

Table des matières

Remerciements	1
I) Contexte général	2
A. Présentation de la structure d'accueil	2
B. Présentation de la mission	3
1) Parc Naturel des Hautes Fagnes-Eifel.....	3
2) Vipère péliade (<i>Vipera berus</i>).....	3
3) Contexte de la mission	6
II) Déroulé de la mission	7
A) Stations d'étude	7
B) CMR (Capture Marquage Recapture).....	9
C) Analyse des données	11
1) Détermination des effectifs.....	11
2) Détermination des densités	11
3) Mise en évidence des déplacements individuels	13
4) Analyse des points d'observations	13
5) Autres analyses :.....	14
III) Résultats de l'étude	14
A) Récapitulatif des sessions de capture	14
B) Habitats et conditions environnementales privilégiées.....	15
1) Végétation	15
2) Conditions météorologiques	16
C) Caractéristiques de la population : phénotypes et sexes.....	18
1) Distribution des sexes au cours de l'année :	18
2) Résultats sur les phénotypes :.....	18
D) Estimations des effectifs et densités de la population.....	19

1) Effectif de population	19
2) Densité de population	19
E) Déplacements des individus	20
F) Points d'observations au cours de l'année.....	21
IV) Discussion de l'étude	23
A) Habitats et conditions environnementales privilégiées.....	23
1) Végétation	23
2) Conditions météorologiques	23
B) Caractéristiques de la population : phénotypes et sexes.....	24
1) Sexes.....	24
2) Phénotypes.....	25
C) Estimations et densité.....	25
A) Estimation.....	25
B) Densité.....	26
V) Conclusion de l'étude	26
VI) Conclusion du stage.....	27
Bibliographie :.....	28
Annexes :	31

Table des figures :

Figure 1 : Logo du Parc Naturel Hautes Fagnes-Eifel (Source : botrange.be)	2
Figure 2 : Variabilité phénotypique chez Vipera berus : 1 = mâle normal / 2 = mâle mélanique / 3 = mâle mélanisant / 4 = femelle normale (Auteur : CUENOT T.)	4
Figure 3 : Ecaillure céphalique chez Vipera berus (Auteur : CUENOT T. ; Source : DE WITTE, 1948)	4
Figure 4 : Répartition de la vipère péliade en Wallonie avant 2001 (a) et entre 2001 et 2011 (b) (Paquay & Graitson 2007).	6
Figure 5 : Parc Naturel des Hautes Fagnes-Eifel et stations de CMR (Auteur : CUENOT T. ; SOURCES : ORTHO 2020, Data.gov.be, Natagora).....	8
Figure 6 : Exemple de détermination de codes d'identification (Auteur : CUENOT T. ; Source : Benson, 1999).....	10
Figure 7 : Exemple de détermination de code CMR sur mue (Auteur : CUENOT T. ; Source : Benson, 1999).....	10
Figure 8 : Surfaces favorables à la reproduction de la vipère péliade (Auteur : CUENOT T. ; Sources : Géoportail Wallonie, ORTHO 2020)	12
Figure 9 : Conditions de calcul des distances de déplacements où φA et φB représentent les latitudes et λA et λB les longitudes (Source : IGN).....	13
Figure 10 : Répartition du nombre d'observations en fonction de la végétation (Auteur : CUENOT T.)	15
Figure 11 : Nombre d'observations en fonction du sexe et des classes d'ensoleillement (*pondéré par le nombre de sessions) (Auteur : CUENOT T.).....	16
Figure 12 : Nombre d'observations en fonction du sexe et de la température (*pondéré par le nombre de sessions) (Auteur : CUENOT T.).....	16
Figure 13 : Nombre d'observations en fonction du sexe et de la vitesse du vent (*pondéré par le nombre de sessions) (Auteur : CUENOT T.).....	16
Figure 14 : Courbe de tendance et son intervalle de confiance à 95% du nombre d'observations en fonction de l'ensoleillement (Auteur : CUENOT T.).....	17
Figure 15 : Répartition des observations en fonction du sexe et du mois de l'année (Auteur : CUENOT T.).....	18
Figure 16 : Répartition des phénotypes en fonction du sexe des individus (Auteur : CUENOT T.).....	18
Figure 17 : Dispersion de deux individus entre les deux stations de Aachener Kreuz (Auteur : CUENOT T. ; Source : ORTHO 2020)	20

Figure 18 : Observations mensuelles sur la station de Enthenpfuhl (Auteur : CUENOT T.) 21

Figure 19 : Observations mensuelles sur les stations du Brackvenn Centre (haut gauche), du Brackvenn Ouest (haut droit), du Brackvenn Nord (bas gauche) et de Aachener Kreuz (Auteur : CUENOT T. ; Source : ORTHO 2020) 22

Table des tableaux :

Tableau 1 : Récapitulatif des paramètres principaux de l'étude (*les sessions sans capture n'ont pas été comptabilisées)	14
Tableau 2 : Résultat des tests de corrélation de Spearman (*tests réalisés en excluant la valeur aberrante 50% éricacées 50% molinie) (Auteur : CUENOT T.)	15
Tableau 3 : Résultats des différents GLMer (*PC1 et PC2 sont les composantes principales issues de l'ACP) (Auteur : CUENOT T.)	17
Tableau 4 : Estimations de population du Programme CAPTURE pour l'intégralité des captures (Auteur : CUENOT T.).....	19
Tableau 5 : Estimations de population du Programme CAPTURE pour les captures de mâles (Auteur : CUENOT T.).....	19
Tableau 6 : Densités calculées à partir des effectifs de population totale (Auteur : CUENOT T.)	19
Tableau 7 : Densités calculées à partir des effectifs de mâles (Auteur : CUENOT T.)	20

Table des équations :

Équation 1 : Calcul de la distance entre deux points de coordonnées GPS (Source : IGN).....	13
Équation 2 : Equation de régression du nombre d'observations en fonction du pourcentage d'ensoleillement (Auteur : CUENOT T.)	17

Table des annexes :

Annexe 1 : Résultat des estimations des populations de mâle par le modèle POPAN (Auteur : CUENOT T.).....	31
Annexe 2 : Résultats de l'ACP sur les facteurs météorologiques (Auteur : CUENOT T.)	31
Annexe 3 : Résultats des tests de corrélation de Spearman (Auteur : CUENOT T.)	32
Annexe 4 : Chi ² entre le sexe et le mois de l'année (Auteur : CUENOT T.)	32
Annexe 5 : Chi ² entre le phénotype et le sexe (Auteur : CUENOT T.)	32
Annexe 6 : Mosaïque illustrant la diversité de phénotypes observés lors des sessions de CMR (Auteur : CUENOT T.)	33

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur Éric Graitson, chargé de projet chez Natagora, pour les connaissances qu'il m'a apportées tout au long de ce stage ainsi que pour son accessibilité et sa convivialité durant les heures de travail et en dehors.

De même je remercie Madame Séraphine Grellier, maître de conférence au département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université François Rabelais de Tours, pour son encadrement vis-à-vis des rendus de ce stage.

Je tiens aussi à remercier mes collègues, Samuel Aptel, Axel Jame, Corentin Fournier, Florian Fonzé, Mathilde Le Levier et Laurent Dufey pour leur aide et leur sympathie tout au long de cette expérience.

Pour finir, je remercie Monsieur Michel Mathys, technicien de la station scientifique des Hautes Fagnes, pour sa convivialité et sa gentillesse tout au long du séjour.



La Bulle Péliade

IL NE FAUT PAS OUBLIER QUE LA VIPERE PELIADE (*VIPERA BERUS*) EST UNE ESPECE MENACEE ET SUJETTE A UNE PROTECTION STRICTE. C'EST POURQUOI, LA CAPTURE OU LA PERTURBATION DES INDIVIDUS EST FORMELLEMENT INTERDITE SANS L'OCTROI PREALABLE D'AUTORISATIONS DUMENT JUSTIFIEES. DE MEME, RAPPELONS QUE LA CIRCULATION HORS-SENTIERS DANS LA RESERVE NATURELLE DES HAUTES-FAGNES EST EGALEMENT SUJETTE A AUTORISATION EMANANT DU DEPARTEMENT NATURE ET FORET (SERVICE PUBLIC DE WALLONIE).

I) Contexte général

Dans le cadre de ma formation d'ingénieur en aménagement et environnement au sein de l'Ecole Polytechnique de l'Université François-Rabelais de Tours, j'ai été amené à effectuer un stage de 4 mois chez Natagora. L'objectif principal de ce stage est de mener la première année d'étude sur la population de vipère péliaque présente sur le plateau des Hautes Fagnes se trouvant au cœur du Parc Naturel Hautes Fagnes-Eifel et d'en estimer l'effectif et la densité. Ce stade est ainsi principalement axé sur un travail de terrain grâce à la méthode de Capture Marquage Recapture qui a rythmé le travail tout au long de ces 4 mois.



Figure 1 : Logo du Parc Naturel Hautes Fagnes-Eifel
(Source : botrange.be)

A. Présentation de la structure d'accueil

Natagora est une association à but non lucratif de protection de la nature ayant vu le jour en 2003. Cette association, ayant des pôles d'action régionaux dans toute la Belgique, est issue du rapprochement de deux associations : Aves et les réserves naturelles RNOB (Natagora, s. d.-b). La direction générale de la structure est détenue par monsieur Philippe Funcken. L'équipe de l'association est composée de 23 963 volontaires en 2019 et 120 salariés (Natagora, 2019).

L'objectif principal de l'association est de protéger la nature en Wallonie et à Bruxelles. Pour cela, quatre axes sont mis en avant : la protection, l'étude, l'implication et l'éducation. Ces axes sont ensuite déclinés en une multitude d'actions telles des formations et ateliers d'initiation et d'éveil à la nature au travers du « Réseau Nature », de la plateforme « Observation.be » ou encore de nombreux projets d'éducation et de sensibilisation. En parallèle de cet aspect grand public, Natagora est aussi engagée au niveau européen dans le projet LIFE et plus particulièrement LIFE Anthopofen (restauration de 480ha de tourbières et milieux associés), LIFE in Quarries (sensibilisation des carriers pour développer une gestion plus respectueuse de l'environnement des carrières) et LIFE Nardus (restauration des habitats de landes et fonds de vallées dans les Cantons de l'Est et en Ardenne orientale). L'association contribue ainsi, et au travers d'autres actions, à la conservation et à la gestion de certaines réserves naturelles et autres milieux à haute valeur biologique. Le dernier levier d'action de l'association se situe aux niveaux d'études et de travaux de terrains menés par des pôles et des groupes de travail que sont (Natagora, s. d.-a) :

- Aves : pôle ornithologique regroupant les ornithologues francophones de Belgique.
- Plecotus : pôle chauves-souris
- Raînne : pôle herpétologique étudiant les reptiles et amphibiens en Wallonie et à Bruxelles.
- Le groupe de travail Castors travaillant à la protection active de ce mammifère.
- Le groupe de travail Hirondelles travaillant à la protection et au suivi de ces espèces.
- Le groupe de travail Loup travaillant sur les défis de cohabitation depuis le retour de l'espèce en Wallonie.
- Le groupe de travail Martinets visant à protéger ces oiseaux menacés

Plus particulièrement, le pôle Raînne est divisé en plusieurs sous-groupes de travail tels que la migration, le sonneur ou les serpents. Ces sous-groupes de travail ont des missions de terrains permettant l'inventaire des sites, le suivi des espèces rares, le creusement de mares.... Les actions principales de ce pôle sont l'étude des amphibiens et des reptiles afin de connaître l'évolution des populations et donc de mieux les protéger et la réintroduction du sonneur à ventre jaune (*Bombina*)

variegata). Le pôle « Raînne » a aussi permis la parution du livre « Amphibiens et Reptiles de Wallonie » (Natagora, s. d.-c).

B. Présentation de la mission

Dans le cadre du pôle « Raînne » de Natagora, une étude visant à estimer la population de vipères péliades (*Vipera berus*) dans le Parc naturel des Hautes Fagnes-Eifel a été lancée sous l'impulsion de Monsieur Éric Graitson, chargé de projet chez Natagora et tuteur professionnel de ce stage.

1) Parc Naturel des Hautes Fagnes-Eifel

Le Parc naturel Hautes Fagnes-Eifel est un site particulièrement reconnu en Belgique et en Europe pour ses paysages et les biotopes qui s'y trouvent. Le parc couvre une surface de 72 000 hectares répartis entre la Belgique et l'Allemagne. Cette superficie est constituée principalement de landes, tourbières, forêts et rivières. Il est divisé en plusieurs régions dont celles de Entenpfuhl, du Brackvenn et de Aachener Kreuz, situées sur le Plateau des Hautes Fagnes, dans lesquelles les missions de ce stage ont été effectuées. (« Hautes Fagnes-Eifel », s. d.)

Le Plateau des Hautes Fagnes est le point culminant de la Belgique avec une altitude maximale de 694m au signal de Botrange (« Hautes Fagnes-Eifel », s. d.). Cette localité, classée réserve naturelle et couvrant environ 5 000ha (*Tout savoir sur le Parc naturel des Hautes Fagnes - Cantons de l'Est*, s. d.), est d'autant plus intéressante qu'elle bénéficie d'un microclimat provoqué par la rencontre des masses d'air venant de l'ouest avec ces reliefs. Cette situation climatique a pour conséquences des précipitations annuelles importantes avec une moyenne de 1400mm/an et des hivers particulièrement rigoureux au vu de l'altitude relativement faible (Erpicum et al., 1991). Ce microclimat fait ainsi du Plateau des Hautes Fagnes un environnement similaire aux plateaux du Haut-Jura.

2) Vipère péliade (*Vipera berus*)

a. Identification

La vipère péliade (*Vipera berus*) est un reptile de l'ordre des squamates¹ appartenant à la famille des vipéridés. Il s'agit du seul serpent venimeux présent sur le territoire Wallon. La vipère péliade est une vipère de taille moyenne mesurant en moyenne 65cm à l'âge adulte. (Speybroeck et al., 2018) Des individus atteignant la taille exceptionnelle de 104cm ont quant à eux été observés en Scandinavie. On distingue la vipère péliade des autres *Vipera* grâce à son museau arrondi ou très légèrement retroussé, à la tache en V ou X sombre sur leur tête, à son iris orange à rouge ainsi que par le zigzag sombre parcourant son dos allant de brun rouge à gris clair (Ursenbacher, 2010). En plus de cela, une écaillure caractéristique permet aussi la détermination de l'espèce. En effet, l'écaillure céphalique est composée d'une grande plaque frontale et de deux plaques pariétales ainsi que deux à quatre plaques parafrontales et deux apicales (Ursenbacher, 2010). De plus, ses écailles labiales supérieures sont, le plus souvent, blanches (Figure 3) (Speybroeck et al., 2018).

