

ÉTUDE COMPARATIVE DE TROIS MÉTHODES D'INVENTAIRE DES MICROMAMMIFÈRES EN WALLONIE

ADÈLE PHILIPPOT

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023-2024

PROMOTEUR : LICOPPE A.

"Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique¹ de Gembloux Agro-Bio Tech."

"Le présent document n'engage que son auteur."

¹ Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le promoteur membre du personnel enseignant de GxABT.

ÉTUDE COMPARATIVE DE TROIS MÉTHODES D'INVENTAIRE DES MICROMAMMIFÈRES EN WALLONIE

ADÈLE PHILIPPOT



TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023-2024

PROMOTEUR : LICOPPE A.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Chronogramme de l'inventaire de terrain.	5
ANNEXE 2 : Cartographie des transects de 100 mètres de chacun des 12 sites	6
ANNEXE 3 : Caractéristiques environnementales relevées sur les 12 sites.....	8
ANNEXE 4 : Fiche descriptive de <i>Neomys anomalus</i>	9
ANNEXE 5 : Tableau de la richesse taxonomique totale détectée par les pièges photographiques.	10
ANNEXE 6 : Tableau de la richesse taxonomique des mammifères détectée par les pièges photographiques	11
ANNEXE 7 : Tableau de la richesse taxonomique des micromammifères détectée par les pièges photographiques.	11
ANNEXE 8 : Tableau de la richesse spécifique totale des micromammifères détectée par les pièges Sherman.	11
ANNEXE 9 : Pourcentage de détection par niveau taxonomique (espèce, genre et famille) par les pièges photographiques.....	12
ANNEXE 10 : Courbe d'accumulation du nombre de taxons de micromammifères détectée par les pièges photographiques et les pièges Sherman par site.	13
ANNEXE 11 : Courbe d'accumulation moyenne du nombre de taxons de micromammifères, à l'exception de <i>Rattus norvegicus</i> , détectés sur les 12 sites inventoriés.	14
ANNEXE 12 : Tableau reprenant les abondances d' <i>Apodemus sylvaticus</i> obtenues avec le modèle <i>Shnabel</i> comprenant une variation temporelle et une hétérogénéité pour la variante de Poisson 2 (Mth Poisson 2) pour les données collectées avec les pièges Sherman.....	15
ANNEXE 13 : Tableau reprenant les indices d'abondance relative (RAI) calculés à l'aide des données collectées avec les pièges photographiques adaptés aux micromammifères.	15
ANNEXE 14 : Exemple de résultats d'analyse d'échantillon via ddPCR. Ce graphique représente l'intensité de fluorescence en fonction du nombre de gouttelettes positives (Baron et al., 2020; Droplet Digital PCR (ddPCR) Technology Bio-Rad, s. d.). Le nuage de points verts correspond aux gouttelettes positives, la ligne mauve est le seuil d'intensité (fixé à 3000 et 2500) et le nuage de points gris correspond aux gouttelettes négatives.....	15
ANNEXE 15 : Cartographie des sites suivis au printemps 2024 dans lesquels des musaraignes du genre <i>Neomys</i> ont été détectées, toutes méthodes confondues.	16
ANNEXE 16 : Détails des coûts des méthodes d'inventaire par pièges photographiques adaptés, par pièges vivants Sherman et par ADN environnemental.	17
ANNEXE 17 : Comparaison des précipitations mensuelles (2023-2024) avec les valeurs normales (1991-2020) et les valeurs extrêmes (1991-2023) (IRM, 2024a).....	18
ANNEXE 18 : Influence des conditions météorologiques sur le nombre de détections par les pièges Sherman et les pièges photographiques et sur la mortalité dans les pièges Sherman.	19
ANNEXE 19 : Tableau des mortalités dans les captures avec les pièges Sherman.	20

ANNEXE 1 : Chronogramme de l'inventaire de terrain.

[illegible]

ANNEXE 2 : Cartographie des transects de 100 mètres de chacun des 12 sites- Bleu : Pièges photographiques ; Vert : Pièges vivants Sherman. ESPG : 31370. Source : Orthophoto 2021 (WalOnMap) et production de l'auteur.

SITE 1



SITE 2



SITE 3



SITE 4



SITE 5



SITE 6



SITE 7



SITE 8



SITE 9



SITE 10



SITE 11



SITE 12



ANNEXE 3 : Caractéristiques environnementales relevées sur les 12 sites. La hauteur de la berge a été relevée au-dessus du niveau de l'eau ; L'inclinaison de la berge a été relevée selon 4 niveaux (nulle, faible, moyenne, abrupte) ; L'humidité du site a été déterminée selon 4 niveaux (nulle, faible, moyenne, forte).

Site	Températures maximales (°C)	Températures minimales (°C)	Températures moyennes (°C)	Précipitations (mm)	Largeur (cm)	Profondeur (cm)	Hauteur berge (cm)	Inclinaison berge (0-4)	Boue (%)	Gravier (%)	Pierre (%)	Humidité (0-4)	Végétation aquatique (%)	Richesse spécifique végétation
1	7,33	1	4,17	1,11	120	20,5	35,4	2,6	20	80	0	1	0	30
2	7,33	1	4,17	1,11	4350	14,8	18,5	1,2	100	0	0	2	50	8
3	7,33	1	4,17	1,11	2300	35,14	24,17	1,43	100	0	0	2	50	6
4	14,56	8,22	11,39	1,78	65	16,2	16,9	1	0	85	15	1,6	10	17
5	14,56	8,22	11,39	1,78	1800	24,5	10,8	1	100	0	0	1,65	0	18
6	14,56	8,22	11,39	1,78	157	19,7	43,1	2,1	10	20	70	1	15	33
7	15,44	10	12,72	2,44	550	38,1	69,8	3	60	10	30	1	0	17
8	15,44	10	12,72	2,44	267	28,7	28,1	1,1	100	0	0	2,4	15	16
9	15,44	10	12,72	2,44	650	25,3	84,7	2,9	100	0	0	1	0	10
10	16,14	10,14	13,14	0,43	3000	39,8	21,9	1,1	50	50	0	1	0	20
11	16,14	10,14	13,14	0,43	1860	19,15	28,5	1,5	50	0	50	1,15	20	30
12	16,14	10,14	13,14	0,43	2150	24,35	32,5	1,7	100	0	0	1,45	0	29

ANNEXE 4 : Fiche descriptive de *Neomys anomalus*.

