur le comportement des mammifères en général. Celle-ci pourrait alors concerner moins de ponts. Par ailleurs, l'éloignement de la zone d'étude n'a permis qu'un relevé par mois. Lorsque des piles étaient déchargées, les appareils n'ont donc pas fonctionné sur une période plus ou moins longue, avant le relevé suivant. Certaines durées ont donc pu être écourtées, notamment sur les passages avec un fort trafic routier.

Du côté des analyses, la population statistique considérée correspondait bien aux différents ouvrages suivis par piégeage photographique. Le nombre important de variables descriptives a entraîné un nombre parfois très faible de ponts considérés par catégorie (exemple : un seul pont supérieur avec côtés occultés). La significativité des résultats en a donc été altérée, comme cela a été expliqué dans la discussion. Les variables sont souvent fortement corrélées, ce qui rend les analyses et les interprétations compliquées, et qui a nécessité une grande prudence lors des inférences. Par exemple, le type de pont concerné était très corrélé à la fréquentation humaine (une route était considérée comme très fréquentée). Ces variables étaient donc évidemment corrélées au revêtement trouvé sur l'ouvrage, mais également à la largeur de l'ouvrage, etc.

Enfin, le dernier point concerne la réalité de terrain. Il a souvent été difficile de décrire convenablement les ponts selon nos catégories. Parfois, les deux côtés des ouvrages étaient différents, les revêtements étaient difficiles à décrire car souvent complexes (parfois des bandes d'herbe (elle-même parfois interrompue) étaient présentes entre une partie bitumée et une partie en cailloux) ... certaines buses, supposées être peu fréquentées par l'Homme étaient en fait, sur de certaines périodes, visitées la nuit par des humains, interdisant le passage d'animaux, etc. Nous avons toutefois fait au mieux pour décrire rigoureusement les observations et dégager des tendances.

➤ Détail du nombre d'observations par pont, par session, et par espèce

Ponts en jaune : ponts très fréquentés par les mammifères / ponts en bleu : ponts moyennement fréquentés / ponts en blanc : ponts peu fréquentés.

Passage	Richesse	Blaireau	Cerf	Chat forestier	Chevreuil	Chien viverrin	Ecureuil	Fouine	Hérisson	Lièvre	Martes sp.	Martre	Putois	Ragondin	Raton laveur	Renard	Sanglier	NI	Total
<i>Session 1</i>																			
AUT01	5	14		1				3		14	4					14		3	53
AUT04	2				2											1			3
AUT06	3				1					28						4			33
AUT11	2								1							14			15
AUT14	5	1			1						1	1				11	1		16
AUT17	7	95		1	3					20	5	14	1			37		12	188
AUT20	1															1			1
AUT23	1					1													1
AUT28	4	6			5						1					31		7	50
AUT31	0																		0
AUT36	2									5						7			12
AUT41	0																		0
LGV01	1															2			2
LGV04	4	12			1					125						18		11	167
LGV07	4	1			4					14						5		1	25
LGV11	1															30		1	31
LGV15a	2				5											17		4	26
LGV15b	2				20												1		21
LGV19	4		1		4					42						4		1	52
LGV22	0																		0
LGV25	3	5			75											6			86
LGV29	1															4			4
LGV33	6	20			58			5		14	1		1			44		18	161
LGV37	2							1								12			13
<i>Session 2</i>																			
AUT02	1				2														2
AUT05	5	8	1		2					4						64		15	94
AUT08	4									13	1		44			193		18	269
AUT12	3									2			1			9		1	13
AUT13	1	44																	44
AUT14	3	28									1	1				9		2	41
AUT17	6	73		4						2	1	4			1	78		14	177
AUT18	3									6						30	3	1	40
AUT21	4	2								1			5			132			140
AUT28	2	10														9		1	20
AUT29	1															1			1
LGV02	5	16			8			1		22	3					54		3	107
LGV05	2				4					5									9
LGV10	3									23	1					18			42
LGV12	0																		0
LGV14	2							1								28		3	32
LGV15a	5				15				6	2	1	1				51		7	83
LGV15b	6				2		3				2	3		16		19	3	7	55
LGV17	4				20			1		5	1					108		21	156
LGV19	5	1	1		9					15						14		1	41
LGV23	1															4		1	5