¹ « Reptile au corps recouvert d'écailles, possédant une fente cloacale transversale, tels que les lézards ou lacertiliens et les serpents ou ophidiens. » (Larousse, s. d.)

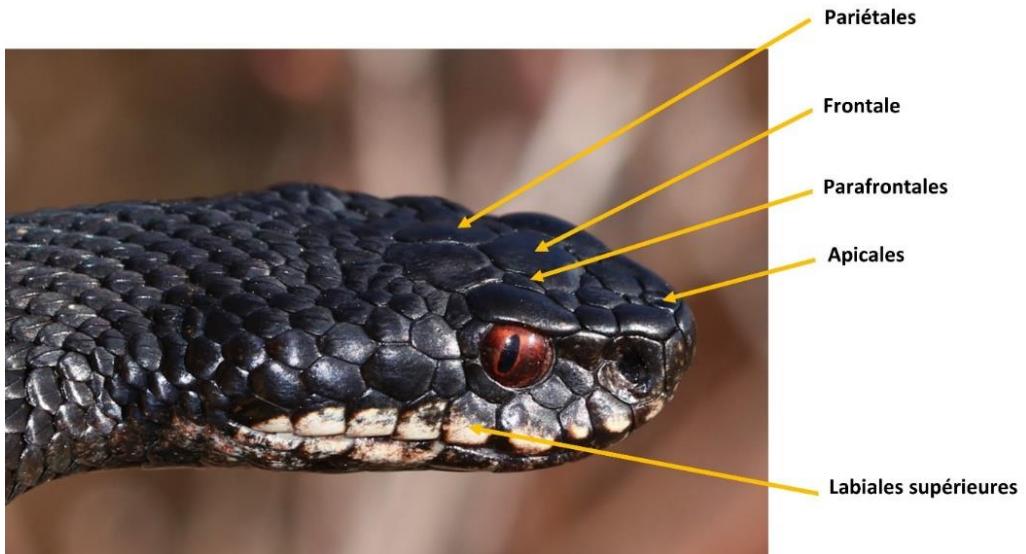


Figure 3 : Ecaillure céphalique chez *Vipera berus* (Auteur : CUENOT T. ; Source : DE WITTE, 1948)

En parallèle de ces critères morphologiques interspécifiques, la vipère péliade présente un dimorphisme relativement important au sein de l'espèce. Cela s'illustre notamment par la présence d'individus mélaniques² (Speybroeck et al., 2018). Un dimorphisme sexuel est aussi présent au sein de cette espèce. Cela s'observe notamment avec la longueur de la queue qui est plus courte chez les femelles que chez les mâles (Ursenbacher, 2010). Plus généralement, la femelle est plus grosse et plus grande que le mâle. La coloration varie elle aussi, les mâles sont le plus souvent jaunâtres ou grisâtres avec le zigzag dorsal sombre et très contrasté. Les femelles sont quant à elles brunâtres ou roussâtres avec un zigzag dorsal moins sombre et moins contrasté (Paquay & Graitson, 2007) (Figure 2).



Figure 2 : Variabilité phénotypique chez *Vipera berus* : 1 = mâle normal / 2 = mâle mélânique / 3 = mâle mélanisant / 4 = femelle normale (Auteur : CUENOT T.)

² Terme désignant les individus très sombres ou noirs.

b. Biologie

Au niveau phénologique et biologique, la vipère péliade sort d'hivernation de mi-février à début avril. Les mâles sortent deux à trois semaines plus tôt que les femelles et les juvéniles afin d'effectuer leur première mue. Cette mue précède obligatoirement l'accouplement et rend le dimorphisme sexuel encore plus visible (Ursenbacher, 2010). A partir de la mi-avril, les couples se forment à proximité des hibernaculum³. Il est alors possible d'assister à des combats rituels entre les mâles (Paquay & Graitson, 2007). Après l'accouplement, les femelles mettent bas de mi-août à mi-octobre donnant naissance à une portée de 5 à 13 vipéreaux (Ursenbacher, 2010) mesurant entre 15 et 20cm (De Witte, 1948). Ces vipéreaux atteindront ensuite la maturité sexuelle à l'âge de 3 ans pour les mâles et de 4 ans pour les femelles (Schiemenz, 1995). Celles-ci donneront naissance à une portée tous les 2 ou 3 ans en fonction de la localité. Toutefois, une fraction importante des femelles meurt après la première reproduction, seulement 20% d'entre elles se reproduisent une seconde fois (Guiller et al., 2019). Cette périodicité de reproduction pose encore question en Wallonie (Paquay & Graitson, 2007). Il est important de noter que, bien que les vipéreaux soient fortement sujets à la prédatation avec un taux de survie de seulement 7% (Ursenbacher, 1998), les adultes ont quant à eux un taux de survie très élevé avoisinant les 90% (Paquay & Graitson, 2007).

Les diverses phases que représentent les mues, l'accouplement, la gestation et la mise bas sont coûteuses en énergie. C'est pourquoi, de par leur caractère ectotherme⁴, les vipères péliades doivent s'exposer au soleil afin de pratiquer leur thermorégulation. Cette thermorégulation est fortement impactée au niveau journalier et annuel par les conditions météorologiques et saisonnières. C'est pourquoi, en fonction de la période de l'année ou de la météo, les individus d'une population donnée ne sortiront pas aux mêmes horaires et durant la même durée (Ursenbacher, 1998). Ainsi, les périodes les plus favorables pour l'observation de cette espèce seront les journées couvertes avec une pluie fine intermittente ou les journées avec la présence de soleil entrecoupée de nuages élevés. De la même façon les observations ne se feront pas aux mêmes heures de la journée tout au long de l'année. Il sera possible d'observer la vipère péliade de environ 9h au coucher du soleil durant le printemps et l'automne et le matin et le soir en été (Paquay & Graitson, 2007; Ursenbacher, 1998).

c. Répartition

Pour ce qui est de la répartition, la vipère péliade est le serpent possédant l'aire de répartition la plus vaste au monde (Saint Girons, 1980). Sa répartition actuelle est la résultante de la présence de l'espèce dans le sud-ouest et ouest de la France durant la dernière glaciation (ayant eu lieu il y a environ 18 000 ans) puis à son retrait vers les régions les plus froides lors du réchauffement. Le réchauffement ainsi que la parapatrie de l'espèce avec certaines populations de vipères aspics a provoqué la dispersion de l'espèce au cours des 19^{ème} et 20^{ème} siècle en France, Belgique et Suisse (Ursenbacher, 2010). L'espèce occupe ainsi le continent nord-eurasiatique à l'exception de l'Islande, de l'Irlande, de la péninsule ibérique, de quasiment toute l'Italie et des îles méditerranéennes (Paquay & Graitson, 2007).

En Belgique, la vipère péliade est globalement en grande diminution par rapport au travail qu'a effectué Parent (Parent, 1968). L'espèce est ainsi présente en Flandre avec deux populations dont une principale en Campine anversoise. Cette population a toutefois subi une forte régression au cours du 20^{ème} siècle notamment à cause d'un grand incendie survenu il y a quelques années. En Wallonie le

³ « Lieu de refuge d'animaux pour hiberner » (*hibernaculum - Dictionnaire des Sciences Animales*, s. d.)

⁴ Se dit d'animaux dont la chaleur est en majeure partie régulée par leur environnement, la chaleur métabolique est négligeable (Lelievre, 2010).

taxon n'est plus présent de façon indigène que dans le sud-ouest de la Wallonie en Haute-Meuse et le long de ses affluents ainsi que au niveau des sources de l'Oise. Des populations lacunaires peuvent

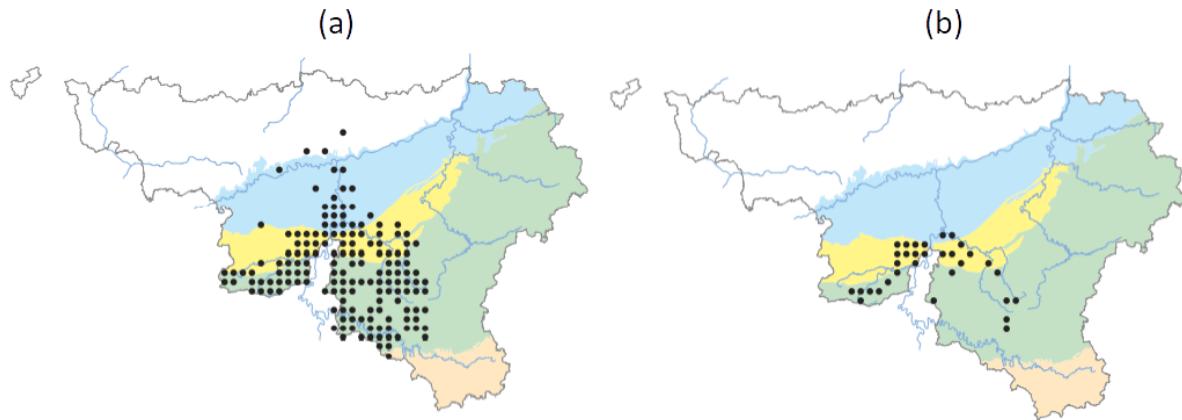


Figure 4 : Répartition de la vipère péliade en Wallonie avant 2001 (a) et entre 2001 et 2011 (b) (Paquay & Graitson 2007).

néanmoins être présentes sur le territoire bien que les anciennes données de Parent aient été vérifiées dans les années 2000 (Graitson, 2011) (Figure 4).

La population sur laquelle porte l'étude, située sur le plateau des Hautes Fagnes, a quant à elle été découverte après 2000 (Graitson, 2011). Il s'agit de la seule population en expansion de Belgique (Duchesne, 2020).

d. Statuts de protection

Au niveau international, la vipère péliade est une espèce intégrée à la Convention de Berne depuis 1979. Ainsi les états signataires doivent mettre en place des réglementations visant à la protection de cette espèce. Plus récemment la directive « Habitat » considère l'espèce encore assez largement répandue et n'impose pas de réglementation particulière (Graitson, 2011).

En Wallonie, la vipère péliade fait l'objet de protections strictes. Il est ainsi interdit de détériorer ou détruire les sites de reproduction, les aires de repos ou tous types d'habitat accueillant l'espèce au cours de son cycle de vie. En plus de cela la vipère péliade est classée « en danger critique » dans la liste rouge de Wallonie depuis 2011 (Graitson, 2011).

3) Contexte de la mission

Au vu du statut préoccupant de la vipère péliade en Wallonie et plus largement en Europe, Monsieur Éric Graitson, chargé de projet herpétologique chez Natagora, a voulu lancer une étude afin d'estimer la population de vipère péliade du Parc Naturel des Hautes Fagnes-Eifel. Cela dans le but de pouvoir mieux connaître la situation de l'espèce en Belgique et plus largement en Europe.

La crise sanitaire provoquée par la Covid-19 a malheureusement freiné cette démarche. C'est ainsi que seulement quelques étudiants dont monsieur Thomas Duchesne ont pu commencer l'étude de cette population en 2020 afin d'estimer les milieux les plus propices des Hautes Fagnes pouvant accueillir le taxon et de commencer l'étude de la dynamique de cette population. L'étude visant à estimer les effectifs et les densités a ainsi été lancée pour la première année en 2021. C'est dans celle-ci que s'inscrit ce stage.

La mission de ce stage est donc de commencer l'étude précise de la population de vipères péliales des Hautes Fagnes. Le but de cette étude est d'estimer les effectifs ainsi que les densités présentes dans le secteur du plateau des Hautes-Fagnes. Les objectifs secondaires de cette étude sont quant à eux nombreux. Cette étude permettra aussi de décrire la population (diversité phénotypique, sexe-ratio...) ainsi que le milieu dans lequel évolue la vipère (végétation, ensoleillement, température, vent).

II) Déroulé de la mission

Afin de réaliser cette mission, un protocole de Capture Marquage Recapture (CMR) a été mis en place. La méthode de CMR ou méthode de Petersen-Lincoln fut utilisée pour la première fois en biologie par le danois Johannes Petersen pour estimer la taille d'une population de *Pleuronectes platessa* (Petersen, 1896). Cette méthode fut toutefois décrite pour la première fois en 1930 par un ornithologue américain du nom de Frédéric C. Lincoln (Lincoln, 1930). La méthode de CMR est aujourd'hui largement répandue dans le domaine de l'écologie notamment en biologie de la conservation afin d'estimer les tailles de populations. La méthode consiste à marquer des individus sur le terrain grâce à de nombreux systèmes de bagage, puçage, photographie... Les individus sont ensuite relâchés puis recapturés à une période postérieure.

Il y a toutefois plusieurs paramètres à prendre en compte afin de pouvoir appliquer cette méthode :

- Savoir si le marquage n'a pas d'influence sur la survie des individus,
- si la population étudiée est ouverte ou fermée (pas de migration),
- si la probabilité de capture est égale à la probabilité de recapture,
- si la taille de la population ne varie pas du fait de la mortalité ou la natalité,
- si la probabilité de capture est la même pour tous les individus.

Dans le cas de la vipère péliale, ces différents paramètres sont relativement faciles à estimer. De plus l'étude CMR de ce taxon tolère assez bien quelques violations des contraintes citées ci-dessus (Ursenbacher & Monney, 2003).

A) Stations d'étude

L'étude a été menée sur 6 stations de CMR différentes allant de 3 à 18ha et concentrées dans les Fagnes du Nord-Est, territoire principalement composé de landes et de tourbières (Figure 5). Les 6 stations se situent dans 3 localités différentes et se nomment respectivement : Entenfuhl (station 1), le Brackvenn Ouest (station 2), le Brackvenn Centre (station 3), le Brackvenn Nord (station 5), Aachener Kreuz 1 (station 4) et Aachener Kreuz 2 (station 6). Toutes ces stations ont été définies sur des terrains où la présence de vipères péliales fut confirmée durant les années de prospections précédentes. Elles sont globalement caractérisées par une végétation herbacée dominée par la molinie bleue (*Molinia caerulea*) formant des touradons⁵. Une deuxième caractéristique de cette végétation, fondamentale pour les vipères, est composée par les buissons d'éricacées tels que les myrtilliers (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum*) ou encore la callune (*Calluna vulgaris*) et la bruyère (*Erica tetralix*). Ces différentes espèces constituent des habitats très favorables pour l'hibernation. Enfin, les strates arbustives et arborées occupent partiellement les stations avec comme espèces le bouleau (*Betula pendula*), le saule à oreillette (*Salix aurita*) et les épicéas (*Picea abies*).