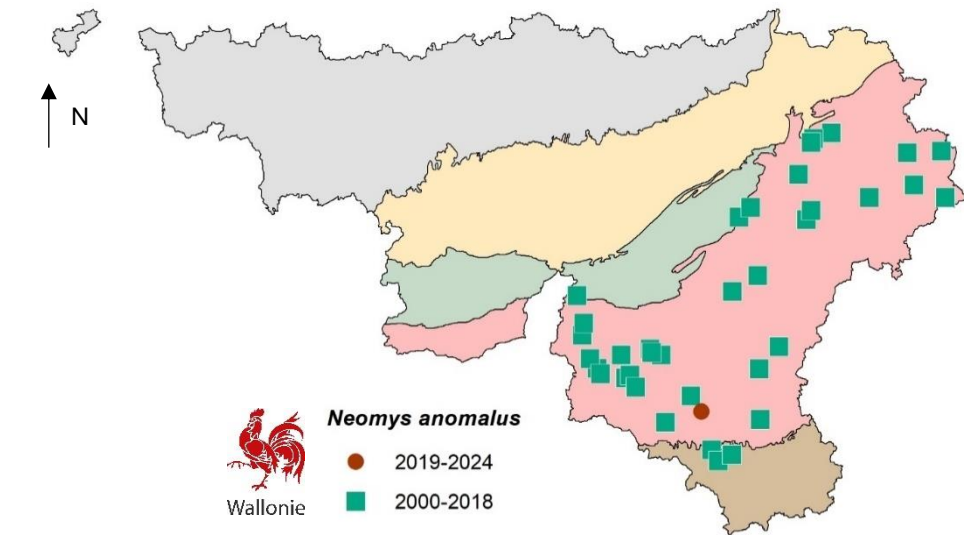
Musaraigne de
Miller
Neomys anomalus



CARACTERISTIQUES
MORPHOLOGIQUES

Longueur tête-corps : entre 71 et 81 mm.
Autres caractéristiques : La Crossope de Miller ressemble fortement à la Crossope aquatique et il est aisé de les confondre (Dupuy et al., 2023). Certains traits permettent néanmoins de les différencier. La musaraigne de Miller est plus petite et a des adaptations morphologiques moins développées à la vie aquatique avec des cils natatoires uniquement présent à l’extrémité de la queue (Dupuy et al., 2023; Libois, 1975).

REPARTITION



Distribution des observations validées de *Neomys anomalus* en Wallonie ; Source : OFFH - Observations.be

HABITAT

Les deux espèces de *Neomys*, partagent les mêmes niches écologiques (FRAPNA, 1997). Cependant, lorsqu’elles sont en sympatrie, la musaraigne de Miller soit moins liée aux milieux aquatiques et est repoussée dans des habitats suboptimaux (Libois, 2006). *N. anomalus* est plus généraliste, plus adaptée à la vie terrestre et généralement limitée aux altitudes supérieures à 400 mètres (FRAPNA, 1997; Libois, 1975, 1986, 2006). Elle est largement moins répandue et abondante que *Neomys fodiens* (Dupuy et al., 2023; Libois, 2006). En Belgique, la crossope de Miller n’a été observée que dans la région ardennaise (Libois, 2006).

ANNEXE 5 : Tableau de la richesse taxonomique totale détectée par les pièges photographiques.

RICHESSSE TAXONOMIQUE TOTALE PIEGES PHOTOGRAPHIQUES	
NOM LATIN	NOM FRANÇAIS
<i>Anas platyrhynchos</i>	Canard colvert
<i>Apodemus sp.</i>	Mulot sp.
<i>Ardea cinerea</i>	Héron cendré
<i>Branta canadensis</i>	Bernache du Canada
<i>Capreolus capreolus</i>	Chevreuil
<i>Castor fiber</i>	Castor
<i>Columba palumbus</i>	Pigeon ramier
<i>Crocidura sp.</i>	Musaraigne sp.
<i>Equus caballus</i>	Cheval
<i>Erithacus rubecula</i>	Rouge gorge
<i>Felis catus</i>	Chat domestique
<i>Martes foina</i>	Fouine
<i>Microtus agrestis</i>	Campagnol agreste
<i>Microtus arvalis</i>	Campagnol des champs
<i>Motacilla cinerea</i>	Bergeronnette des ruisseaux
<i>Myocastor coypus</i>	Ragondin
<i>Passer domesticus</i>	Moineau domestique
<i>Phylloscopus collybita</i>	Pouillot véloce
<i>Poecile palustris</i>	Mésange nonnette
<i>Procyon lotor</i>	Raton Laveur
<i>Prunella modularis</i>	Accenteur mouchet
<i>Rattus norvegicus</i>	Rat d'égouts
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Troglodyte
<i>Turdus merula</i>	Merle
<i>Vulpes vulpes</i>	Renard
Total	25

ANNEXE 6 : Tableau de la richesse taxonomique des mammifères détectée par les pièges photographiques.

