

Évaluation de l'âge des individus de deux espèces de serpents : la couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissimus*) et la couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*) en fonction de leurs données biométriques.



Présenté par **Inès PICOT**

15 avril au 19 juin 2024 | Soutenance : 21 Juin 2024

Rapport de stage de Master 1 Biodiversité, Écologie, Évolution (BEE)

Parcours : Gestion de la biodiversité dans les socio-écosystèmes (GeB)

Années universitaire : 2023-2024

Tuteur universitaire : **David LESBARRERES**

Tuteur de stage : **Xavier BONNET**

Université d'Angers Faculté des Sciences 2 boulevard Lavoisier 49045 Angers Cedex	Master 1 Biodiversité Ecologie-Evolution Parcours Gestion de la Biodiversité dans les socio-écosystèmes
Type de stage : académique (Type 1)	Dates de stage : 15 avril au 19 juin 2024
Auteur : Inès PICOT	Organisme d'accueil : CNRS UMR7372 CEBC
Année universitaire : 2023-2024	Maître de stage : Xavier BONNET

TITRE : Age assessment of individuals of two species: the Aesculapian snake (*Zamenis longissimus*) and the green whip snake (*Hierophis viridiflavus*) based on their biometric data.

Mots-clés : CMR – Age – Serpents – Taille - Suivis long termes

Le déclin de la biodiversité nous pousse à approfondir notre compréhension des dynamiques des populations animales. Obtenir des données précises sur l'âge des individus est crucial pour l'écologie des populations, la biologie évolutive et la conservation, car ces informations fournissent des indications essentielles sur la structure et la santé des populations. Malgré l'importance des serpents dans les écosystèmes, très peu d'études se sont focalisées sur leurs classes d'âge. Cette étude repose sur des suivis à long terme de populations de serpents par Capture-Marquage-Recapture dans la Réserve Biologique Intégrale de Chizé. Des suivis individuels, de nouveau-nés à adultes, ont été recueillis pour la couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissimus*) et la couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*), afin de déterminer l'âge à partir de la taille (Snout Vent Length, longueur museau-cloaque) et de la longueur de la mâchoire. Pour *H. viridiflavus* et *Z. longissimus*, nous avons obtenu une bonne corrélation entre les données biométriques et l'âge des individus, qu'on prenne en compte ou non la période d'hibernation. Nous avons constaté que le sexe n'influence pas la relation biométrique en fonction de l'âge. En comparant ces deux espèces, nous avons observé que *H. viridiflavus* a un taux de croissance supérieur à *Z. longissimus*, même dans des habitats défavorables, ce qui est le cas dans notre zone d'étude. Cela souligne que, bien que ces deux espèces se ressemblent fortement, elles possèdent des traits écologiques bien distincts. Il serait intéressant de poursuivre cette étude en prenant en compte la période d'hibernation réelle, car dans ce travail, la période de pause a été fixée à 83 jours par an. Une analyse plus fine de cette période pourrait fournir des informations plus précises sur les dynamiques de croissance et les traits écologiques des deux espèces.

Key-words : CMR – Age – Snakes – Size - Long-term survey

The decline in biodiversity is pushing us to deepen our understanding of animal population dynamics. Obtaining accurate data on the age of individuals is crucial for population ecology, evolutionary biology and conservation, as this information provides essential insights into the structure and health status of populations. Despite the importance of snakes in ecosystems, very few studies have focused on their age categories. This study is based on long-term Capture-Marking-Recapture monitoring of snake populations in the Réserve Biologique Intégrale de Chizé. Individual Aesculapian snake (*Zamenis longissimus*) and the green whip snake (*Hierophis viridiflavus*), ranging from neonates to adults, were monitored to determine their age using their body size (Snout Vent Length) and jaw length. For *H. viridiflavus* and *Z. longissimus*, we obtained a strong correlation between biometric data and individual age, whether or not the hibernation period was taken into account. However, we found that sex had no influence on this relationship. By comparing these two species, we observed that *H. viridiflavus* exhibits a higher growth rate than *Z. longissimus*, even when its habitat is not favorable, which is the case in our study area. This underlines the fact that, although these two species are very similar, they have very distinct ecological traits. It would be interesting to continue this study by taking into account the actual hibernation period, as in this work, the pause period was set at 83 days per year. A more detailed analysis of this period could provide more precise information on growth rates and ecological traits of the two species.