⁵ « Terme utilisé en botanique pour désigner une formation végétale entre 40 et 60 cm de haut que l'on retrouve dans certaines tourbières ou zones humides para tourbeuses. »(Définition de Touradon, s. d.)

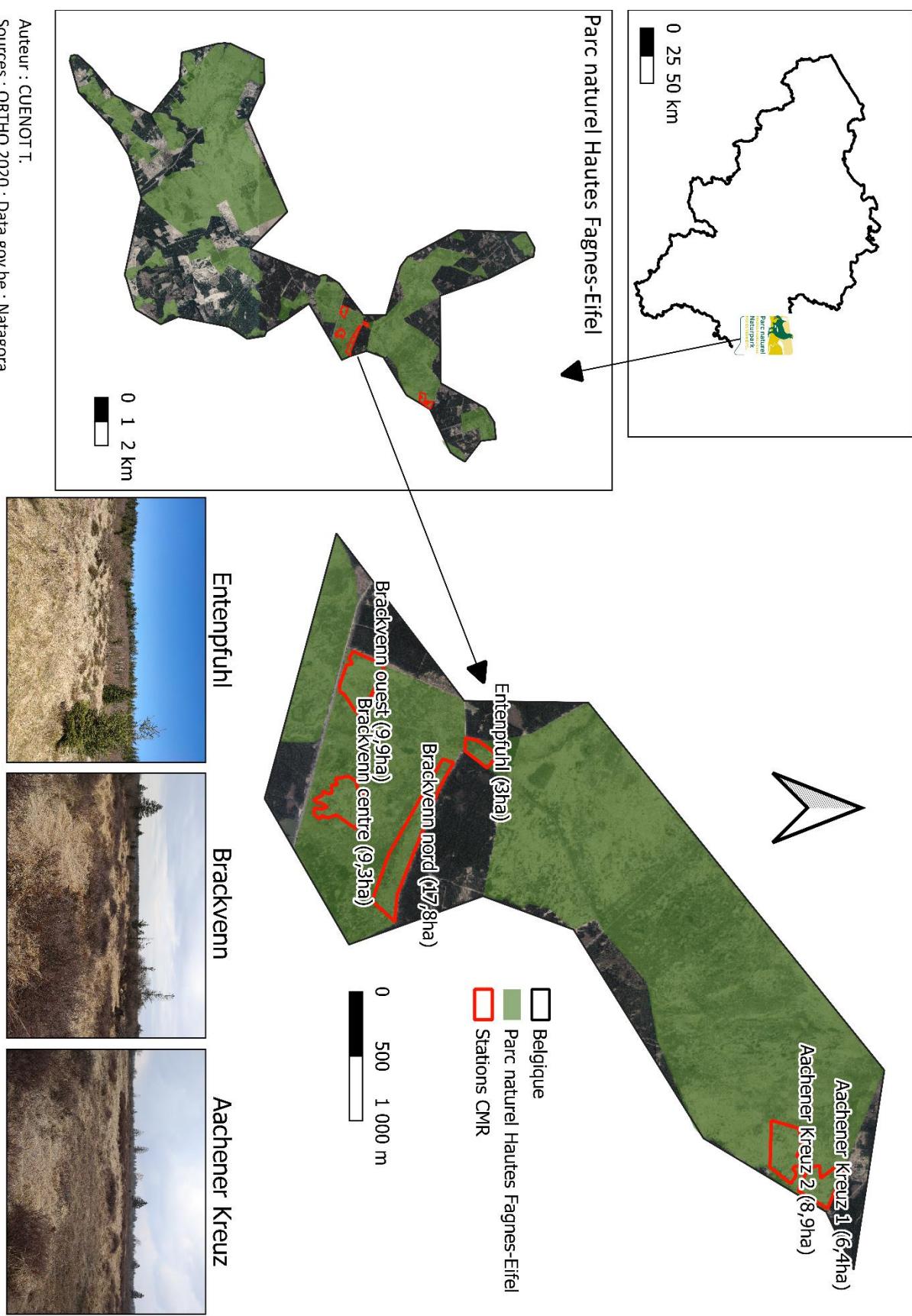


Figure 5 : Parc Naturel des Hautes Fagnes-Eifel et stations de CMR (Auteur : CUENOT T. ; SOURCES : ORTHO 2020, Data.gov.be, Natagora)

B) CMR (Capture Marquage Recapture)

Dans l'optique d'optimiser au maximum les sessions de CMR et d'ainsi capturer un maximum d'individus, les prospections ont été réalisées durant les périodes considérées comme les plus propices à la capture de ce taxon. D'après la biologie de *Vipera berus*, les périodes les plus favorables s'étendent de mi-mars à fin mai et de mi-août à mi-octobre (Janssen, 2014). Les journées ont quant à elles été sélectionnées en fonction de l'ensoleillement, de la température et du vent. En effet des journées nuageuses avec des températures douces (8-12°C) et peu venteuses sont décrites comme les journées les plus favorables à l'observation des vipères péliales. Les meilleures conditions sont ainsi les jours nageurs, notamment après une période d'averses ou d'orage, avec des températures intermédiaires (Paquay & Graitson, 2007). Les prospections ont été réalisées par plusieurs observateurs (minimum trois durant ce stage) espacés de 5 à 10m selon la surface à couvrir afin de maximiser les chances de rencontre avec les animaux recherchés. Les observateurs marchaient ainsi lentement en lignes parallèles sans limite de temps.

La capture des animaux a été réalisée dans le cadre exclusif d'une étude scientifique ce qui a nécessité une autorisation exclusive de manipulation décernée par le DNF⁶. La vipère péliale étant un serpent venimeux, la manipulation fut réalisée à l'aide de gants en cuir épais afin d'empêcher toutes morsures.

Afin de ne pas être trop invasif et de ne pas trop perturber cette espèce sensible, les stations de CMR ont été prospectées une fois par semaine afin de déranger au minimum les animaux et de limiter le piétinement. Dans le but d'être le plus exhaustif possible et de ne pas créer de biais dans les taux de recaptures, les prospections ont été réalisées avec des parcours aléatoires (changement de points de départ, de sens de prospections...). Les paramètres météo : la température et la puissance du vent ont été mesurés à l'aide d'un thermomètre-anémomètre à chaque début de prospection. L'ensoleillement a quant à lui été évalué sur un gradient allant de 1 à 3 où 1 correspond à un temps nuageux et 3 à un ciel parfaitement dégagé.

L'idée de cette étude étant de caractériser au maximum la population étudiée, un maximum d'informations ont été récoltées pour chaque observation. Ainsi le sexe, le stade de maturité, et le phénotype ont été relevés. Pour le stade, le parti a été pris de considérer les individus supérieurs à 40cm (>3 ans) adultes, entre 15 et 40 cm (entre 1 et 3 ans) subadultes et inférieurs à 15 cm (< 1 an) juvéniles. Des informations sur l'environnement des observations ont aussi été relevées telles que la localisation GPS, l'heure d'observation et la végétation dans un rayon de 2m. Les mues ont systématiquement été récoltées lorsque que celles-ci permettaient l'identification de l'individu. Enfin, toutes ces données ont été encodées sur la base de données OFFH, administrée par Natagora.

Afin de marquer les individus capturés, une méthode peu invasive a été choisie. Cette méthode consiste à profiter du fait que la vipère péliale possède une écaillure céphalique fortement variable entre les individus rendant ces patterns quasiment uniques. Ainsi, il nous a suffi de prendre en photographie le dessus du crâne des individus pour pouvoir les identifier (Benson, 1999). L'écaillure restant inchangée tout au long de la vie de l'animal, elle fournit un outil d'identification fiable et validé par analyse génétique (Bauwens et al., 2018). Une fois la photographie réalisée, un code fut attribué à l'individu afin de pouvoir le reconnaître (Figure 6). Ce code commence par le sexe (mâle = 0 ; femelle = 1). Le deuxième chiffre correspond au phénotype (normal = 0 ; mélanisant = 1 ; mélanique = 2), le troisième au nombre d'écailles pariétales qui sont le plus souvent de 2 et rarement de 3. Le quatrième est attribué à l'écaille frontale. Viennent ensuite les écailles apicales allant de 4 à 6. Puis les écailles

⁶ Département de la Nature et des Forêts

parafrontales, gauches puis droites, aux nombres de 2 à 4. Enfin le dernier numéro correspond aux petites écailles restantes situées entre l'écaille frontale et les écailles apicales qui sont en nombre très variables selon les individus. Il est aussi possible de réaliser cette identification à partir des mues en prenant en compte le fait qu'il s'agit de peau retournée (Figure 7). Dans le cas des mues, le sexe et le phénotype sont, le plus souvent, durs à déterminer.

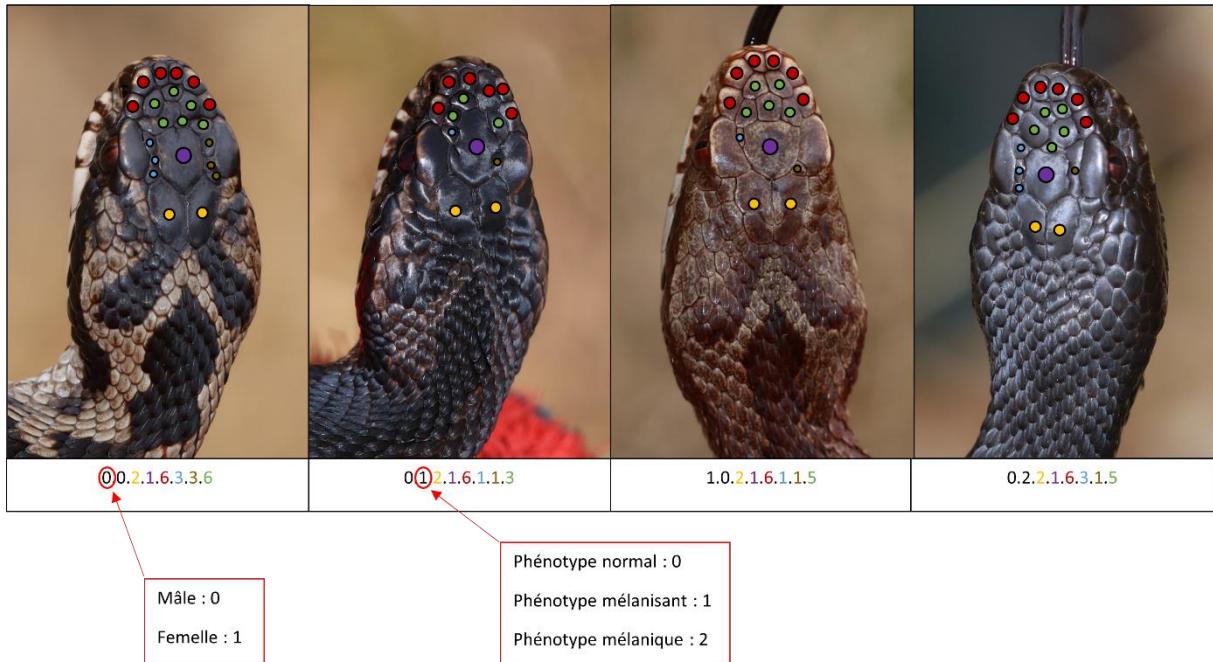


Figure 6 : Exemple de détermination de codes d'identification (Auteur : CUENOT T. ; Source : Benson, 1999)

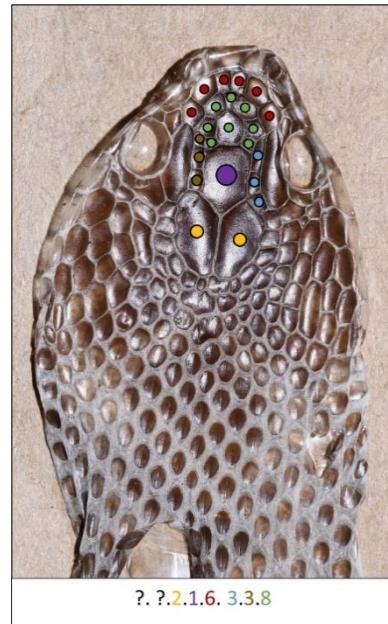


Figure 7 : Exemple de détermination de code CMR sur mue (Auteur : CUENOT T. ; Source : Benson, 1999)

C) Analyse des données

1) Détermination des effectifs

A la suite des sessions des CMR, l'objectif était d'estimer la population observée. Il existe de nombreuses méthodes afin d'estimer les effectifs d'une population. Ces méthodes dépendent majoritairement du fait que la population étudiée soit dite ouverte ou fermée. En théorie des métapopulations, une population ouverte comporte des individus ayant la capacité de se disperser entre les sous-populations tandis qu'une population fermée possède des individus trop sédentaires pour qu'il y ait des échanges d'individus entre les sous-populations. La vipère péliaude étant généralement considérée comme une espèce fortement sédentaire (Saint Girons, 1952) les populations sont le plus souvent considérées fermées. Toutefois, comme nous l'avons observé, des individus font parfois de grands déplacements (Prestr, 2009). Après cette constatation, nous avons décidé de tester deux méthodes disponibles sur le logiciel MARK : le programme CAPTURE s'appliquant aux populations fermées (Otis et al., 1978) et la méthode de Jolly-Seber (Jolly, 1965; Seber, 1965) via le modèle POPAN (Schwarz & Arnason, 1996)s'appliquant aux populations ouvertes.

Le programme CAPTURE intègre plusieurs modèles impliquant différents taux de capturabilité :

- M(o) : taux de capturabilité constant,
- M(t) : taux de capturabilité variable entre les sessions de captures,
- M(h) : taux de capturabilité variable entre les animaux,
- M(b) : taux de capturabilité variable après la première capture,
- M(th), M(bh), M(tb), M(tbh) correspondent à l'association des modèles précédents.

Dans chaque modélisation, le mode « Appropriate » est sélectionné car celui-ci permet l'utilisation du modèle le plus adapté théoriquement à nos jeux de données. Le modèle sélectionné n'est donc pas forcément celui dont la description se rapproche le plus de la réalité de cette espèce.

La seconde méthode n'a quant à elle pas été retenue car elle ne permettait pas d'obtenir un résultat fiable (Annexe 1). En effet, les modèles en population ouverte sur la vipère péliaude sont rarement fiables lorsque l'étude s'effectue sur une seule année de données (Ursenbacher, 1998).