RICHESSSE TAXONOMIQUE MAMMIFERES PIEGES PHOTOGRAPHIQUES	
NOM LATIN	NOM FRANÇAIS
<i>Apodemus sp.</i>	Mulot sp.
<i>Apodemus sylvaticus</i>	Mulot sylvestre
<i>Capreolus capreolus</i>	Chevreuril
<i>Castor fiber</i>	Castor
<i>Crocidura sp.</i>	Musaraigne sp.
<i>Equus caballus</i>	Cheval
<i>Felis catus</i>	Chat domestique
<i>Martes foina</i>	Fouine
<i>Microtus agrestis</i>	Campagnol agreste
<i>Microtus arvalis</i>	Campagnol des champs
<i>Myocastor coypus</i>	Ragondin
<i>Procyon lotor</i>	Raton laveur
<i>Rattus norvegicus</i>	Rat d'égouts
<i>Vulpes vulpes</i>	Renard
Total	14

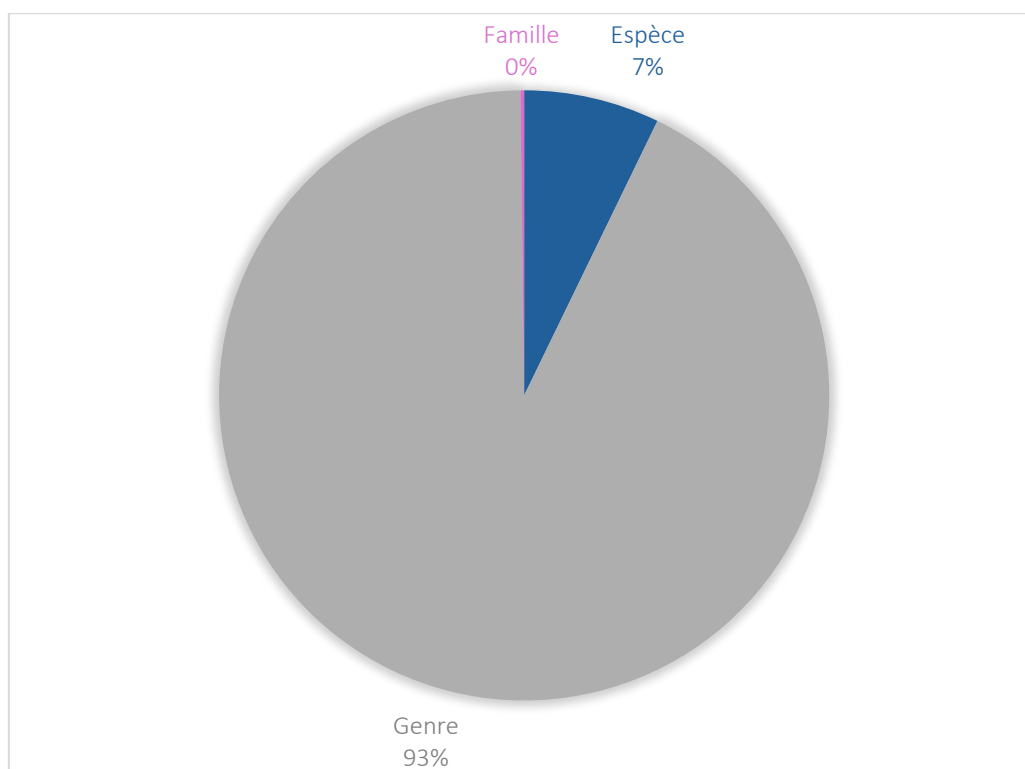
ANNEXE 7 : Tableau de la richesse taxonomique des micromammifères détectée par les pièges photographiques.

RICHESSSE TAXONOMIQUE MICROMAMMIFERES PIEGES PHOTOGRAPHIQUES	
NOM LATIN	NOM FRANÇAIS
<i>Apodemus sp.</i>	Mulot sylvestre
<i>Crocidura sp.</i>	Musaraigne sp.
<i>Microtus agrestis</i>	Campagnol agreste
<i>Microtus arvalis</i>	Campagnol des champs
<i>Rattus norvegicus</i>	Rat d'égouts
Total	5

ANNEXE 8 : Tableau de la richesse spécifique totale des micromammifères détectée par les pièges Sherman.

RICHESSSE SPECIFIQUE MICROMAMMIFERES PIEGES SHERMAN	
NOM LATIN	NOM FRANÇAIS
<i>Apodemus sylvaticus</i>	Mulot sylvestre
<i>Crocidura russula</i>	Musaraigne musette
<i>Microtus agrestis</i>	Campagnol agreste
<i>Neomys anomalus</i>	Musaraigne de Miller
<i>Sorex araneus</i>	Musaraigne carrelet
<i>Sorex minutus</i>	Musaraigne pygmée
Total	6

ANNEXE 9 : Pourcentage de détection par niveau taxonomique (espèce, genre et famille) par les pièges photographiques.

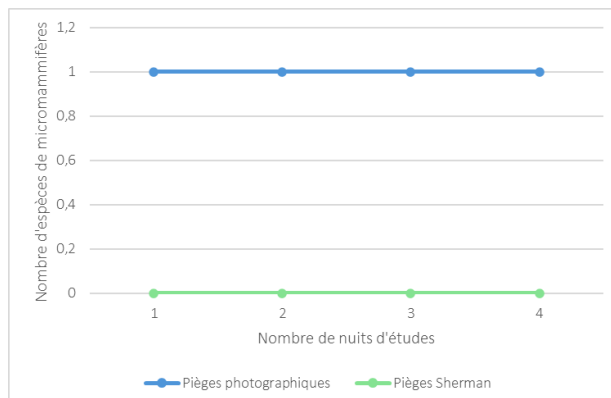


ANNEXE 10 : Courbe d'accumulation du nombre de taxons de micromammifères détectée par les pièges photographiques et les pièges Sherman par site.