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier Olivier Pays-Volard, responsable du master mention Biodiversité, Ecologie, Evolution ; Damien Picard, responsable des M1 parcours Gestion de la Biodiversité dans les socio-écosystèmes pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Ainsi que David Lesbarreres, notre enseignant tuteur, pour son accompagnement tout au long de ce stage.

Je remercie l'équipe de la faculté de sciences et le secrétaire Olivier Guitton pour avoir aidé à la réalisation de ce stage.

Merci à toutes les équipes du Centre d'Etudes Biologique de Chizé (CEBC) de m'avoir accueilli dans leur structure.

Je suis très reconnaissante envers Xavier Bonnet, mon encadrant lors de ce stage, pour ses précieux conseils, et tout ce que j'ai pu apprendre à ses côtés. Grâce à lui, j'ai appris sur les serpents, j'ai su les manipuler et prendre leurs données biométriques en respectant l'animal. Ces deux mois ont été un enrichissement personnel et professionnel, et me confortent dans l'intérêt que je porte aux reptiles.

Je tiens à remercier Guillaume Fosseries, pour son accueil, ses connaissances transmises et son soutien. Merci pour tous les conseils pour mon avenir.

Merci à mes collègues de terrain, Alice Dubosc, Lison Dupond, Inès Laval et Marie Thalhammer, avec qui j'ai passé de bons moments et des éclats de rire.

Merci à tous les stagiaires des différentes équipes pour leur soutien sur le terrain et leur bonne humeur.

Et enfin, mes derniers remerciements sont attribués aux serpents qui, en tant que sujet d'étude m'ont permis de réaliser ce rapport.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DE FIGURES	6
LISTE DES ANNEXES	6
GLOSSAIRE	8
PRÉAMBULE	9
INTRODUCTION	10
MATÉRIELS ET MÉTHODES	11
Système étudié.....	11
1) La zone d'étude	11
2) Les serpents comme objet d'études.....	11
3) Les espèces étudiées : la couleuvre d'Esculape, <i>Zamenis longissimus</i> et la couleuvre verte et jaune, <i>Hierophis viridiflavus</i>	11
a) Les spécificités de la couleuvre d'Esculape, <i>Zamenis longissimus</i>	12
b) Les spécificités de la couleuvre verte et jaune, <i>Hierophis viridiflavus</i>	12
Méthodes	12
1) La méthode de Capture-Marquage-Recapture	12
a) Les réseaux de plaques	13
b) Les mesures biométriques et les classes d'âges.....	13
Analyses de données.....	14
1) Résultats pour la couleuvre d'Esculape, <i>Zamenis longissimus</i>	14
a) L'impact du sexe sur la longueur museau-cloaque.....	14
b) Utilisation de la longueur museau-cloaque pour évaluer l'âge des individus	15
c) L'impact du sexe sur la longueur de la mâchoire	15
d) Utilisation de la longueur de la mâchoire pour évaluer l'âge des individus.....	15
2) Résultats pour la couleuvre verte et jaune, <i>Hierophis viridiflavus</i>	16
a) L'impact du sexe sur la longueur museau-cloaque.....	16
b) Utilisation de la longueur museau-cloaque pour évaluer l'âge des individus	16
c) L'impact du sexe sur la longueur de la mâchoire	17
d) Utilisation de la longueur de la mâchoire pour évaluer l'âge des individus.....	17
3) Comparaison entre la couleuvre d'Esculape, <i>Zamenis longissimus</i> et la couleuvre verte et jaune, <i>Hierophis viridiflavus</i>	17
a) Comparaison de la longueur museau-cloaque entre <i>Zamenis longissimus</i> et <i>Hierophis viridiflavus</i> ..	17
b) Comparaison de la longueur de la mâchoire entre <i>Zamenis longissimus</i> et <i>Hierophis viridiflavus</i> ..	18
DISCUSSION.....	19
CONCLUSION	19
ANNEXES	22

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : Illustration d'un individu de *Zamenis longissimus* adulte.