Passage	Richesse	Blaireau	Cerf	Chat forestier	Chevreuil	Chien viverrin	Ecureuil	Fouine	Hérisson	Lièvre	Martes sp.	Martre	Putois	Ragondin	Raton laveur	Renard	Sanglier	NI	Total
<i>Session 3</i>																			
AUT03	3							3		13	1					5		3	25
AUT05	6	143			2				1	63			1			249		41	500
AUT09	2				112											1		1	114
AUT14	6	395			5		2				23					62	8	16	511
AUT15	2										3					2		2	7
AUT16	2	16														19		6	41
AUT17	8	7			2					1	1	3	3		1	17	3	2	40
AUT18	4				5					1						5	3		14
AUT19	3	1								1						9		5	16
AUT27	0																		0
AUT28	3	20										1				25		3	49
AUT30	2															3	1		4
AUT34	3	9									1					46		7	63
LGV03	2									13						108		1	122
LGV06	5	1	1		15					4						22		4	47
LGV09	8	55		2	6					665	1		1		2	221		31	984
LGV13	4				6				1	241						45		9	302
LGV15a	5				44			1		4	1	1				54		24	129
LGV15b	2				1											2			3
LGV16	3								1	12						6		7	26
LGV18	4		1		1					1						18		1	22
LGV19	4	1			10					88						32		15	146
LGV21	2									15						1			16
<i>Session 4</i>																			
AUT20b	3						31	2			3	2							38
AUT26	1				2														2
AUT28	4	8		2	1											78			89
AUT33	1															2			2
AUT40	3	2														3	2	1	8
LGV19	5	4			7				1						1	175		8	196
LGV25	3	6			163											9			178

➤ Variables testées dans les modèles

- « **Passage** » : L'identifiant de l'ouvrage étudié.
- « **Session** » : La session sur laquelle se déroule le suivi (de 1 à 4).
- « **Totalind** » : Le nombre total de détections de mammifères sur (ou sous) l'ouvrage au cours de la période de suivi.
- « **Richesse** » : Le nombre d'espèces détectées pour chaque passage.
- « **Blaireaux** », « **Cerfs** », « **Chevreaux** », « **Martres** », etc : Le nombre de passages sur l'ouvrage pour chaque espèce. La variable « **Martressp** » rassemble les Martres et les Fouines dont l'identification n'était pas sûre, les deux espèces étant difficiles à dissocier sur les clichés lors des passages rapides.

- « **CatfreqH** » : La fréquentation humaine de l'ouvrage, divisée en trois catégories : « Peu fréquenté », « Fréquenté » et « Très fréquenté ». La première réunit les passages non fréquentés par l'Homme et ceux essentiellement piétons. La deuxième correspond aux chemins agricoles et aux routes communales alors que la dernière rassemble les routes départementales et nationales.
- « **cam_model** » : Le modèle de piège photographique utilisé.
- « **Dureej** » : La durée totale de suivi en jours pour chaque ouvrage en prenant en compte les pannes de batterie et les vols de pièges photographiques et les périodes de crues pour les rivières.
- « **Type** » : Le type d'ouvrage suivi, divisé en 7 catégories. Par ordre de « naturalité » : « Mixte2 » qui est une rivière avec rives enherbées ; « Rivière » qui est un petit cours d'eau asséché quelques mois par an ; « Buse » représente les buses circulaires d'évacuation d'eau ou de structure similaire ; « Voie ferrée » passant sous l'ILT ; « Chemin » composé par les chemins agricoles avec un revêtement majoritairement caillouteux ; « Mixte » désigne les chemins agricoles accolés à une route bitumée ; « Route » sont les routes bitumées.
- « **Position** » : La position de l'ouvrage par rapport à l'infrastructure linéaire de transport (inférieur ou supérieur) (**Figure 80**).
- « **Largeur** » : La largeur de l'ouvrage en mètres.
- « **Occultation** » : Pour les ouvrages supérieurs, si les côtés sont occultés et bloquent la vue sur l'autoroute ou non.
- « **Revêtement1** » et « **Revêtement2** » décrivant le substrat principal du pont, ainsi que le substrat secondaire s'il existe plusieurs revêtements.
- « **Faciès** » : La morphologie de l'ouvrage par rapport à son environnement, divisé en 3 catégories. « Bosse » lorsque le pont forme un talus pour surplomber l'infrastructure de transport ; « Plat » lorsque le passage est dans la continuité du relief ; « Creux » lorsque celui-ci forme une dépression par rapport au reste.
- « **Veg** » : La végétation sur l'ouvrage et aux abords immédiats, divisée en 4 catégories. De « 0 » à « 4 », la première représentant les passages sans végétation et la dernière les passages installés au milieu d'une végétation abondante voire forestière.
- « **Surface500** » ... : La surface forestière, en m², dans un rayon de 500 m autour de l'ouvrage. Les mêmes calculs ont été utilisés pour des rayons de 250m, 1000m, 1500m, 2000m, 3000m.
- « **PSn** » : La probabilité absolue pour qu'un individu traverse l'ouvrage en fonction des autres ouvrages à proximité sur l'ILT. Cette probabilité a été calculée selon Clevenger *et al.* (2005) qui utilisent la formule : $PS_n = 100 \times ((S_{n-1} + S_{n+1})/2) / ST_{total}$ où S_{n-1} et S_{n+1} sont les distances entre l'ouvrage en question et les ouvrages de chaque côté de celui-ci et ST_{total} la longueur totale de la portion étudiée de l'ILT. Ainsi, plus ce PS_n est élevé, plus l'ouvrage étudié est isolé. L'hypothèse logique étant que les ouvrages isolés ont plus de chances d'être fréquentés.