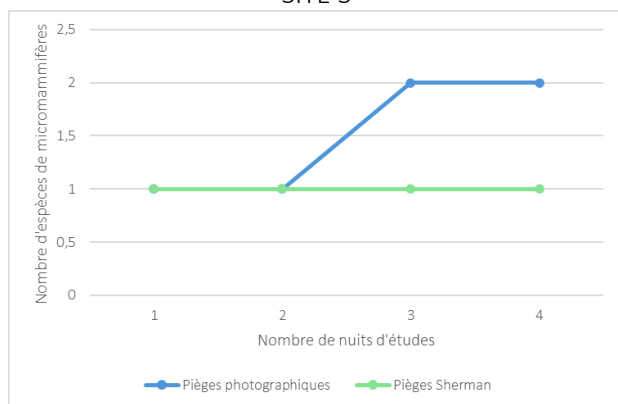
SITE 1



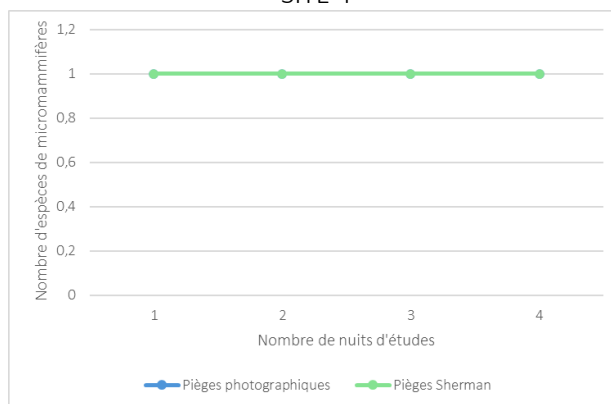
SITE 2



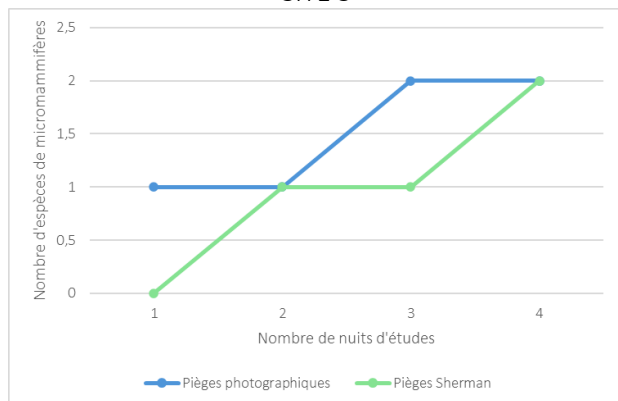
SITE 3



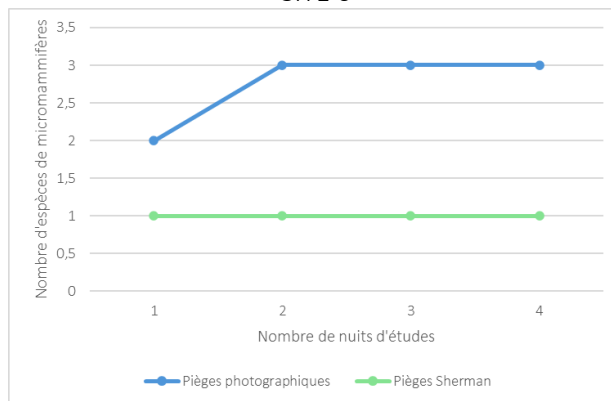
SITE 4



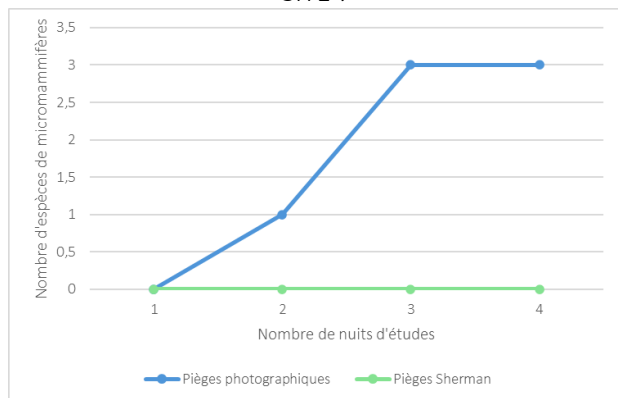
SITE 5



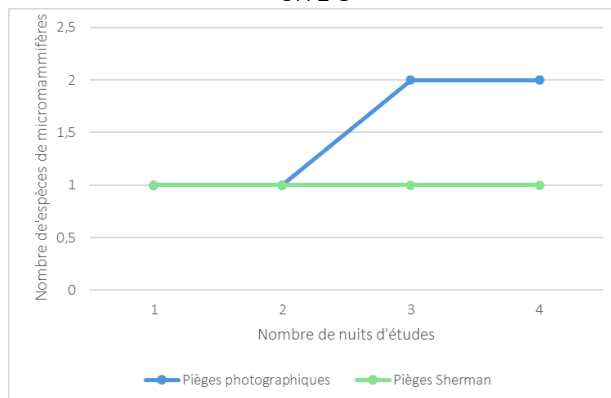
SITE 6



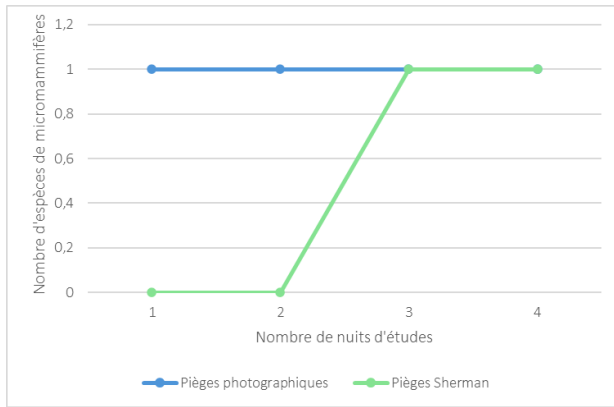
SITE 7



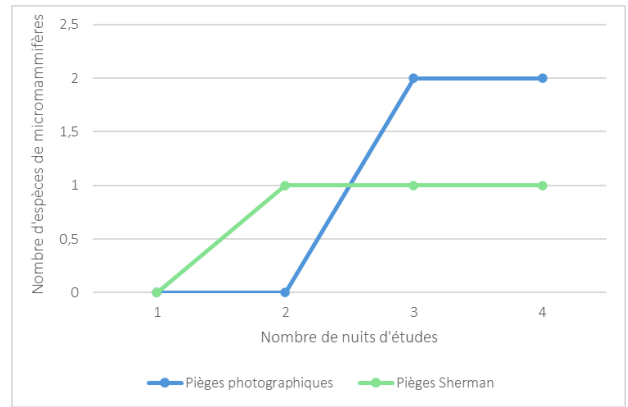
SITE 8



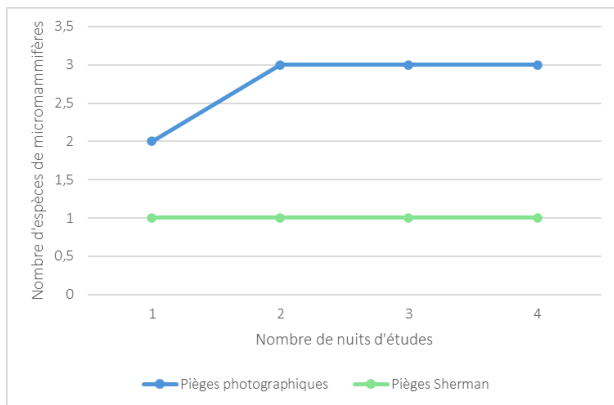
SITE 9



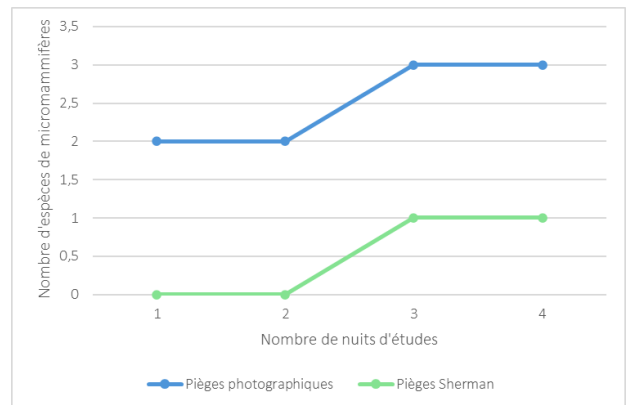
SITE 10