Figure 2 : Illustration d'un individu de *Hierophis viridiflavus* adulte.

Figure 3 : Prise de la mesure longueur museau-cloaque à droite et de la longueur de la mâchoire à gauche.

Figure 4 : Illustration d'un individu de *Zamenis longissimus* nouveau-né.

Figure 5 : Boxplot représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge, avec la distinction entre le sexe mâle et femelle chez *Zamenis longissimus*.

Figure 6 : Boxplot représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge, avec la distinction entre le sexe mâle et femelle chez *Hierophis viridiflavus*.

Figure 7 : Boxplot représentant *Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus* en fonction de la longueur museau-cloaque et de leur âge.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Schéma du code de marquage et cicatrices dues au « tatouage » par fer chaud ici l'identifiant est 1253.

Annexe 2 : Carte représentant les zones d'études dans la Reserve Biologique Intégrale de Chizé (QGIS v3.28.11).

Tableau I : Détails des données prises en compte pour les analyses de *Zamenis longissimus*.

Tableau II : Détails des données prises en compte pour les analyses de *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 3 : Boucles sur RStudio v4.3.0 pour rendre les variables aléatoires (ici pour *Zamenis longissimus*).

Annexe 4 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur museau-cloaque chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 5 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 6 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 7 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur de la mâchoire chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 8 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 9 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 10 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur museau-cloaque chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 11 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 12 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 13 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur de la mâchoire chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 14 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 15 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 16 : Boxplot représentant *Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus* en fonction de la longueur de leur mâchoire et de leur âge avec la période d'hibernation.

Annexe 17 : Présentation de la structure d'accueil, le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé.

GLOSSAIRE

CEBC : Centre d'Études Biologiques de Chizé

CMR : Capture-Marquage-Recapture

RBI : Réserve Biologie Intégrale

R^2 ajusté : Coefficient de détermination ajusté

SVL : Snout Vent Length (longueur museau-cloaque)

PRÉAMBULE

J'ai eu l'opportunité de réaliser mon stage du 15 avril au 19 juin 2024 au Centre d'Études Biologiques de Chizé (CEBC), qui s'inscrit dans le cadre de mon Master 1 mention Biodiversité, Écologie, Évolution parcours Gestion de la Biodiversité dans les socio-écosystèmes à l'Université d'Angers.

Il a été effectué sous la supervision de Xavier Bonnet, directeur de recherche en biologie et écologie des reptiles au service de leur conservation, et de son doctorant Guillaume Fosseries, qui étudie les mécanismes de nage chez les Ophidiens.

Mon intérêt prononcé pour la biologie de la conservation, en particulier chez les reptiles, m'a encouragé à faire ce stage. Ayant déjà réalisé plusieurs stages auprès de tortues terrestres (*Testudo hermanni hermanni*) et dulçaquicoles (*Mauremys leprosa leprosa*), je souhaitais approfondir mes connaissances en travaillant avec les serpents, un sous-ordre des squamates qui m'intéresse particulièrement. Contribuer aux recherches les concernant est une belle occasion, nourrissant mon projet professionnel.

Mon sujet qui a pour but d'évaluer l'âge des individus en fonction de leur taille s'inscrit dans un programme de Capture-Marquage-Recapture (CMR) qui a débuté il y a plus de 30 ans à Chizé et dans la Réserve Intégrale Biologique (RBI). Le recensement des individus est réalisé chaque année, lors de la période d'activité des serpents. Au vu de ce suivi à long terme, un jeu de données important s'est mis en place et continue d'être alimenté. C'est à l'aide du traitement de ce jeu de données, établi par des chercheurs, des doctorants et des stagiaires, que nous avons pu répondre à notre problématique. Concernant ce stage, j'ai utilisé des données datant du 05.05.1992 jusqu'au 17.04.2024. De même, bien qu'il existe cinq espèces de serpents dans la RBI, nous nous concentrons sur les deux espèces les plus représentatives de la zone d'étude : la couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissimus*) et la couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*).