2) Détermination des densités

Afin de déterminer les densités de population, nous avons cherché à déterminer la surface favorable à la reproduction de nos stations. Cela nous est apparu pertinent car les observations ont été majoritairement réalisées en période d'accouplement ou de gestation. Ces surfaces d'habitat ont été calculées à l'aide d'un SIG (QGis) et de l'extension GRASS dans le système de coordonnées Lambert 1972 31 :370. Cela nous a permis d'isoler les différentes hauteurs de végétation à partir du LIDAR d'altitude (MNS et MNT) disponibles sur WalOnMap (<https://geoportal.wallonie.be/home.html>). Différentes classes ont ensuite été créées afin d'isoler les différentes strates de végétation :

- Une altitude de 0 à 1 m correspondant à la strate herbacée et buissonnante,
- Une altitude de 1 à 2 m correspondant à de l'enrichissement,
- Une altitude de 2 à 5 m correspondant à une végétation de type taillis,
- Une altitude de 5 m et plus correspondant à la strate arborée.

Ce raster a ensuite été converti en vecteur afin de pouvoir y réaliser des opérations de géotraitement. Les strates herbacées, buissonnantes et celle correspondant à l'enrichissement ont été regroupées car ces types de végétations sont jugés favorables à la reproduction de l'espèce. De même, les espaces de

végétations dont la surface est inférieure à 100m² ont été jugés favorables et groupés aux deux entités précédemment citées. Un tampon de 5m sur les polygones de la strate arborée et un tampon de 1m sur les polygones de la strate de taillis ont été réalisés afin de rendre compte de l'ombre portée par cette végétation. Après cela nous avons supprimé certains polygones défavorables car le LIDAR n'avait pas été remis à jour depuis que le DNF avait réalisé des broyages d'aulnes dans le cadre du programme LIFE. Enfin, une différence a été faite entre les surfaces de végétation favorable et les surfaces de végétation défavorable afin d'obtenir la surface favorable à la reproduction de chaque station (Figure 8).

Les densités ont ensuite été calculées grâce aux estimations fournies par le logiciel MARK. Deux valeurs de densité ont ainsi été déterminées (une première calculée à partir de la surface d'habitat favorable à la reproduction et une seconde calculée à partir de la surface totale de la station concernée) et ont permis de fournir un intervalle probable de densité de population.

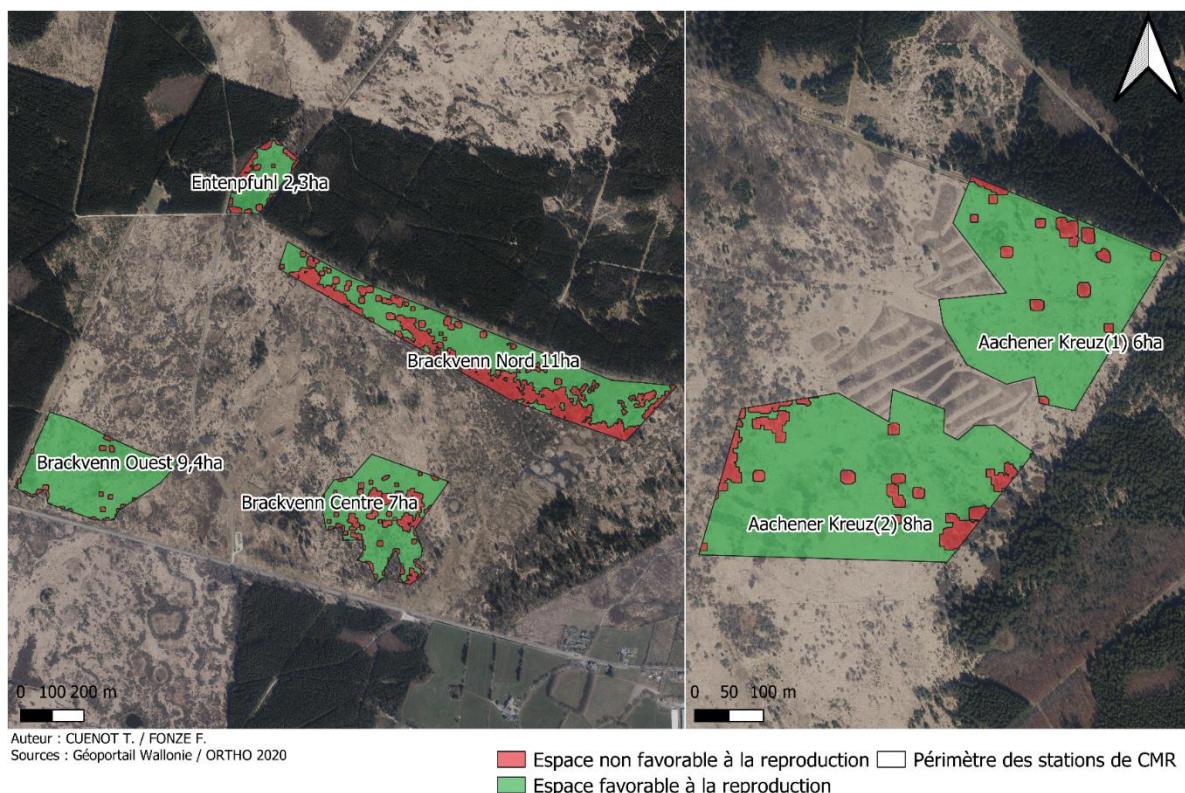
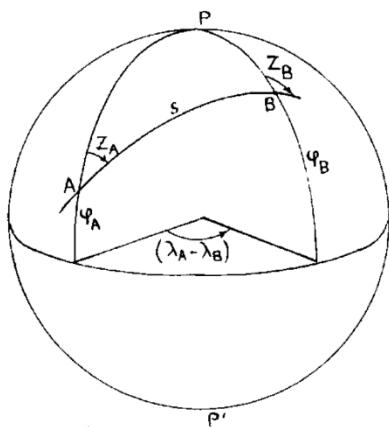


Figure 8 : Surfaces favorables à la reproduction de la vipère péliaide (Auteur : CUENOT T. ; Sources : Géoportail Wallonie, ORTHO 2020)

3) Mise en évidence des déplacements individuels

Bien que la sédentarité des individus au sein de populations de vipères péliales est généralement établie (Paquay & GRAITSON, 2007; Saint Girons, 1952), il est tout de même intéressant de mettre en évidence d'éventuels déplacements chez les spécimens recapturés. Les données de localisation GPS étant relevées de manière systématique, il a été possible de calculer la distance parcourue entre deux captures d'un même individu à l'aide de la formule mathématique suivante (Équation 1) en se plaçant dans les conditions de la Figure 9 :



Équation 1 : Calcul de la distance entre deux points de coordonnées GPS (Source : IGN)

Soit $R_{Terre} = 6\ 378\ 137\ m$ et $d\lambda = \lambda_B - \lambda_A$ et $\varphi_A, \varphi_B, \lambda_A, \lambda_B$ en radians.

$$S = R_{Terre} \times \arccos(\sin(\varphi_A) \times \sin(\varphi_B) + \cos(\varphi_A) \times \cos(\varphi_B) \times \cos(d\lambda))$$

Figure 9 : Conditions de calcul des distances de déplacements où φ_A et φ_B représentent les latitudes et λ_A et λ_B les longitudes (Source : IGN)

Ce calcul fut réalisé en considérant la Terre en tant que sphère, l'altitude est donc négligée. Cela fut possible car la prise en compte de l'altitude provoque une variation de seulement quelques centimètres au maximum et une telle précision n'est pas nécessaire aux besoins de l'étude.

Cette même opération aurait aussi pu être réalisée automatiquement grâce à un SIG. Toutefois, celui-ci ne fut utilisé que pour illustrer les déplacements des individus les plus mobiles car plus chronophage.

4) Analyse des points d'observations

Afin de pouvoir mieux comprendre les lieux d'observations et d'apporter des précisions sur le comportement de cette espèce, une analyse des lieux d'observations a été réalisée au travers de cartes de chaleurs. Celles-ci ont été réalisées grâce au SIG QGis 2.14 et son extension Heatmap. Bien que les cartes de chaleurs peuvent être créées par symbologie dans les dernières versions du logiciel, cette extension nous a permis de créer des rasters plus précis avec une légende commune à toutes les stations et à tous les mois de l'étude.

Afin de pondérer les observations un poids a été affecté à chaque point. Ce poids est défini comme $1/N$ où N est le nombre de sessions d'observations durant le mois étudié. Ainsi les cartes de chaleurs créées expriment un nombre d'individus probablement observable à chaque passage. De plus, le rayon

utilisé pour la création des cartes de chaleurs n'a pas été choisi aléatoirement, il s'agit en réalité de la médiane des déplacements observés soit 40m.

En plus de cela, un second traitement a été réalisé afin de déterminer la part d'observation sur les remparts de lithalses⁷.

5) Autres analyses :

En plus des analyses précédemment présentées, divers traitements statistiques ont été réalisés grâce aux logiciels Microsoft Excel et R4.1.0 (R Core Team, 2021). Ont été réalisés :

- deux Chi² d'homogénéité (Pearson, 1900) sur les phénotypes et le sexe et sur le sexe et le mois de l'année ,
- quatre tests corrélations de Spearman (Wissler, 1905) sur la végétation (éricacées, molinie) ainsi que sur la température et le vent,
- une ACP (analyse en composante principale) (Pearson, 1901) sur les facteurs météorologiques (avec le package FactoMineR (Lê et al., 2008))
- et des GLM⁸ (Generalized Linear Model) (Nelder & Wedderburn, 1972) et plus particulièrement des GLMer (prenant en compte le fait que les sessions furent réalisées sur des stations différentes) ont également été réalisés sur les paramètres météorologiques.

III) Résultats de l'étude

A) Récapitulatif des sessions de capture

Tableau 1 : Récapitulatif des paramètres principaux de l'étude (*les sessions sans capture n'ont pas été comptabilisées)

Station	Nbr de sessions	Nbr de captures	Nbr de recaptures	Taux de recaptures [%]	Nbr d'individus	Sexe-ratio (M/F)
Entenpfuhl	12	30	9	30,0	21	1,62 (13/8)
Brackvenn ouest	7	19	4	21,1	15	2 (10/5)
Brackvenn centre	7	9	2	22,2	7	6 (6/1)
Brackvenn nord	10	28	3	10,7	25	0,92 (12/13)
Aachener-kreuz 1	14	46	14	30,4	32	3 (24/8)
Aachener-kreuz 2	10	47	9	19,1	38	1,53 (23/15)
TOTAL	60	179	41	22,9	138	1,76 (88/50)

Comme on peut le voir sur le Tableau 1, un total de 179 captures ont été réalisées sur une période s'étalant du 29 mars au 20 juillet 2021. Parmi celles-ci, 41 étaient des recaptures, ce qui donne donc un taux de recapture de quasiment 23%. 138 individus ont ainsi été formellement identifiés et recensés sur l'ensemble de l'étude. Un sexe-ratio de 1,76 (88 mâles pour 50 femelles) a été observé.

⁷ Dépression glaciaire

⁸ Grâce à la fonction « glmer() » (Bates et al., 2015)

B) Habitats et conditions environnementales privilégiées

1) Végétation

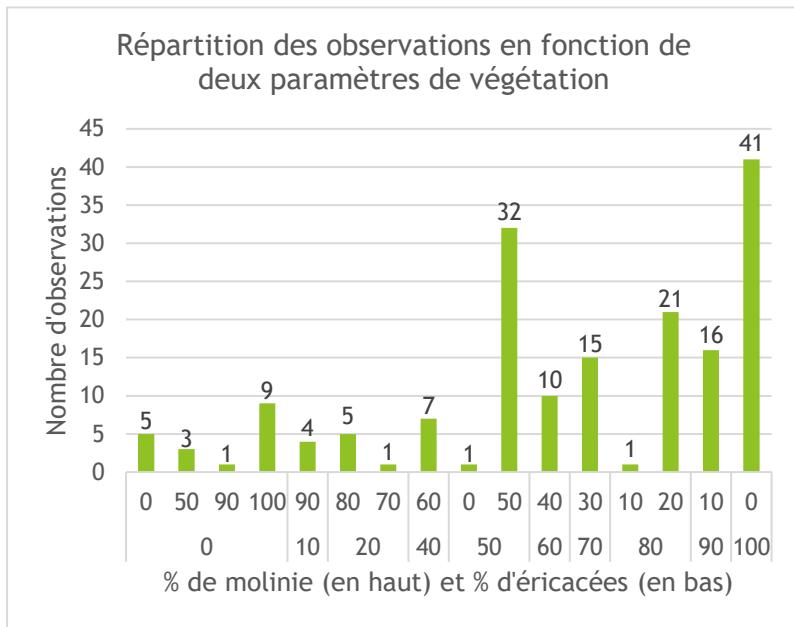


Figure 10 : Répartition du nombre d'observations en fonction de la végétation
(Auteur : CUENOT T.)

négativement ($r_s = -0,8268$) à la présence de molinie. Le nombre d'observation n'est en revanche pas corrélé à la présence d'éricacées (Tableau 2).

Tableau 2 : Résultat des tests de corrélation de Spearman (*tests réalisés en excluant la valeur aberrante 50% éricacées 50% molinie) (Auteur : CUENOT T.)

Corrélation	p-value	r_s
Nbr observation - Ericacées	0,073	0,6
Nbr observation - Molinie	0,003	-0,8268

Comme il est possible de l'observer sur la Figure 10, la capture d'individus en milieu totalement ouvert, ie. avec une dominance forte de molinie, est anecdotique (28 captures). La grande majorité des captures (137) a été réalisée à proximité de massifs d'éricacées, notamment lorsque ceux-ci couvre plus de 50% de la zone d'observation, rayon de deux mètres autour du point de capture.