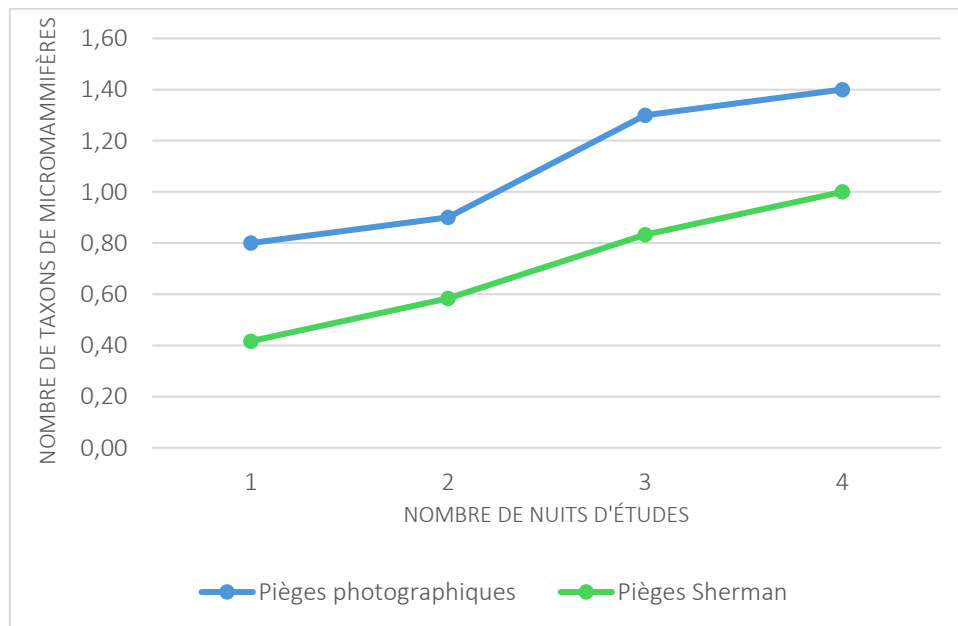
SITE 11



SITE 12



ANNEXE 11 : Courbe d'accumulation moyenne du nombre de taxons de micromammifères, à l'exception de *Rattus norvegicus*, détectés sur les 12 sites inventoriés.



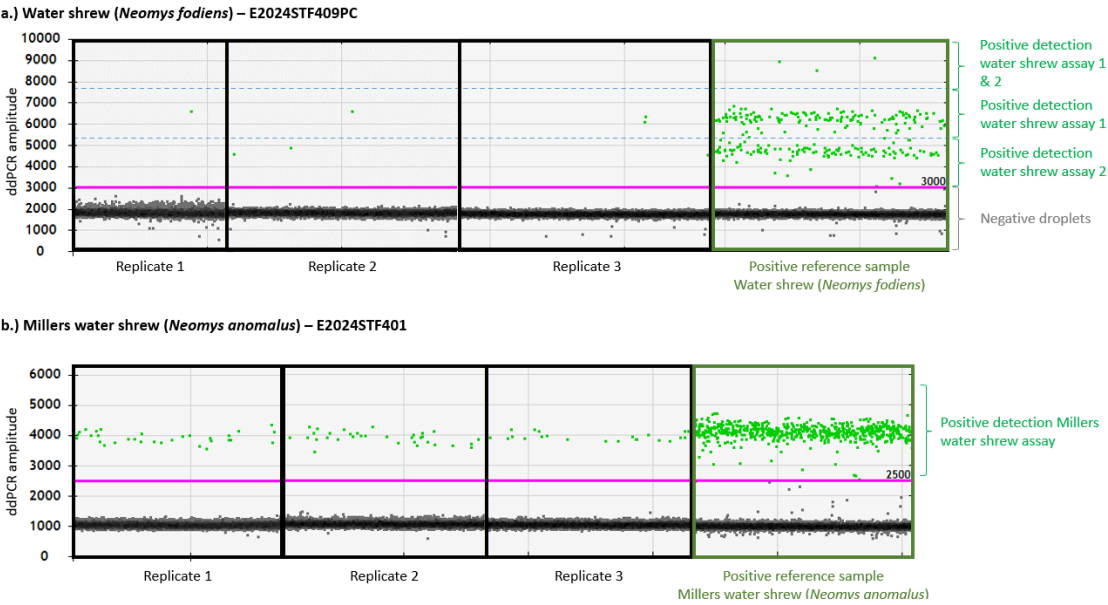
ANNEXE 12 : Tableau reprenant les abondances d'*Apodemus sylvaticus* obtenues avec le modèle *Shnabel* comprenant une variation temporelle et une hétérogénéité pour la variante de Poisson 2 (Mth Poisson 2) pour les données collectées avec les pièges Sherman.