Lors de ce stage, j'ai contribué à la récolte de données CMR pour la couleuvre d'Esculape (*Z. longissimus*), la couleuvre verte et jaune (*H. viridiflavus*), la couleuvre helvétique (*Natrix natrix*), la couleuvre vipérine (*Natrix maura*) et la vipère aspic (*Vipera aspis*). Pour ce faire, je me rendais sur le terrain, prenais part aux prospections et captuais les individus se trouvant sous les plaques de fibrociment ou à l'affût. Une fois de retour au laboratoire, je prenais les mesures biométriques de chaque individu, vérifiais s'il avait mangé, prélevais des échantillons de sécrétions pour évaluer son statut reproducteur, et vérifiais s'il s'agissait d'une nouvelle capture ou d'une recapture. Si l'individu n'avait pas encore été marqué, je lui attribuais un identifiant cohérent avec ceux déjà utilisés, puis le marquais à l'aide d'un outil chauffant, laissant une cicatrice superficielle sur les écailles. Ensuite, il était important de relâcher les individus le plus rapidement possible sur leur lieu de capture. Après cela, il fallait saisir les informations recueillies dans la base de données initiale en faisant attention à la standardisation pour poursuivre le suivi à long terme des communautés de ces espèces.

Pour mes analyses, la boucle de tirage aléatoire d'individus m'a été donnée par Gopal Billy, un ancien doctorant, travaillant sur l'influence du milieu sur les populations et les traits d'histoire de vie de deux espèces de serpents : la couleuvre verte et jaune et la couleuvre d'Esculape. À part cette aide, le reste de mes analyses ont été faites en autonomie.

Cette expérience m'a permis d'enrichir mes connaissances naturalistes et d'acquérir de nouvelles compétences qui me seront utiles pour mon avenir professionnel.

INTRODUCTION

Des études à long terme ont révélé un déclin des populations de poissons, d'amphibiens, de reptiles, d'oiseaux et de mammifères à travers le monde (Cox *et al.*, 2022 ; Reading *et al.*, 2010). Ce phénomène nous pousse à approfondir notre compréhension des dynamiques des populations animales. Obtenir des données concernant l'âge des individus est essentiel à l'écologie des populations, à la biologie évolutive et à la conservation. Ces données fournissent des informations sur la longévité, la structure par âge, l'âge à la maturité sexuelle, la dynamique des populations, le temps de renouvellement générationnel, la croissance et les stratégies d'histoire de vie (Székely *et al.*, 2024 ; Zhao *et al.*, 2019). En plus d'approfondir notre compréhension des processus écologiques et évolutifs, ces informations sont d'une importance capitale, notamment dans le contexte d'un déclin rapide de la biodiversité, dont les reptiles sont parmi les groupes les plus touchés (Böhm *et al.*, 2013; Cox *et al.*, 2022 ; Székely *et al.*, 2024).

Pour répondre à ces problématiques, il est crucial d'estimer avec précision l'âge des animaux dans un écosystème. Une estimation précise permet de surveiller les tendances, qu'elles soient positives ou négatives, ainsi que d'évaluer l'état de la population et ses propriétés démographiques (De Paoli-Iseppi *et al.*, 2017). À l'heure où les changements environnementaux impactent de manière significative les populations animales, la collecte et l'analyse de données sur l'âge deviennent des outils indispensables pour la conservation et la gestion des espèces.

Pour cela, il existe plusieurs techniques pour estimer l'âge individuel des vertébrés, dont les reptiles (Székely *et al.*, 2024).