Ce résultat est confirmé par le fait que le nombre d'observation est statistiquement corrélé ($p - value_{molinie} = 0,003$)

2) Conditions météorologiques

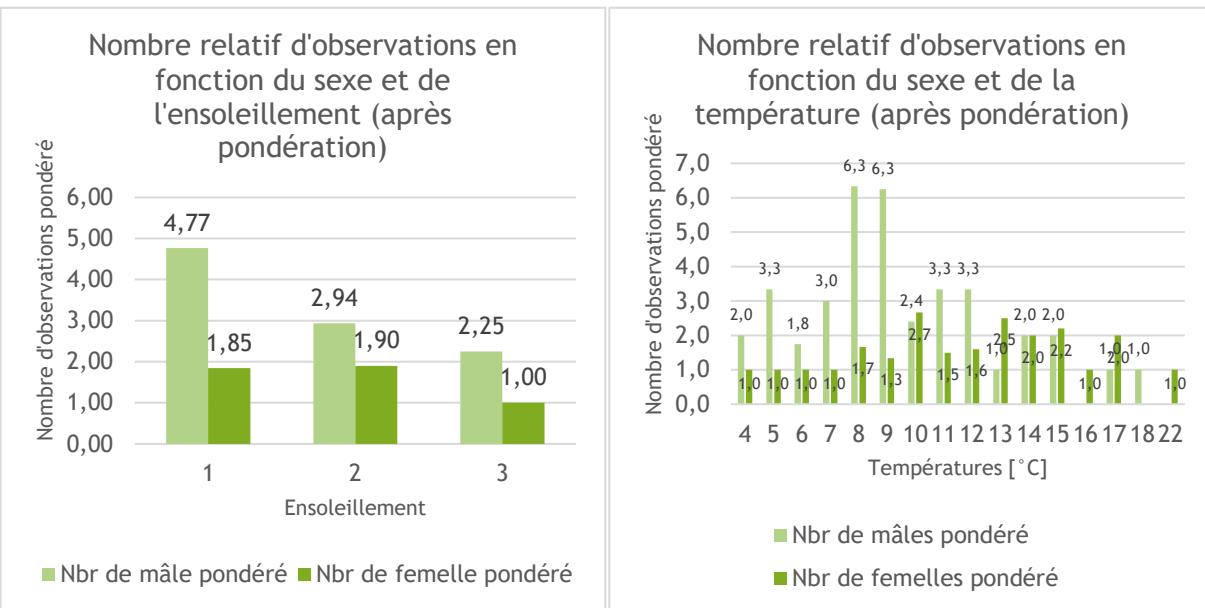


Figure 11 : Nombre d'observations en fonction du sexe et des classes d'ensoleillement (*pondéré par le nombre de sessions) (Auteur : CUENOT T.)

Figure 12 : Nombre d'observations en fonction du sexe et de la température (*pondéré par le nombre de sessions) (Auteur : CUENOT T.)

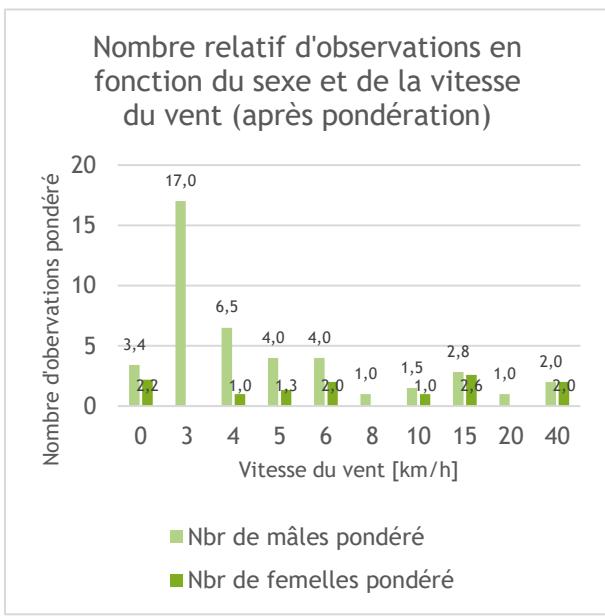


Figure 13 : Nombre d'observations en fonction du sexe et de la vitesse du vent (*pondéré par le nombre de sessions) (Auteur : CUENOT T.)

Les données récoltées lors de cette étude ont permis d'observer qu'une grande majorité des observations (7,71 mâles et 3,75 femelles observés après pondération par le nombre de sessions effectuées sous chaque condition) s'est déroulée par temps nuageux et que seule une infime partie des observations (2,25 mâles et 1 femelle observés après pondération) fut réalisée par une météo ensoleillée (Figure 11). En lien avec cette première observation, la quasi-totalité des observations ont été réalisées avec une température inférieure à 15°C (36,7 mâles et 19,5 femelles observés après pondération) (Figure 12). Pour ce qui est du vent, la grande majorité des données ont été récoltées avec un vent inférieur à 6 km.h⁻¹ (34,9 mâles et 6,5 femelles observés après pondération) (Figure 13).

A partir de ces observations, deux tests de corrélations de Spearman, une ACP démontrant la forte autocorrélation des variables (Annexe 2) et 10 GLMer ont été réalisés afin de déterminer une possible corrélation ou influence des variables météorologiques. Il en ressort que, dans le cadre de cette étude, l'ensoleillement est la variable météorologique expliquant le mieux les observations de vipères (GLMER avec une $p - value = 2,85 \cdot 10^{-5}$ et une $AIC = 298,5$) (Tableau 3). Les tests de corrélations de Spearman ne démontrent quant à eux aucune corrélation particulière (Annexe 3).

Tableau 3 : Résultats des différents GLMer (*PC1 et PC2 sont les composantes principales issues de l'ACP) (Auteur : CUENOT T.)

GLMer	p-value	AIC
T	2,21E-02	311,2
T/T ²	2,97E-02	305,6
	1,08E-02	
V	5,87E-01	316,2
V/V ²	8,55E-01	318,2
	9,09E-01	
Ens	2,85E-05	298,5
Ens/Ens ²	4,08E-02	299,2
	3,08E-01	
PC1	1,67E-04	301,7
PC1/PC1 ²	1,02E-01	303,6
	7,92E-01	
PC2	9,83E-10	310
PC2/PC2 ²	3,50E-01	309,5
	1,25E-01	

Le GLMer sur l'ensoleillement nous a ainsi permis de déterminer une corrélation entre le nombre d'observations et l'ensoleillement illustré sur la Figure 14. On obtient alors l'équation de corrélation suivante (Équation 2) :

Équation 2 : Equation de régression du nombre d'observations en fonction du pourcentage d'ensoleillement (Auteur : CUENOT T.)

$$Nbr_{obs} = \log (1,61 - 0,01Ens)$$

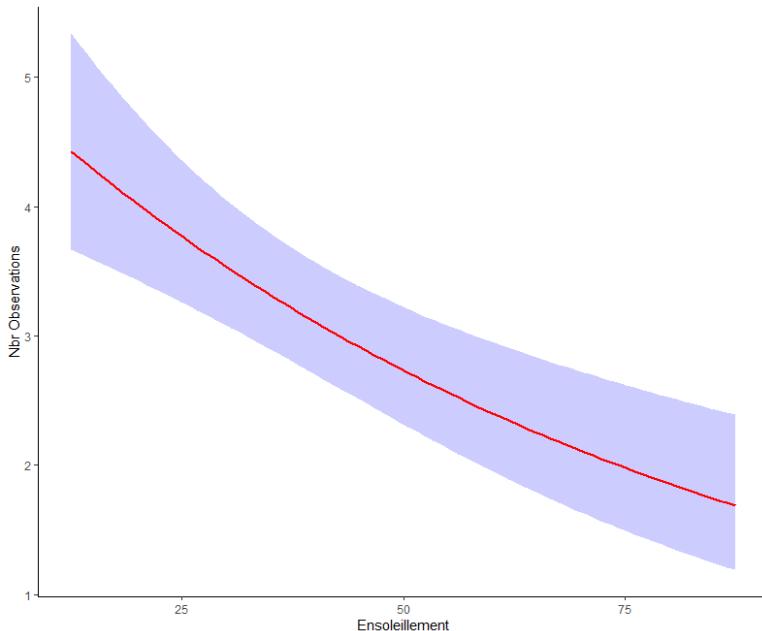


Figure 14 : Courbe de tendance et son intervalle de confiance à 95% du nombre d'observations en fonction de l'ensoleillement (Auteur : CUENOT T.)

C) Caractéristiques de la population : phénotypes et sexes

1) Distribution des sexes au cours de l'année :

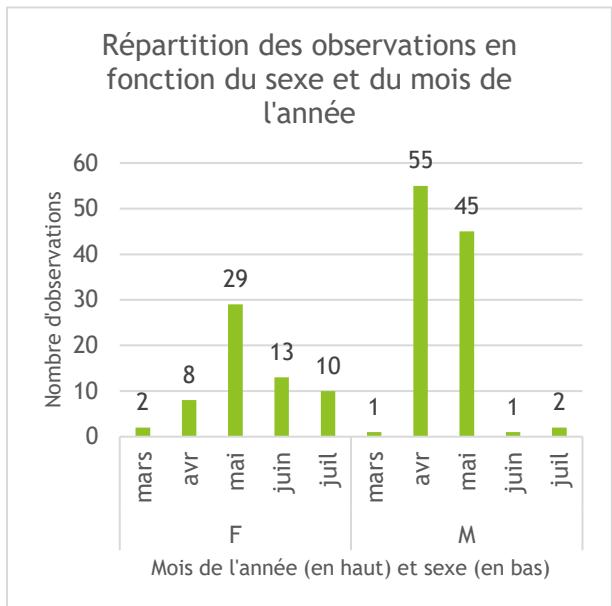


Figure 15 : Répartition des observations en fonction du sexe et du mois de l'année (Auteur : CUENOT T.)

Une nette différence entre mâles et femelles a été observée quant aux mois d'observations comme il est possible de voir sur la Figure 15. En effet la quasi-totalité des mâles (100 observations sur 104) fut observée durant les mois de avril et mai. Les femelles ont quant à elles été majoritairement observées de mai à juillet (53 observations sur 64). Cette différence est largement confirmée grâce à un test d'homogénéité du χ^2 ($p - value = 1,64 \cdot 10^{-9}$) (Annexe 4).

2) Résultats sur les phénotypes :

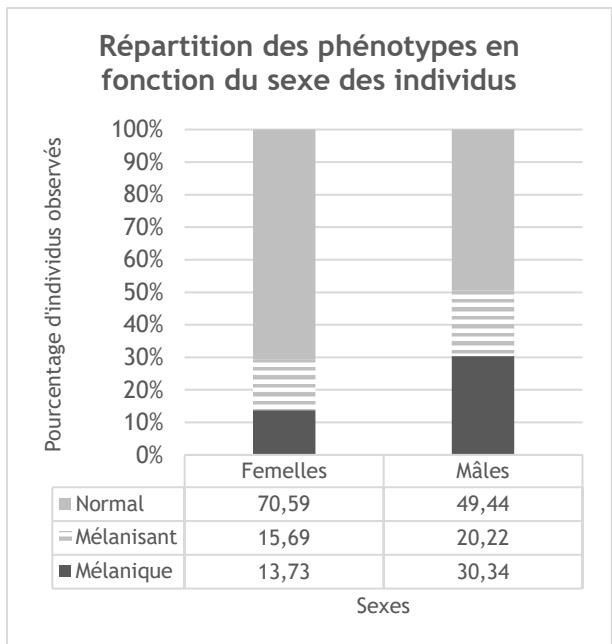


Figure 16 : Répartition des phénotypes en fonction du sexe des individus (Auteur : CUENOT T.)

Tout comme pour les mois de l'année, une nette différence de phénotypes entre mâles et femelles a été observée. En effet, un taux de mélanisme de 50,56% a été observé chez les mâles contre 29,42% chez les femelles (Figure 16). Cette différence est elle aussi jugée significative par un test d'homogénéité du χ^2 ($p - value = 0,037$) (Annexe 5).

D) Estimations des effectifs et densités de la population

1) Effectif de population

Deux modélisations ont été réalisées à l'aide du Programme CAPTURE pour chacune des six stations. Les résultats sont présentés ci-dessus dans le Tableau 4 et le Tableau 5 :

Tableau 4 : Estimations de population du Programme CAPTURE pour l'intégralité des captures (Auteur : CUENOT T.)

Station	Nbr de sessions	Estimation Programme CAPTURE	Intervalle de confiance 95%
Entenpfuhl	12	18 ± 4	[15;31]
Brackvenn ouest	7	24 ± 9	[16;56]
Brackvenn centre	7	10 ± 5	[7;30]
Brackvenn nord	10	23 ± 4	[21;39]
Aachener-kreuz 1	14	44 ± 9	[34;70]
Aachener-kreuz 2	10	72 ± 21	[48;135]

Tableau 5 : Estimations de population du Programme CAPTURE pour les captures de mâles (Auteur : CUENOT T.)

Station	Nbr de sessions	Estimation Programme CAPTURE	Intervalle de confiance 95%
Entenpfuhl	9	8 ± 2	[8;17]
Brackvenn ouest	4	31 ± 25	[13;141]
Brackvenn centre	6	11 ± 8	[6;47]
Brackvenn nord	5	34 ± 33	[13;185]
Aachener-kreuz 1	11	43 ± 15	[27;93]
Aachener-kreuz 2	8	40 ± 11	[28;76]

2) Densité de population

A partir de la surface brute des stations, de la surface favorable à la reproduction et des effectifs obtenus ci-dessus, les densités de populations ont été calculées et présentées dans le Tableau 6 et dans le Tableau 7. La densité effective représente la densité calculée à partir de la surface favorable à la reproduction.

Tableau 6 : Densités calculées à partir des effectifs de population totale (Auteur : CUENOT T.)

Station	Surface brute [ha]	Surface favorable à la reproduction [ha]	Densité brute	Densité effective
Entenpfuhl	3	2,3	6 ± 1	8 ± 2
Brackvenn ouest	9,9	9,4	2 ± 1	3 ± 1
Brackvenn centre	9,3	7	1 ± 1	1 ± 1
Brackvenn nord	17,8	11	1 ± 0	2 ± 0
Aachener-kreuz 1	6,4	6	7 ± 1	7 ± 1
Aachener-kreuz 2	8,9	8	8 ± 2	9 ± 3

Tableau 7 : Densités calculées à partir des effectifs de mâles (Auteur : CUENOT T.)

Station	Surface brute [ha]	Surface favorable à la reproduction [ha]	Densité mâles brute	Densité mâles effective
Entenfuhl	3	2,3	3 ± 1	4 ± 1
Brackvenn ouest	9,9	9,4	3 ± 3	3 ± 2
Brackvenn centre	9,3	7	1 ± 1	2 ± 1
Brackvenn nord	17,8	11	2 ± 2	3 ± 3
Aachener-kreuz 1	6,4	6	7 ± 2	7 ± 3
Aachener-kreuz 2	8,9	8	4 ± 1	5 ± 1

E) Déplacements des individus

Une étude des déplacements des individus a elle aussi été réalisée. Il en ressort un déplacement maximum de 423,3m, un déplacement médiant de 38m et un déplacement moyen de 104,8m. De plus, deux individus ont été observés dispersant de Aachener Kreuz 1 à Aachener Kreuz 2 (Figure 17).