SITES	ABONDANCE	ERREUR STANDARD	DEVIANCE	AIC	BIC	AVERTISSEMENTS
3	25,5	12,4	10,13	50,728	57,118	#1 et #3
4	11	1,4	9,76	44,254	48,233	#1 et #3
5	3	0,9	5,93	30,543	21,53	#1 et #3
6	3	0,9	5,93	30,543	21,53	#1 et #3
8	4	0,2	9,367	37,367	31,23	#1 et #3
11	9,1	3,3	13,228	45,841	45,301	#3

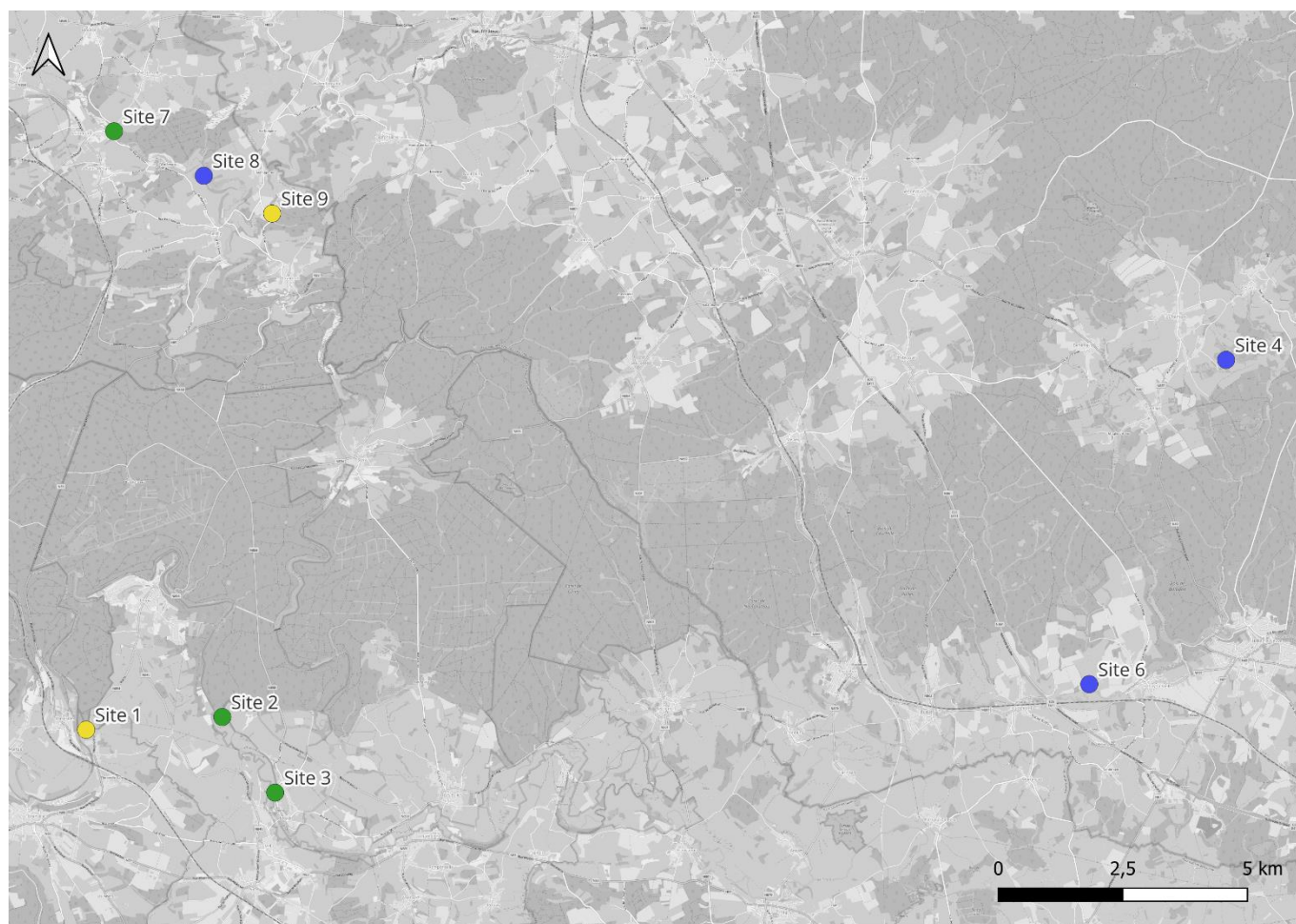
ANNEXE 13 : Tableau reprenant les indices d’abondance relative (RAI) calculés à l’aide des données collectées avec les pièges photographiques adaptés aux micromammifères.