➤ Détection horaire des espèces

La **Figure 122** montre le nombre d'individus, toutes espèces confondues, détectées par heure sur les ouvrages de franchissement des ILT.

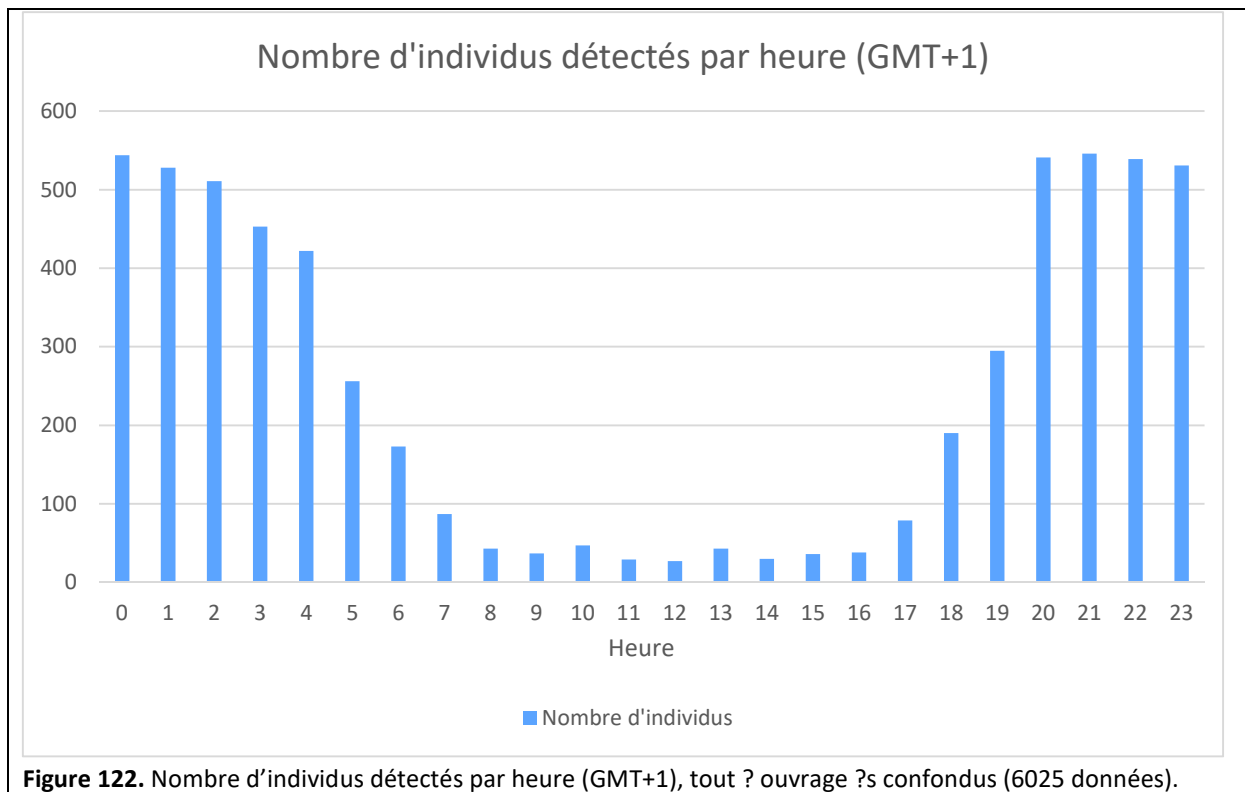


Figure 122. Nombre d'individus détectés par heure (GMT+1), tout ? ouvrage ?s confondus (6025 données).

On note une activité principalement nocturne, avec toutefois quelques observations en journée. A partir de 17h, le nombre d'observations augmente, jusqu'à un palier à 20h, jusqu'à 3h du matin. Puis la fréquentation semble diminuer jusqu'à atteindre un minimum à 