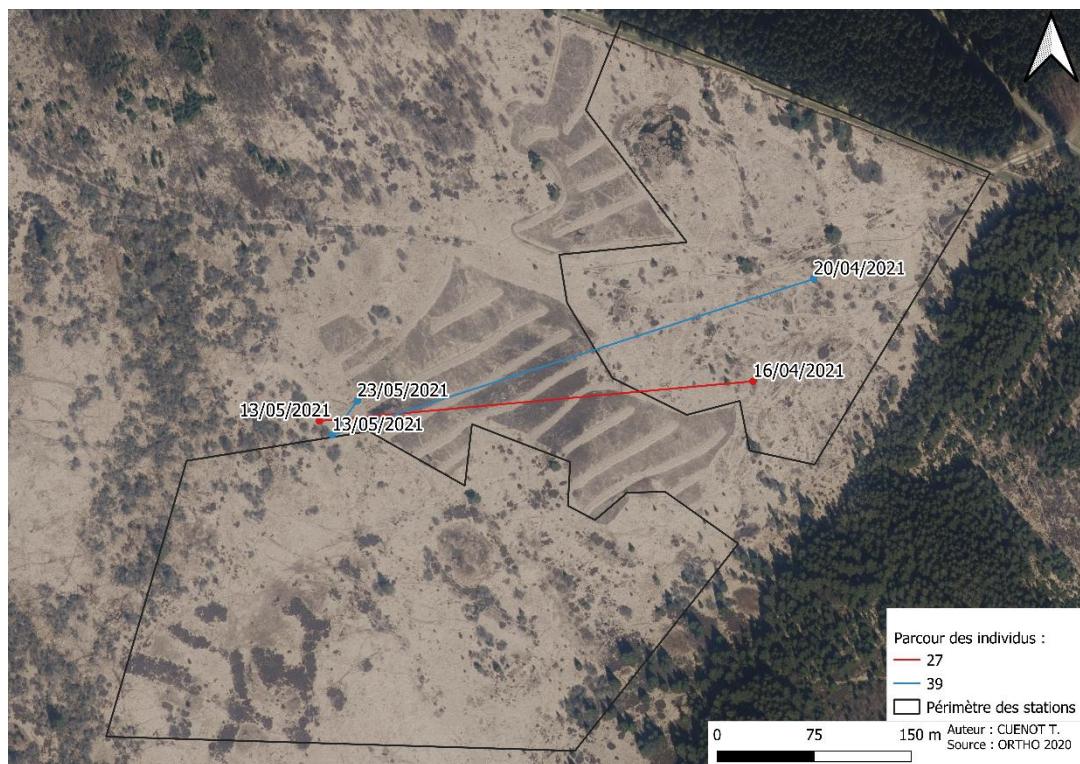


Figure 17 : Dispersion de deux individus entre les deux stations de Aachener Kreuz (Auteur : CUENOT T. ; Source : ORTHO 2020)

F) Points d'observations au cours de l'année

Grâce à un traitement SIG, il a été observé que 36% des observations furent réalisées sur des remparts de lithalses soit sur 20% de la surface des stations.

Des cartes de chaleurs ont été réalisées à partir des observations mensuelles obtenues sur le terrain (Figure 18 et Figure 19). On peut ainsi voir deux points chauds sur la station de Entenpfuhl au mois de mars présentant les deux hibernaculum potentiels de la station. Le même type d'observation est effectué sur les cartes du mois d'avril pour les stations de Aachener Kreuz, du Brackvenn Ouest et du Brackvenn Nord.

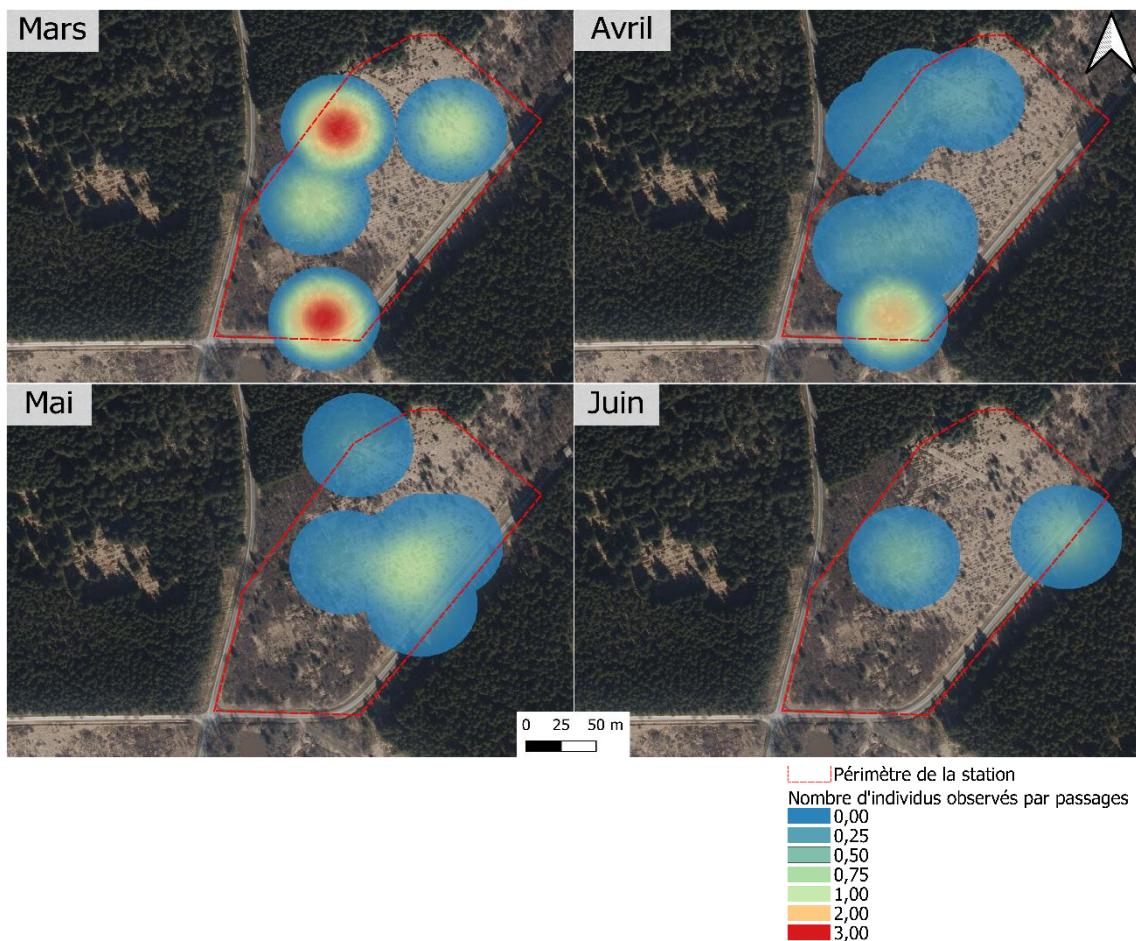


Figure 18 : Observations mensuelles sur la station de Entenpfuhl (Auteur : CUENOT T.)

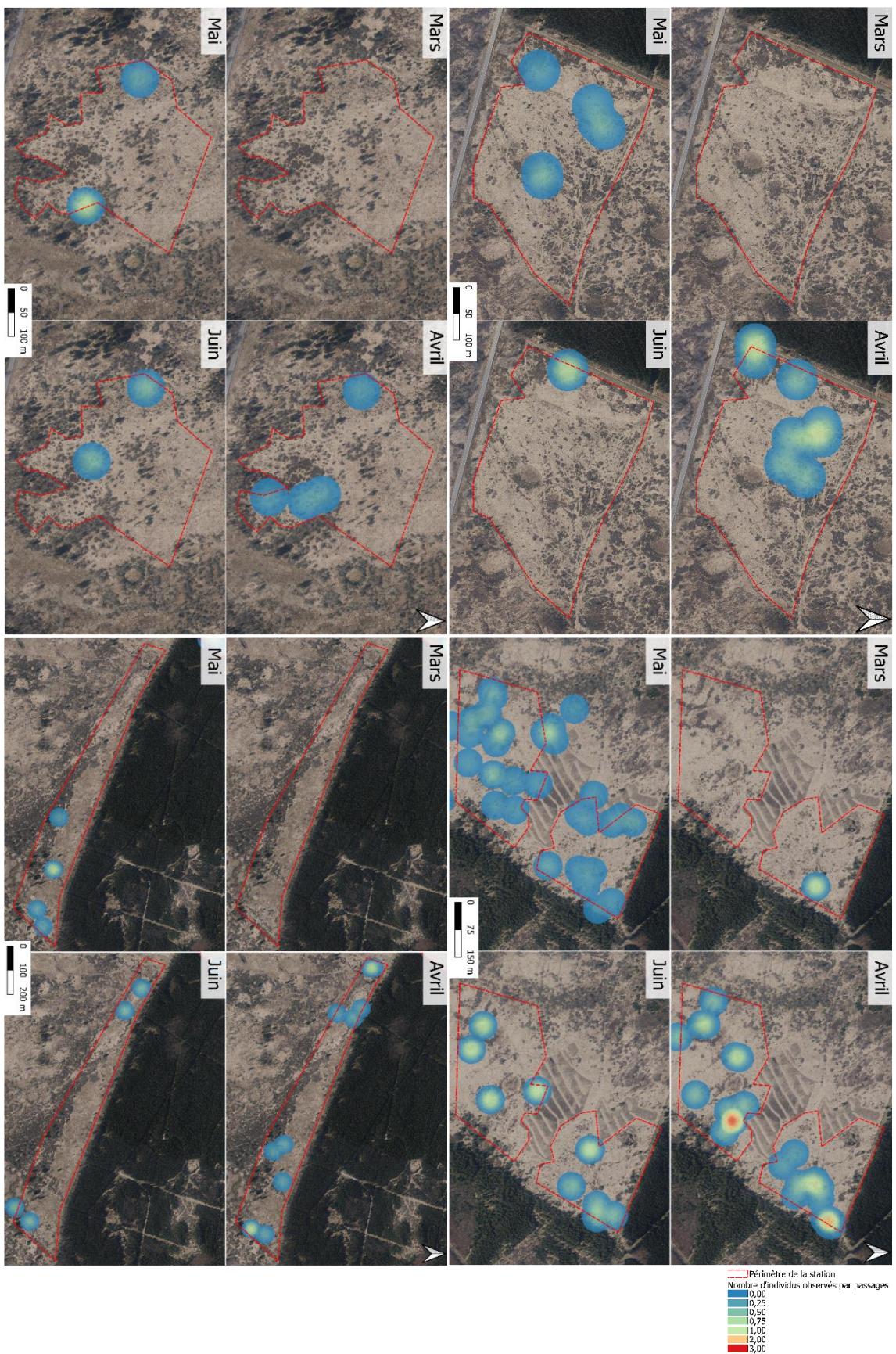


Figure 19 : Observations mensuelles sur les stations du Brackvenn Centre (haut gauche), du Brackvenn Ouest (haut droit), du Brackvenn Nord (bas gauche) et de Aachener Kreuz (Auteur : CUENOT T. ; Source : ORTHO 2020)

IV) Discussion de l'étude

A) Habitats et conditions environnementales privilégiées

1) Végétation

Comme énoncé dans la littérature, la vipère péliaude est une espèce majoritairement associée aux landes ouvertes pourvues d'une végétation basse (Edgar et al., 2010; Graitson, 2011; Paquay & Graitson, 2007). Cela fut confirmé lors de nos prospections. Toutefois une utilisation différente fut constatée entre la végétation rase et la végétation buissonnante. Nous avons ainsi pu montrer que la présence de molinie n'était pas néfaste à la vipère péliaude mais que celle-ci ne constitue pas un habitat de prédilection. Seulement 28 captures furent réalisées en présence exclusive de molinie, la grande majorité des captures a quant à elle été réalisée en présence de massifs d'éricacées. Cependant ce lien entre éricacées et présence de vipères n'a pas pu être mis en évidence au travers des tests de corrélation. Seule une corrélation négative avec la présence de molinie a pu être établie. Ce résultat nous permet de conclure que la vipère péliaude fuit globalement la molinie et qu'elle n'utilise celle-ci que dans le cadre de sa thermorégulation. Les éricacées servent quant à elles d'abris pour l'espèce.

Ces résultats nous ont aussi permis de voir que la vipère péliaude ne cherchait pas spécifiquement les éricacées comme abri étant donné qu'aucune corrélation n'a pu être établie. Celles-ci ont plutôt une affection pour les massifs végétaux denses avec des zones ouvertes hors de la molinie. Ainsi toute autre végétation buissonnante telle que des boules de saules, des framboisiers ou des ronciers (Edgar et al., 2010; Graitson, 2011; Paquay & Graitson, 2007) jouerait le même rôle que celui observé pour les éricacées.

2) Conditions météorologiques

Comme le démontre la littérature scientifique, les conditions optimales pour l'observation de la vipère péliaude correspondent à une météo nuageuse avec une température comprise entre 10°C et 15°C (Edgar et al., 2010; Graitson, 2011; Paquay & Graitson, 2007; Ursenbacher, 1998). Les résultats obtenus lors de ce stage ont confirmé cela avec une majorité des observations effectuées avec une température inférieure à 15°C. En se concentrant uniquement sur les mâles, une optimum de température située entre 8°C et 12°C a été mise en évidence alors que l'éventail de température pour l'observation des femelles nous apparaît plus large. Les femelles semblent ainsi plus tolérantes face aux écarts de température. Ces hypothèses quant aux optimums de températures différents chez les mâles et les femelles sont toutefois à considérer avec du recul. En effet, les données sont biaisées en raison des mauvaises conditions de prospection survenues durant la fin de la période d'accouplement des vipères. L'échantillonnage n'a donc pas pu être réalisé correctement à des moments où les mâles auraient pu être observés sous des températures plus élevées. Un autre biais possible est lié à la détectabilité des individus mâles en fin de printemps et en été. En effet, une fois la période d'accouplement terminée, les mâles n'ont plus besoin de sortir pour chercher les femelles. Ils ne sortent alors que pour assurer leurs fonctions vitales (Paquay & Graitson, 2007). En été, lorsque la température est plus élevée, ils ont donc l'occasion de sortir plus tôt dans la journée pour subvenir à leurs besoins de thermorégulation et restent la plupart du temps cachés pendant les sessions de CMR. Ceci est accentué par les règles en vigueur dans la réserve des Hautes-Fagnes n'autorisant pas les prospections tôt le matin quand des mâles pourraient potentiellement être en train de se chauffer.