SITES	<i>Apodemus sp.</i>		<i>Crocidura sp.</i>		<i>Microtus agrestis</i>		<i>Microtus arvalis</i>		<i>Rattus norvegicus</i>		<i>Soricidae</i>	
	n	RAI	n	RAI	n	RAI	n	RAI	n	RAI	n	RAI
1	2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	11	0,55	-	-
3	49	2,45	-	-	-	-	-	-	4	0,2	-	-
4	164	8,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	14	0,7	-	-	-	-	-	-	2	0,1	-	-
6	27	1,35	-	-	-	-	1	0,05	5	0,25	-	-
7	2	0,1	-	-	1	0,05	-	-	5	0,25	-	-
8	22	1,1	-	-	-	-	-	-	2	0,1	-	-
9	6	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1	0,05	1	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
11	113	5,65	-	-	-	-	-	-	2	0,1	1	0,05
12	11	0,55	1	0,05	-	-	-	-	3	0,15	-	-

ANNEXE 14 : Exemple de résultats d’analyse d’échantillon via ddPCR. Ce graphique représente l’intensité de fluorescence en fonction du nombre de gouttelettes positives (Baron et al., 2020; Droplet Digital PCR (ddPCR) Technology | Bio-Rad, s. d.). Le nuage de points verts correspond aux gouttelettes positives, la ligne mauve est le seuil d’intensité (fixé à 3000 et 2500) et le nuage de points gris correspond aux gouttelettes négatives.



ANNEXE 15 : Cartographie des sites suivis au printemps 2024 dans lesquels des musaraignes du genre *Neomys* ont été détectées, toutes méthodes confondues. Légende : Vert : *Neomys anomalus* ; Bleu : *Neomys fodiens* ; Jaune : *Neomys anomalus* + *Neomys fodiens*. ESPG : 31370. Source : Google maps et production de l'auteur.



ANNEXE 16 : Détails des coûts moyens des méthodes d'inventaire par pièges photographiques adaptés, par pièges vivants Sherman et par ADN environnemental.

Détails des coûts moyens pour l'inventaire par pièges photographiques à l'échelle d'un site

Matériel			
	Prix unitaire	Quantité	Total
Matériel photo	185 €	5	925 €
Matériel boîtier	6 €	5	30 €
Consomables (piles, cartes SD, appât)	22 €	5	108 €
TOTAL			1.063 €
Carburant			
Nombre de trajets	Distance (km)	Coût par km	Total
4	89,53	0,4 €	38,19 €
Salaires			
	Temps de travail	Salaire horaire	Total
BAC FEDER	10 :05 :16	42 €	423,51 €

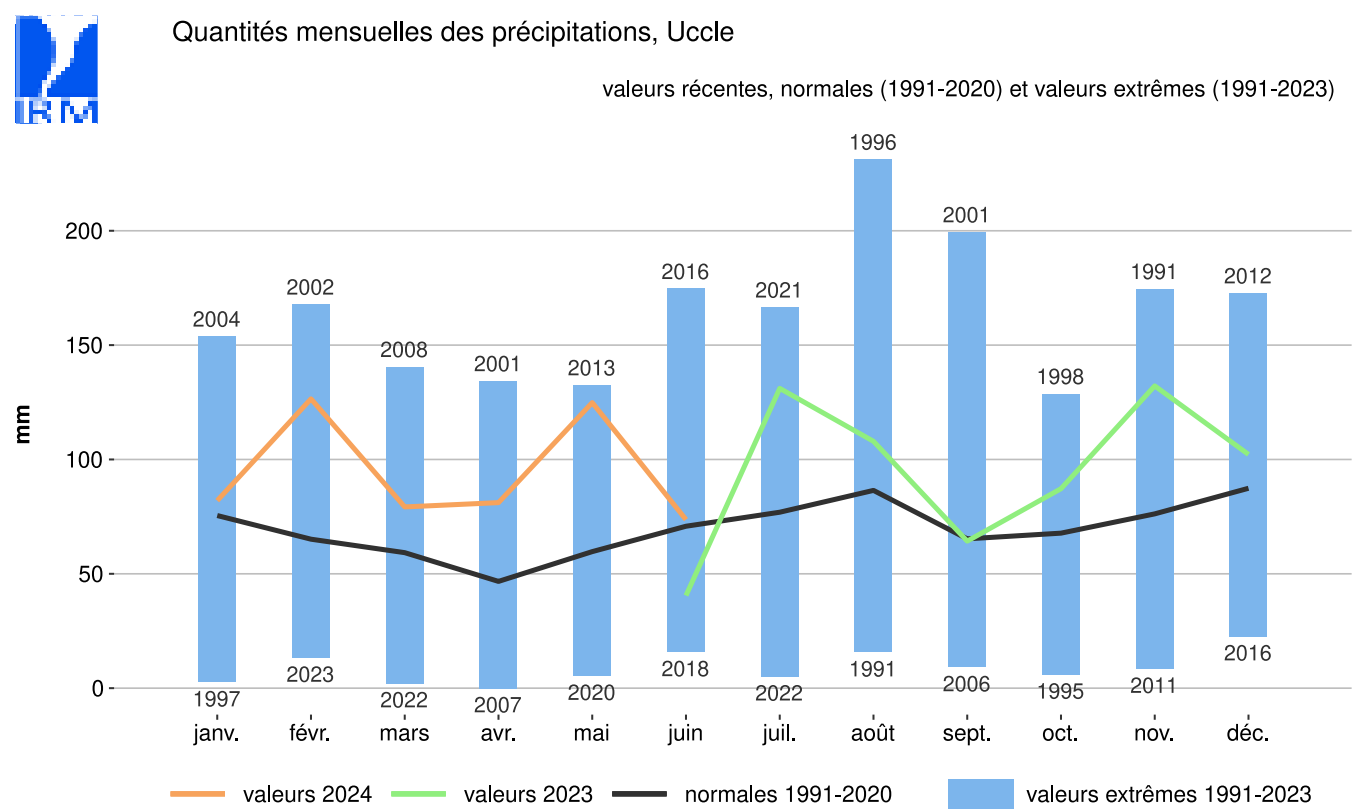
Détails des coûts moyens pour l'inventaire par pièges Sherman à l'échelle d'un site