8h. Il faut toutefois considérer que cette fréquentation est décrite sans prendre en compte les durées de jour plus courtes en hiver, et le décalage des heures crépusculaires entre l'hiver et l'été.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre, cette fois, les mêmes informations, mais séparées pour les ponts très fréquentés par l'Homme (routes bitumées à trafic important), et les ponts peu fréquentés (buses, chemins, rivière).

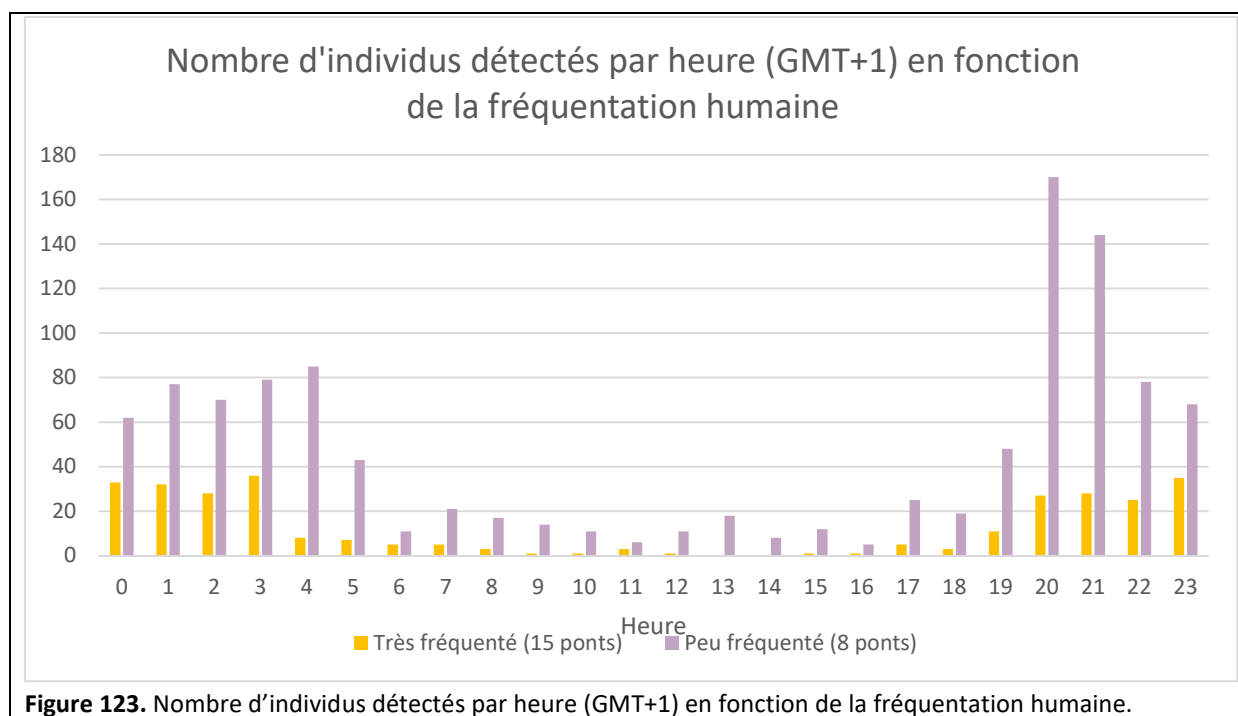


Figure 123. Nombre d'individus détectés par heure (GMT+1) en fonction de la fréquentation humaine.