Un autre résultat de cette étude est la confirmation que la couverture nuageuse influence positivement le nombre d'observations de vipères. En effet, seule une faible proportion des observations fut réalisée par temps ensoleillé. Cette influence de l'ensoleillement a ensuite été confirmée grâce aux modélisations GLMer. Ces modélisations ont ainsi montré que la variable ensoleillement était le paramètre le plus explicatif du nombre d'observations. Toutefois ce résultat est

lui aussi à considérer avec du recul car la collecte de données fut réalisée dans le cadre de protocole CMR, les sessions sans capture n'ont donc pas été comptabilisées. Ainsi, la modélisation GLMer a été réalisée sans prise en compte des paramètres non favorables à l'observation de vipère péliaude. La valeur zéro est donc exclue de notre série de données alors que celle-ci est nécessaire à la loi de Poisson suivie par la modélisation GLMer.

B) Caractéristiques de la population : phénotypes et sexes

1) Sexes

a. Sexe-ratio

Durant cette étude, un sexe-ratio de 1,76 a été observé. La littérature indique quant à elle que, dans les grandes populations, le sexe-ratio tend vers 1 (Bury et al., 2020; Ursenbacher, 1998). Ce déséquilibre, observé dans la population des Hautes Fagnes peut être expliqué de plusieurs manières. Premièrement, comme évoqué ci-dessus, un biais du jeu de données en faveur des mâles existe de par les conditions de prospections. Deuxièmement, le dimorphisme sexuel étant particulièrement marqué chez la vipère péliaude, il apparaît une différence de détectabilité entre les individus mâles et femelles. Cette différence de détectabilité implique donc un biais lié à l'observateur. Certains auront tendance à plus détecter les mâles et d'autres les femelles.

Ce sexe-ratio de 1,76 observé, est donc le résultat de différents biais causés par les conditions météorologiques et par l'observateur. Il est donc possible de penser que le sexe-ratio réel de la population tend bel et bien vers 1 comme indiqué dans les études ultérieurs (Bury et al., 2020; Ursenbacher, 1998).

b. Phénologie

La vipère péliaude est un serpent qui hiberne (Paquay & Graitson, 2007). A la fin de l'hiver, les mâles sortent d'hibernation et se mettent en quête de femelles en vue de s'accoupler. Il est donc normal d'observer un décalage de phénologie en fonction du sexe chez cette espèce. Dans les Hautes-Fagnes, le climat est froid et se rapproche de régions montagneuses comme le Jura et l'hiver est donc plus rude (Ercicum et al., 1991). Bien que les premières vipères dans les populations wallonnes sortent au début de l'année civile vers les mois de janvier et février (Paquay & Graitson, 2007), à cette période le sol dans les Hautes-Fagnes est encore gelé et les vipères n'ont aucun intérêt à sortir car la thermorégulation serait trop difficile. La sortie d'hibernation, plus tardive, constitue donc une adaptation au climat particulier du plateau des Hautes-Fagnes.

Dès lors, le premier individu mâle a été observé pendant le mois de mars. Les résultats ont alors montré que le nombre de femelles observées en mars était double par rapport au nombre de mâles. Il serait donc logique de penser que les femelles sortent en même temps que les mâles mais ce n'est pas le cas. Ce biais est introduit par le fait que la saison de prospection n'a pu débuter qu'à partir du 29 mars et que la météo s'est ensuite dégradée avec des averses neigeuses ce qui a empêché le bon échantillonnage pendant les premiers jours de sortie d'hibernation. Malgré cela, durant les mois suivants, le décalage de phénologie a pu être observé car le nombre de mâles observés a été significativement plus élevé que le nombre de femelles confirmant encore une fois la sortie d'hibernation plus précoce des mâles.

Au vu des données récoltées, une période spécifique d'activité des femelles n'est pas spécialement évidente à observer. Cependant, il faut garder à l'esprit que les conditions météorologiques durant la période propice à l'observation de femelles n'étaient pas du tout optimales ce qui a fortement biaisé les données vers les mâles. Si les conditions avaient été bonnes pendant les mois de juin et de juillet,

il ne fait aucun doute que le sex-ratio aurait été plus équilibré et surtout que le décalage phénologique aurait été plus clair même si la p-value du test statistique réalisé montre une différence significative.

2) Phénotypes

On retrouve couramment dans la littérature que le mélanisme chez les serpents est une adaptation aux climats froids (Bury et al., 2020; Guiller et al., 2019; Ursenbacher et al., 2009). Chez la vipère péliade, le phénotype mélanique est souvent minoritaire (Guiller et al., 2019) mais certaines populations montagneuses telles que celle du Jura peuvent atteindre des taux de mélanisme de 50% (Ursenbacher et al., 2009). Ce mélanisme pourrait alors offrir un avantage de thermorégulation grâce à un albedo plus faible (Guiller et al., 2019). Le taux de mélanisme élevé de 43% observé sur la population des Hautes Fagnes n'est donc pas surprenant en raison du climat froid de la région.

Un second résultat, plus surprenant quant à lui, est la différence phénotypique en fonction du sexe. En effet un taux de 30% de mélanisme chez les femelles a été observé contre environ 50% chez les mâles. Une explication de ce résultat peut se faire par le fait que le mélanisme peut permettre aux mâles de sortir plus tôt d'hibernation. Une hypothèse est donc que les mâles auraient un avantage sélectif par rapport aux individus de phénotype normal car ceux-ci pourraient se chauffer plus vite et donc partir en quête de femelles plus tôt et ainsi accroître leur chance d'accouplement et leur succès reproducteur. Une seconde hypothèse est que le mélanisme pourrait jouer un rôle dans le choix du partenaire sexuel. En effet, il se pourrait que la coloration de la tête des individus soit un critère de sélection de partenaire pour les femelles lors des accouplements (Guiller et al., 2019).

Ce second résultat étant statistiquement jugé significatif, il est important de rester prudent car, comme expliqué précédemment, notre jeu de données est biaisé en faveur des mâles même si notre échantillon de femelles reste correct ($n>50$). Il est donc probable que si le nombre de femelles trouvées était égal à celui des mâles, la proportion de phénotypes sombres aurait également augmenté. De plus, lorsque les femelles sont gestantes, la vitellogenèse est un processus très demandeur en énergie et donc qui nécessite de hauts besoins en thermorégulation des individus (Guiller et al., 2019). Les femelles possèdent donc également un avantage sélectif à arborer ces phénotypes.

La diversité phénotypique observée lors de cette étude (Annexe 6) permet aussi de poser des hypothèses quant aux origines de cette population. Le polymorphisme très limité des populations Wallonnes et françaises (Guiller et al., 2019) confirme le fait que la population des Hautes Fagnes est issue d'une introduction. Parmi la grande diversité de phénotypes observés durant les sessions de CMR, deux individus typés de la sous-espèce *Vipera berus bosniensis* ont été observés dans deux stations différentes. Cette diversité, illustration d'un pool génétique très diversifié, ne permet pas d'expliquer à lui seul l'origine de la population étudiée mais elle permet de penser que la population introduite est génétiquement éloignée des vipères belges.

C) Estimations et densité

A) Estimation

Comme expliqué précédemment, les conditions météorologiques défavorables ont biaisé les données en faveur des mâles. Cela a donc empêché de faire une estimation fiable en population totale, seule une estimation sur les mâles a pu être réalisée malgré un nombre de sessions de terrain théoriquement suffisant à l'échantillonnage complet de la population. Un nombre de passages supplémentaires aurait donc été nécessaire afin de palier ce biais mais, les landes tourbeuses étant des milieux sensibles au piétinement (Dufrêne et al., 2015), il était impossible de réaliser des sessions supplémentaires sans toucher à l'intégrité du milieu.

L'étude aboutissant seulement à une estimation du nombre de mâles, il est néanmoins possible d'estimer la population totale. En effet, comme cité précédemment, un sexe-ratio de 1 est couramment observé dans les grandes populations de vipère péliaide (Bury et al., 2020; Ursenbacher, 1998). Il est donc possible d'avoir une idée de l'effectif de la population totale en multipliant par deux le nombre de mâles.

Sur le plan de la méthode, une estimation en population close (CAPTURE) a été choisie de par le caractère sédentaire de la vipère péliaide (Paquay & Graitson, 2007). Néanmoins des individus ont été observés se déplaçant d'une station vers une autre comme ce fut le cas entre Entenpfuhl et le Brackvenn Ouest (observation par un garde du DNF) et entre les deux stations de Aachener Kreuz. Une étude en population ouverte serait donc intéressante bien que celle-ci nécessite plusieurs années de CMR dans le cas de cette espèce (Ursenbacher, 1998).

B) Densité

A partir de l'hypothèse d'un sexe-ratio de 1 explicitée ci-dessus, les densités calculées pour les mâles peuvent être elles aussi doublées. Une densité moyenne comprise entre 6,6 et 7,5 individus par hectare a ainsi été estimée durant cette étude. Cette densité place la population des Hautes Fagnes dans la fourchette haute des populations européennes. Pour comparaison, des densités d'environ 6,6 individus par hectares ont été recensées en Belgique (Vynckier, 2012). Les densités sur le massif du Jura sont quant à elles beaucoup plus faibles de l'ordre de 1 individu par hectare (Ursenbacher, 1998). Dans les Alpes, les populations ont quant à elles des densités entre 5,3 et 5,5 individus par hectare (Monney, 1996) avec des extrêmes dans les Alpes sub-orientales à 11,1 individus par hectare (Luiselli, 1993).

La densité moyenne obtenue dans cette étude peut aussi permettre d'estimer la population totale après recolonisation dans la réserve des Hautes Fagnes en la multipliant à la surface favorable calculée par SIG (généralisation sur calcul utilisé ici à l'échelle des stations de CMR).

V) Conclusion de l'étude

Bien que les résultats de cette étude soient quantitatifs, fournissant une estimation de la population sur la réserve des Hautes Fagnes, ils sont aussi qualitatifs car ils permettent de mettre en avant l'importance majeure de conservation entourant cette population faisant partie des plus grandes d'Europe. Il est indéniable que la population étudiée présente des effectifs et des densités très importants en comparaison aux autres populations. Dans une optique de conservation de cette population, il faudra, à l'avenir, préciser la répartition de cette espèce dans la réserve d'autant plus que de nombreuses zones des Hautes Fagnes présentent des habitats très favorables à la présence de vipères péliales et sont donc susceptibles d'accueillir de nouvelles populations. En parallèle, malgré le fait que l'espèce soit connue pour être sédentaire, il faudra s'intéresser au potentiel dispersif des individus et à leur capacité de colonisation, notamment en milieu fragmenté afin de définir les routes de recolonisation de l'espèce et les futures places de réintroduction. En plus de cela, l'origine de cette population reste encore inconnue, elle restera donc à élucider. En ce sens, des analyses génétiques par prélèvement d'ADN sont en cours. La grande proportion d'individus mélaniques nous fait écarter l'idée d'une origine occidentale, en faveur d'une provenance du clade d'Europe de l'Est, bien que cela reste à démontrer et à approfondir.

Tout porte à croire que la population établie dans les Hautes Fagnes soit en pleine expansion. Bien que l'on ne connaisse pas le nombre initial d'individus introduits à l'instant zéro, le nombre d'individus capturés aujourd'hui et la zone sur laquelle s'étend la population nous font penser que la population a été en pleine croissance depuis son introduction. Toujours est-il que l'établissement de cette

population dans les Hautes Fagnes n'a jamais rien eu d'officiel et qu'il s'agit là d'un acte d'introduction délibéré et paradoxalement illégal. Cette dimension illégale crée de nombreux débats quant à la conservation de cette population. En effet, ce genre d'acte, bien que pouvant être considéré comme louable dans un but de conservation, peut avoir des conséquences non négligeables sur les écosystèmes. Aussi, bien que la vipère péliaude soit en régression dans de nombreux pays, l'introduction de cette espèce dans les Hautes-Fagnes doit inviter à la réflexion. Mais maintenant que cette population est installée, il s'agit d'une bonne opportunité pour étudier son évolution démographique et génétique dans un but de conservation.

VI) Conclusion du stage

La participation à cette étude a été pour moi l'occasion de pratiquer ma passion dans un cadre professionnel et plus rigoureux qu'en associations. J'ai ainsi pu développer mes compétences en herpétoologie et plus particulièrement en détection des individus sur le terrain, que ce soit pour la vipère péliaude, la couleuvre helvétique, la coronelle lisse ainsi que le lézard vivipare et l'orvet fragile. Ce stage a aussi été un moyen de m'entraîner à la manipulation de reptiles. Ces différentes compétences ne me seront que bénéfiques dans un avenir professionnel et associatif.

Sur des aspects plus techniques, cette étude m'a permis de renforcer ma formation en dynamique des populations (logiciel MARK, programme CAPTURE, programme POPAN), en biostatistiques (ACP, tests de corrélation, Chi², ANOVA) et en SIG (QGis). Ce stage fut aussi l'occasion pour moi de découvrir le langage R (réalisation des tests statistiques et modélisation GLM), indispensable en biologie.

Cette étude fut aussi un vecteur d'apprentissage de la gestion d'une étude en autonomie et de la rigueur de travail nécessaire lors de la collecte de données de terrain et de leur analyse.

En dehors des objectifs principaux de ce stage, le cadre de travail que représente le plateau des Hautes Fagnes m'a permis de travailler mes compétences naturalistes notamment en botanique, ornithologie et entomologie. Le cadre de la réserve en lui-même m'a montré une autre méthode de gestion que celle réalisée en France avec ses points positifs et ses points négatifs. Le cadre de la station scientifique, dans laquelle j'ai logé tout au long de ce stage, fut aussi source d'apprentissage et de rencontre. J'ai ainsi pu contribuer à un projet de restauration de tourbière (plantation des taxons *Andromeda polifolia* et *Vaccinium oxycoccus*) et pu suivre les avancées d'autres études telles que celles entourant le tétra lyre et le loup, espèces emblématiques du parc naturel.

Sur le plan relationnel, le fait de travailler dans une station scientifique au contact permanent de mes collègues m'a permis de nouer de vrais contacts personnels et professionnels. Le travail d'équipe fut le maître mot de ce stage et chacun a eu l'occasion d'apporter sa contribution à l'étude.