Matériel			
	Prix unitaire	Quantité	Total
Sherman	35 €	20	700 €
Consomables (ouate hydrophuge, appât)	0 €	20	3 €
TOTAL			703 €
Carburant			
Nombre de trajets	Distance (km)	Coût par km	Total
18	402,90	0,4 €	171,84 €
Salaires			
	Temps de travail	Salaire horaire	Total
BAC FEDER	11 :30 :35	42 €	483,05 €

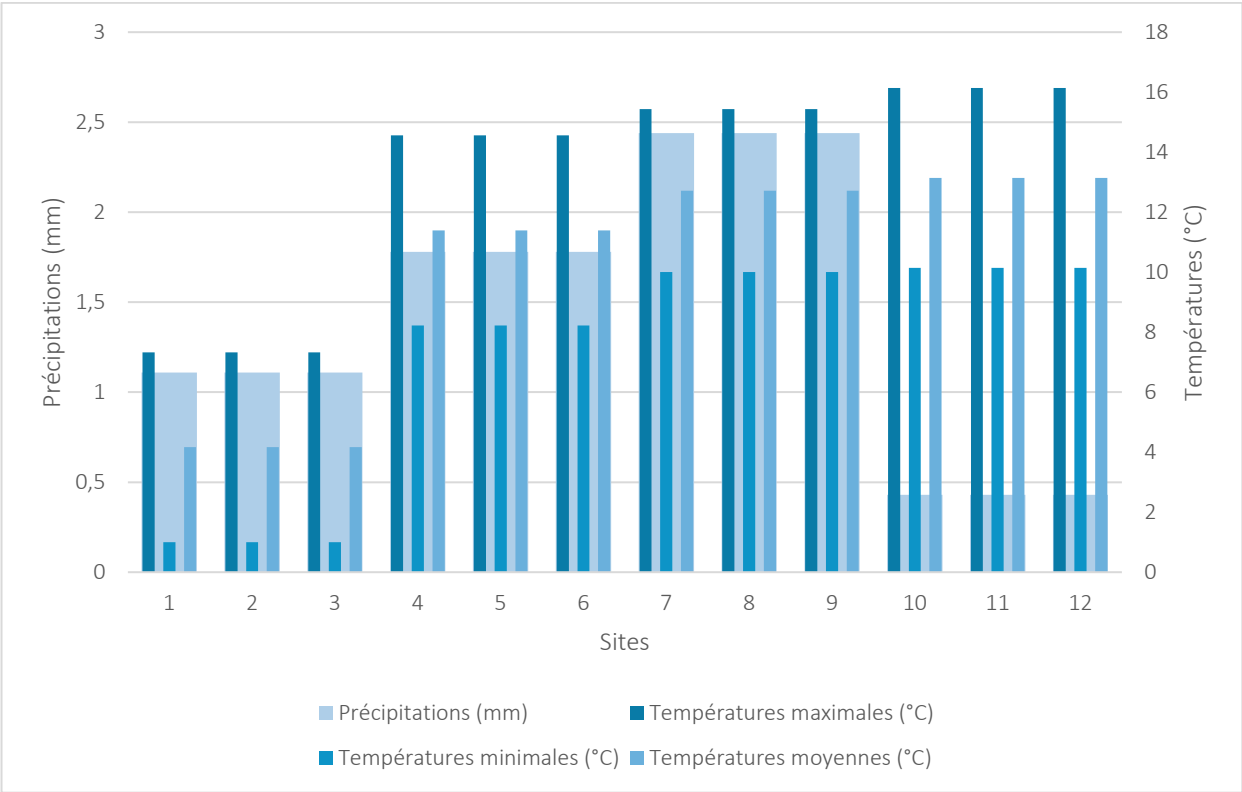
Détails des coûts moyens pour l'inventaire par ADN environnemental à l'échelle d'un site

Matériel et analyse			
	Prix unitaire	Quantité	Total
ADNe eau	191 €	1	191 €
ADNe sol	162 €	1	162 €
ADNe sol phosphate	165 €	1	165 €
Carburant			
Nombre de trajets	Distance (km)	Coût par km	Total
2	44,74	0,4 €	19,09 €
Salaires récolte échantillons			
	Temps de travail	Salaire horaire	Total
BAC FEDER	01 :59 :55	42 €	84 €

ANNEXE 17 : Comparaison des précipitations mensuelles (2023-2024) avec les valeurs normales (1991-2020) et les valeurs extrêmes (1991-2023) (IRM, 2024a).



ANNEXE 18 : Influence des conditions météorologiques sur le nombre de détections par les pièges Sherman et les pièges photographiques et sur la mortalité dans les pièges Sherman.



SITES	Nombre de détection par PSH	Nombre de détections par PP	Nombre d'individus retrouvé mort dans les PSH
1	2	2	1
2	0	12	0
3	19	57	0
4	13	210	0
5	5	16	0
6	4	35	0
7	0	8	0
8	6	26	0
9	1	6	1
10	3	3	0
11	11	125	0
12	2	15	0

ANNEXE 19 : Tableau des mortalités dans les captures avec les pièges Sherman.

<i>ESPECES</i>	<i>TOTAL CAPTURE</i>	<i>MORTALITE TOTALE</i>	<i>POURCENTAGE MORTALITE</i>
<i>Apodemus sylvaticus</i>	57	0	0 %
<i>Crocidura russula</i>	5	0	0 %
<i>Microtus agrestis</i>	1	0	0 %
<i>Neomys anomalus</i>	1	1	100 %
<i>Sorex araneus</i>	1	1	100 %
<i>Sorex minutus</i>	1	0	0 %
TOTAL	66	2	3,03%