Outre le fait que les observations sont globalement moins nombreuses (pourtant avec un nombre de ponts plus élevé), on note notamment la quasi-absence d'utilisation des ouvrages en journée chez les ponts très fréquentés. On pourrait également s'attendre à ce que les animaux utilisent ces ponts plus tard dans la nuit, mais ce n'est pas visible ici : les deux catégories sont plus fortement fréquentées par les mammifères à partir de 20h. Toutefois, les ponts peu fréquentés par l'Homme voient un pic d'activité très important à 20h, ce qui correspond à la reprise d'activité des espèces nocturnes. Ce pic fort n'est pas visible sur les ponts à forte fréquentation humaine.

En plus de l'aspect globalement moins favorable des ponts très fréquentés par l'Homme, on note que les mammifères les utilisent malgré tout un peu, mais presque exclusivement la nuit. Un évitement de l'Homme se dessine donc globalement dans nos résultats.

➤ Courbes d'accumulations d'espèces

Le nombre d'espèces détectées est fortement lié à la durée effective de suivi. Plus le suivi est long, plus la probabilité de détecter un grand nombre d'espèce est grand. La détection d'espèces est également le reflet du nombre d'espèces présentes autour de l'ouvrage, dans les différents habitats présents dans un rayon plus ou moins important. Ainsi, théoriquement, au fil du temps, de moins en moins de nouvelles espèces sont contactées, jusqu'à arriver à un « palier » correspondant au maximum d'espèces détectables. Il est toutefois toujours possible de détecter de nouvelles espèces : cela peut arriver à cause d'évènements exceptionnels, d'individus en dispersion hors de leur habitat ou domaine vital, etc. mais ce sont des évènements rares.

Il est intéressant, lors de la mise en place d'un suivi, d'avoir une idée du temps nécessaire pour la détection du plus grand nombre d'espèces, sans toutefois exiger l'exhaustivité et s'attendre à détecter même les évènements rares. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre le nombre

de nouvelles espèces au fil du temps, pour des ouvrages particuliers (temps de suivi long, ouvrages intéressants...).