Bibliographie :

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bauwens, D., Claus, K., & Mergeay, J. (2018). Genotyping validates photo-identification by the head scale pattern in a large population of the European adder (*Vipera berus*). *Ecology and Evolution*, 8(5), 2985-2992. <https://doi.org/10.1002/ece3.3917>
- Benson, P. A. (1999). *Identifying individual adders, vipera rebus, within an isolated colony in East Yorkshire*. 7.
- Bury, S., Mazgajski, T. D., Najbar, B., Zajac, B., & Kurek, K. (2020). Melanism, body size, and sex ratio in snakes : New data on the grass snake (*Natrix natrix*) and synthesis. *The Science of Nature*, 107(3), 22. <https://doi.org/10.1007/s00114-020-01678-x>
- De Witte, G. F. (1948). *Vipera berus berus* (Linné). In *AMPHIBIENS ET REPTILES* (Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique, p. 272-279).
- Définition de Touradon.* (s. d.). Actu-Environnement; Actu-environnement. Consulté 28 juin 2021, à l'adresse https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/touradon.php4
- Duchesne, T. (2020). *Modélisation de l'occupation d'une espèce à faible détectabilité : Le cas de la population de vipères péliades (Vipera berus L. 1758) dans les Hautes-Fagnes*.
- Dufrêne, M., Frankard, P., Plunus, J., Loute, M., Cristofoli, S., Pironet, A., Motte, G., & Parkinson, D. (2015). *Le méta-projet de restauration des tourbières de Haute-Ardenne*.
- Edgar, P., Foster, J., Baker, J., & Amphibian and Reptile Conservation (Organization). (2010). *Reptile habitat management handbook*. Amphibian and Reptile Conservation.
- Erpicum, Mabille, & Vlassis. (1991). *Variabilité spatiale et temporelle de l'enneigement du sol en Belgique*. 4, 267-273.
- Graitson, E. (2011). *Plan d'action pour la Vipère péliade (Vipera berus) en Wallonie*.
- Guiller, G., Bentz, G., Naulleau, G., & Lourdais, O. (2019). *Mélanisme, coloration atypique et assombrissement ontogénique chez la Vipère péliade Vipera berus (Linnaeus, 1758) dans l'ouest de la France*.
- Hautes Fagnes-Eifel. (s. d.). *Parcs naturels de Wallonie*. Consulté 27 avril 2021, à l'adresse <https://www.parcnaturelsdewallonie.be/parcs/hautes-fagnes-eifel/>
- hibernaculum—Dictionnaire des Sciences Animales.* (s. d.). Consulté 4 mai 2021, à l'adresse <http://dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=13724&def=hibernaculum>
- Janssen, P. (2014). *DE ADDER VIPERA BERUS (LINNAEUS, 1758)*. 4, 253-289.
- Jolly, G. M. (1965). Explicit Estimates from Capture-Recapture Data with Both Death and Immigration-Stochastic Model. *Biometrika*, 52(1/2), 225. <https://doi.org/10.2307/2333826>
- Larousse, É. (s. d.). *Définitions : Squamate - Dictionnaire de français Larousse*. Consulté 4 mai 2021, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/squamate/74366>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lelievre, H. (2010). *Stratégies de thermorégulation chez deux colubridés sympatriques : La couleuvre verte et jaune Hierophis viridiflavus et la couleuvre d'esculape zamenis longissimus. Une approche intégrée de la physiologie à la démographie*.
- Lincoln, F. C. (1930). *Calculating Waterfowl Abundance on the Basis of Banding Returns*. U.S. Department of Agriculture.

Luiselli, L. (1993). Are sperm storage and within-season multiple mating important components of the adder reproductive biology? *Are sperm storage and within-season multiple mating important components of the adder reproductive biology?*, 14(5), 705-710.

Monney, J.-C. (1996). *Biologie comparée de Vipera aspis L. et de Vipera berus L. (Reptilia, Ophidia, Viperidae) dans une station des Préalpes bernoises*. [s.n.].

Natagora. (s. d.-a). *Nos actions*. Natagora. Consulté 26 avril 2021, à l'adresse <https://www.natagora.be/nos-actions>

Natagora. (s. d.-b). *Notre organisation*. Natagora. Consulté 24 avril 2021, à l'adresse <https://www.natagora.be/notre-organisation>

Natagora. (s. d.-c). *Rainne, pôle herpétologique*. Natagora. Consulté 24 avril 2021, à l'adresse <https://www.natagora.be/rainne-pole-herpetologique>

Natagora. (2019). *Rapport annuel*. <https://www.natagora.be/rapport-annuel>

Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 135(3), 370. <https://doi.org/10.2307/2344614>

Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C., & Anderson, D. R. (1978). Statistical Inference from Capture Data on Closed Animal Populations. *Wildlife Monographs*, 62, 3-135.

Paquay, M., & Graitson, E. (2007). La Vipère péliaude. In *Amphibiens et Reptiles de Wallonie* (p. 266-277).

Parent, G. H. (1968). *Contribution à la connaissance du peuplement herpethologique de la Belgique*. https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-of-the-royal-belgian-institute-of-natural-sciences/44-1968/irscnb_p4087_rbins17593_44_bulletin-29.pdf

Pearson, K. (1900). X. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling</i>. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 50(302), 157-175. <https://doi.org/10.1080/14786440009463897>

Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559-572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>

Petersen, J. (1896). *The yearly immigration of young plaice in the Limfjord from the German sea*. (Vol. 6; p. 1-48).

Prestr, I. (2009). An ecological study of the viper *Vipera berus* in southern Britain. *Journal of Zoology*, 164(3), 373-418. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1971.tb01324.x>

R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Saint Girons, H. (1952). *Ecologie et éthologie des vipères de France*.

Saint Girons, H. (1980). *Biogéographie et évolution des vipères européennes*.

Schiemann, H. (1995). *Die Kreuzotter*.

Schwarz, C. J., & Arnason, A. N. (1996). A General Methodology for the Analysis of Capture-Recapture Experiments in Open Populations. *Biometrics*, 52(3), 860. <https://doi.org/10.2307/2533048>

Seber, G. A. F. (1965). A Note on the Multiple-Recapture Census. *Biometrika*, 52(1/2), 249. <https://doi.org/10.2307/2333827>

Speybroeck, J., BEUKEMA, W., & VAN DER VOORT, J. (2018). *Guide Delachaux des Amphibiens et Reptiles de France et d'Europe*. delachaux et niestlé.

Tout savoir sur le Parc naturel des Hautes Fagnes—Cantons de l'Est. (s. d.). Consulté 27 avril 2021, à l'adresse <https://www.ostbelgien.eu/fr/que-faire/ou-aller/hautes-fagnes/tout-savoir-sur-les-hautes-fagnes>

Ursenbacher, S. (1998). *Estimation de l'effectif et analyse du risque d'extinction d'une population de Vipère péliaude (Vipera berus L.) dans le Jura vaudois.* https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_1F390C853E08.P001/REF

Ursenbacher, S. (2010). La vipère péliaude. In *Les Reptiles de France, Belgique, Luxembourg et Suisse* (biotope Editions, p. 496-503).

Ursenbacher, S., & Monney, J.-C. (2003). *Résultats de 5 années de suivi d'une population de Vipère péliaude (Vipera berus) dans le Jura Suisse : Estimation des effectifs et discussion des méthodes d'estimation.* 12.

Ursenbacher, S., Monney, J.-C., & Fumagalli, L. (2009). Limited genetic diversity and high differentiation among the remnant adder (*Vipera berus*) populations in the Swiss and French Jura Mountains. *Conservation Genetics*, 10(2), 303-315. <https://doi.org/10.1007/s10592-008-9580-7>

Vynckier, T. (2012). *Estimation de l'effectif des populations de la vipère péliaude (Vipera b. Berus L.) en Wallonie et mise au point d'une stratégie d'actions pour sa conservation.*

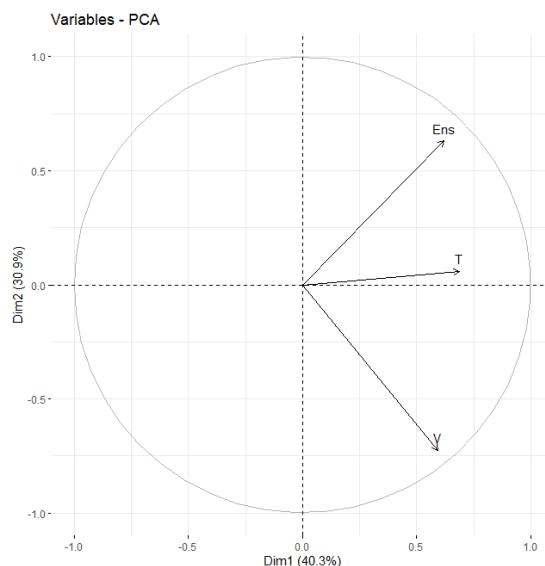
Wissler, C. (1905). The Spearman Correlation Formula. *Science*, 22(558), 309-311.

Annexes :

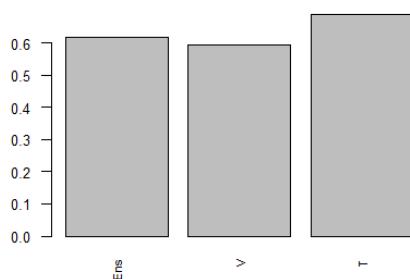
Annexe 1 : Résultat des estimations des populations de mâle par le modèle POPAN (Auteur : CUENOT T.)

Station	Nbr de sessions	Estimation POPAN	Intervalle de confiance 95%
Entenpfuhl	9	7 ± 0	[7;7]
Brackvenn ouest	4	12 ± 9	[9;68]
Brackvenn centre	6	5 ± 0	[5;5]
Brackvenn nord	5	20 ± 15	[10;90]
Aachener-kreuz 1	11	20 ± 3	[19;41]
Aachener-kreuz 2	8	37 ± 17	[24;106]

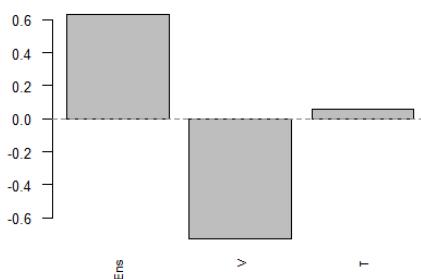
Annexe 2 : Résultats de l'ACP sur les facteurs météorologiques (Auteur : CUENOT T.)



Coéficients de corrélation PC1



Coéficients de corrélation PC2



Annexe 3 : Résultats des tests de corrélation de Spearman (Auteur : CUENOT T.)

Corrélation testée	p-value	rho
Nombre d'observations / Température	0,46	-0,12
Nombre d'observations / Température ²	0,07	0,27
Nombre d'observations / Vent	0,4	-0,13
Nombre d'observations / Ensoleillement	0,24	-0,18

Annexe 4 : Chi² entre le sexe et le mois de l'année (Auteur : CUENOT T.)

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Total
M	1	55	45	1	2	104
F	2	8	29	13	10	62
Total	3	63	74	14	12	166

Effectifs théoriques :

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
M	1,87951807	39,4698795	46,3614458	8,77108434	7,51807229
F	1,12048193	23,5301205	27,6385542	5,22891566	4,48192771

Calculs intermédiaires :

0,41156935	6,11059991	0,03998009	6,88509533	4,05012357
0,6903744	10,2500386	0,06706337	11,5491922	6,79375567

p-value : 1.640386099114E-9

Khi²

calculé= 46,84

Ddl = 4

Khi² th = 9,488

Annexe 5 : Chi² entre le phénotype et le sexe (Auteur : CUENOT T.)

Effectifs théoriques :

	M	F	Total
Normal	44	36	80
Mélanisant	18	8	26
Mélanique	27	7	34
Total	89	51	140

M	F
50,8571429	29,1428571
16,5285714	9,47142857
21,6142857	12,3857143

p-value : 0.037226804544506

Ddl = 2

Khi²

calculé= 6,58145245

Khi² th = 5,991

Calculs intermédiaires :

0,92455859	1,61344538
0,13099148	0,22859298
1,34197904	2,34188499

Annexe 6 : Mosaïque illustrant la diversité de phénotypes observés lors des sessions de CMR (Auteur : CUENOT T.)



Thibault CUENOT

2020-2021

Estimation de l'effectif et des densités de la population de vipère péliade (*Vipera berus*) présente dans les Hautes Fagnes, par la méthode de Capture-Marquage-Recapture

Résumé : La vipère péliade (*Vipera berus*) est l'espèce de serpent terrestre ayant la répartition mondiale la plus large, couvrant plus d'un tiers du continent eurasien. Malgré cette impressionnante distribution, de nombreuses populations de vipères péliades sont en déclin du fait de la destruction, la fragmentation des habitats et des activités humaines. C'est le cas de la plupart des populations présentes en Wallonie. Néanmoins, la population présente dans la réserve des Hautes Fagnes, découverte il y a de cela une quinzaine d'années, semble être en pleine expansion. L'objectif de cette étude est d'estimer par la méthode de Capture-Marquage-Recapture, la taille et la densité de la population de vipère péliade dans les Hautes Fagnes. Pour cela, 6 stations réparties à travers la réserve ont été prospectées. Pour estimer les effectifs, le logiciel MARK et le programme Capture ont été utilisés. Au final, les effectifs dans ces stations sont estimés entre 8 et 43 mâles pour des densités comprises entre 3 et 7 mâles par hectares.

Abstract : The northern adder (*Vipera berus*) is the most widely distributed species of land snake in the world, covering more than a third of the Eurasian continent. Despite this impressive distribution, many populations of northern adders are declining due to habitat destruction, fragmentation and human activities. This is the case for most of the populations present in Wallonia. Nevertheless, the population present in the Hautes Fagnes reserve, discovered about 15 years ago, seems to be in full expansion. The objective of this study is to estimate by the method of Capture-Marking-Recapture, the size and density of the population of the adder in the Hautes Fagnes. For this purpose, 6 stations distributed throughout the reserve were surveyed. To estimate the numbers, the MARK software and the program Capture were used. In the end, the numbers in these stations were estimated to be between 8 and 43 males for densities between 3 and 7 males per hectare.

Mots Clés : Vipère péliade / Dynamique de population / Conservation / Herpétologie

NATAGORA ASBL
Traverse des Muses 1, 5002 Namur

Tuteur entreprise : Graitson Éric Tuteur académique : Grellier Séraphine