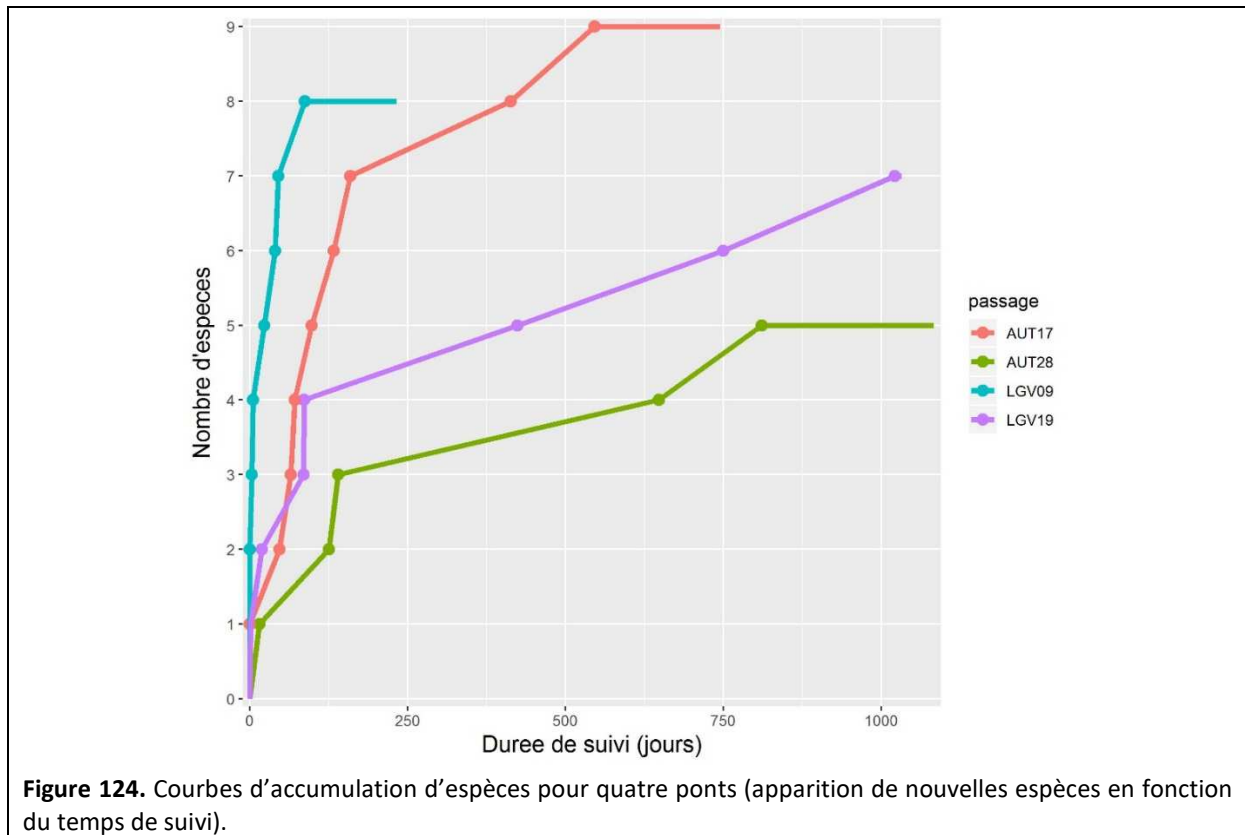


Figure 124. Courbes d'accumulation d'espèces pour quatre ponts (apparition de nouvelles espèces en fonction du temps de suivi).

La majorité des espèces communes sont détectées rapidement, mais cela reste très variable en fonction de la qualité des ponts. La détection des espèces est moins rapide sur les ponts agricoles LGV19 et AUT28, entourés de culture. En se penchant sur les espèces détectées en dernier, on voit qu'il s'agit de la Martre et du Chat forestier pour AUT28, deux espèces forestières éloignées de leurs habitats de prédilection. Pour le pont LGV19, il s'agit du Raton-laveur et du Hérisson, deux des espèces les moins détectées du suivi, qui sont effectivement peu présentes en grandes cultures. Il s'agit donc bien d'espèces rares, qui ne sont toujours représentées que par un ou deux individus. En revanche, les premières espèces détectées sont généralement communes et observées de nombreuses fois (il y a toutefois des exceptions).

On voit que l'apparition de nouvelles espèces est rapide les premiers mois, puis ralentit. Il semblerait qu'un suivi de six mois permettrait de détecter les espèces communes. Un point d'inflexion est visible aux alentours de 150 jours (cinq mois de suivi). Pour se dégager de tout biais saisonnier, un suivi d'un an semble raisonnable, pour détecter toutes les espèces communes (susceptibles d'emprunter les ponts), et éventuellement voir quelques espèces rares. Un suivi de deux ans serait idéal pour détecter le plus grand nombre d'espèces, mais est techniquement plus difficile. Sur le pont LGV19, une nouvelle espèce a été détectée au bout de trois ans, juste avant la fin du suivi. On imagine qu'avec un suivi encore plus long, il aurait été possible de détecter de nouvelles espèces rares.

➤ Analyses passage à faune LGV

La relève mensuelle du piège photographique et le dépouillement des clichés par la FDC 51 permet une analyse partielle de la fréquentation du passage en fonction de la saison et de l'année, pour chaque espèce. Ces données mettent en évidence une fréquentation très variable : entre 0 et 47 photos par mois (moyenne = 6.9, écart type = 9.6) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

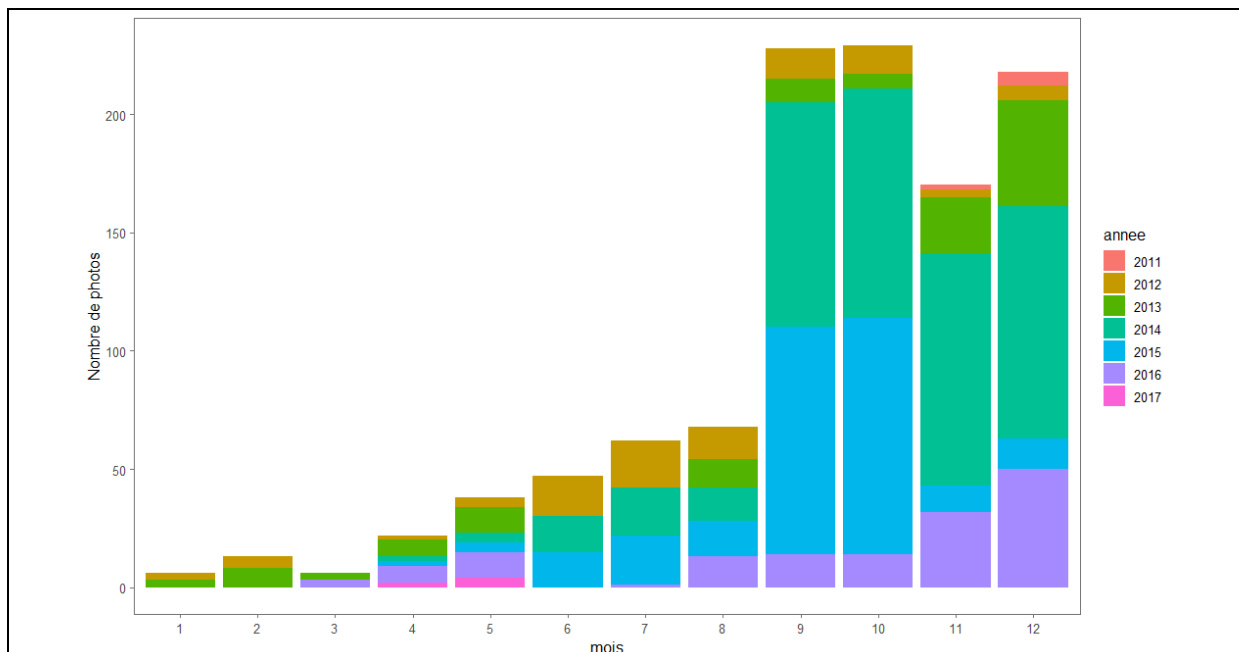


Figure 125. Nombre d'observations de mammifères par mois et par année de suivi.

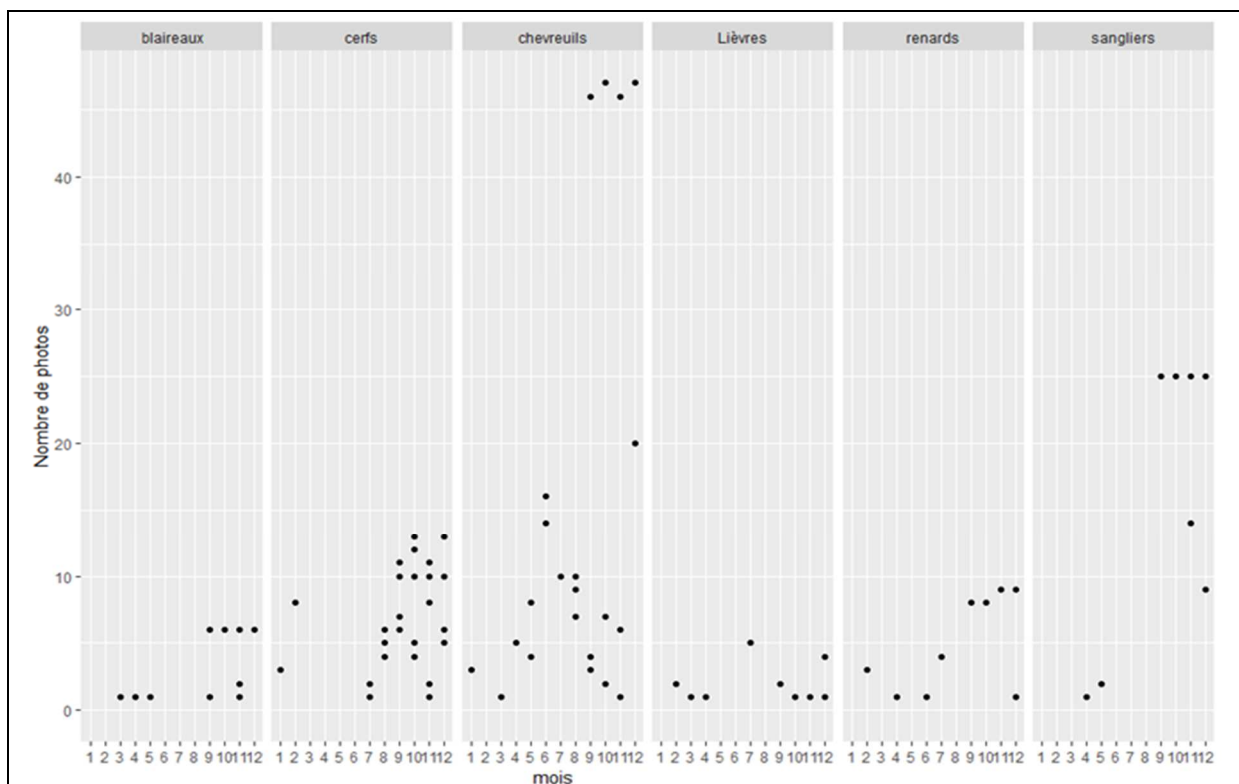


Figure 126. Nombre de photographies par mois, par année, et par espèce.

Le nombre de photos par mois étant une variable discrète quantitative (0, 1, 2, etc.), elle a été analysée statistiquement grâce à un modèle linéaire généralisé (GLM) utilisé avec une loi de Poisson, avec la saison, l'année et l'espèce en variables explicatives. Cette analyse indique que sur ce passage, le printemps et l'été comptent significativement moins de photos qu'en automne (p -value < 0.001), alors que l'hiver en compte davantage (p -value < 0.05). De plus, le nombre de photos est significativement plus élevé en 2014 et 2015 (p -value < 0.001). En revanche, le nombre de photos n'est pas significativement différent entre espèces.

Le sens de passage, renseigné pour les cerfs uniquement, indique que le passage est majoritairement traversé dans le sens Sud-Nord (60 %), et à 40 % dans le sens Nord-Sud.

La fréquentation de cet ouvrage dédié à la faune peut être comparée à la fréquentation observée sur les autres passages non dédiés (ponts) suivis à proximité dans la Marne dans le cadre du présent programme « Corridors » (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La fréquentation est estimée en divisant le nombre de photos par la durée de suivi (en jours).

Tableau 27. Comparaison par espèce du Passage à faune de Villers-en-Argonne (suivi par la FDC 51) et des ponts non-dédiés suivis en plaine (étude « Corridors »).

Espèce	Passage a faune de Villers-en-Argonne	Ponts zone d'étude « plaines »	Différence (Wilcoxon test)
Renard	0.03 ± 0.08	0.16 ± 0.25	< 0.001
Lièvre	0.02 ± 0.04	0.13 ± 0.60	0.11
Chevreuil	0.25 ± 0.43	0.07 ± 0.30	< 0.001
Cerf	0.10 ± 0.13	0.0003 ± 0.001	< 0.001
Blaireau	0.02 ± 0.06	0.08 ± 0.40	0.17
Sanglier	0.09 ± 0.24	0.002 ± 0.008	0.07

En faisant l'hypothèse d'une détection des animaux similaires entre les suivis du passage et des ponts, cette comparaison indique une fréquentation très significativement plus élevée du passage à faune par le Cerf et le Chevreuil. A l'inverse, la fréquentation du renard est très significativement supérieure sur les ponts. En revanche, aucune différence significative n'est observée pour le Lièvre, le Blaireau, ni pour le Sanglier (à noter pour ce dernier que sa fréquentation faible sur les ponts est proche du seuil de significativité). Ces résultats mettent en avant la plus grande efficacité du passage à faune de Villers par rapport aux ponts pour les espèces forestières, et notamment pour le grand gibier. En revanche, ce passage ne semble pas nécessairement plus efficace qu'un pont pour les espèces ubiquistes et fréquentant les milieux ouverts.