La première est la squelettochronologie qui permet une estimation instantanée des paramètres liés à l'âge des individus et de la population (Székely *et al.*, 2024). Elle repose sur l'hypothèse que des marques distinctes (par exemple des crêtes concentriques, des anneaux, des couches) se déposent dans ou sur des structures dures ou calcifiées (telles que les os, les dents, les otolithes, les osselets scléaux, les ostéodermes, les écailles) des organismes au cours des cycles annuels (Castanet, 1994 ; Goshe *et al.*, 2010 ; Panfili *et al.*, 2002 ; Székely *et al.*, 2024). Cette méthode apporte donc un indicateur fiable de l'âge réel des individus. Cependant elle n'est applicable que chez les animaux pour lesquels les marques annuelles existent et sont facilement accessibles (Székely *et al.*, 2024).

La seconde technique est l'étude de la méthylation de l'ADN (DNAm). La méthylation de l'ADN est un mécanisme clé pour réguler l'expression des gènes chez les animaux et nous savons que les quantités changent avec l'âge (De Paoli-Iseppi *et al.*, 2017). Ainsi la quantification de l'ADN méthylé peut servir de biomarqueur pour estimer l'âge chronologique chez l'homme, mais également chez d'autres animaux, qu'ils soient domestiques ou sauvages (De Paoli-Iseppi *et al.*, 2017). Ce marqueur peut également évoluer selon des influences environnementales ou selon des différences phénotypiques (De Paoli-Iseppi *et al.*, 2017). Bien qu'il n'existe pas d'étude à ce jour sur les serpents, cette méthode semble prometteuse, il reste à savoir si elle peut être appliquée aux espèces dont le métabolisme dépend de l'environnement et qui ont des périodes d'hibernation et d'estivation. En outre, il est nécessaire de calibrer le système avec des individus d'âge connu.

La dernière méthode est la Capture-Marquage-Recapture (CMR). Plus fastidieuse, mais très fiable, elle offre des informations précieuses sur le fonctionnement des populations lorsque l'étude, à long terme, est menée sur un grand nombre d'individus (Castanet, 1994). C'est un outil puissant, car elle permet d'estimer plusieurs paramètres démographiques dans des contextes où la détection des individus est imparfaite, sans nécessiter des méthodes invasives (mort ou amputations des individus pour connaître l'âge par squelettochronologie) (Fornasiero *et al.*, 2016 ; Halliday *et Verrel*, 1988 ; Székely *et al.*, 2024). Il est essentiel de recueillir des données individuelles dès le plus jeune âge des individus pour estimer la structure d'une population, incluant les classes d'âge et le sex-ratio, ainsi que pour déterminer ses paramètres démographiques tels que l'abondance, la survie, le recrutement, l'émigration et l'immigration (Billy, 2023).

Malgré l'importance des reptiles dans l'équilibre de certains écosystèmes, seules 2 % des études sur les classes d'âge leur sont consacrées (Székely *et al.*, 2024). Les tortues et les crocodiles sont

proportionnellement mieux étudiés, tandis que les serpents constituent le groupe le moins étudié (Székely *et al.*, 2024). Il est donc crucial de poursuivre et d'approfondir les études sur les serpents afin d'élaborer des stratégies de conservation viables et d'évaluer leur importance en tant que sentinelles de la santé des écosystèmes et comme indicateurs de la durabilité de l'habitat (Mullin *et al.*, 2011).

Ce travail de stage s'inscrit dans le cadre d'un programme de CMR au dans la Réserve Biologique Intégral (RBI) de Chizé. Notre objectif est de déterminer si la taille et/ou la longueur de la mâchoire seraient un bon indicateur pour estimer l'âge des individus. En effet, les serpents ont une croissance qui se poursuit après la maturité sexuelle ; les individus les plus grands sont les plus vieux. Le problème est de préciser à quel point cette relation est forte.

Il s'articule autour de trois axes principaux : (i) la collecte de données sur le terrain, (ii) l'homogénéisation et le traitement des données et (iii) l'étude des relations entre les données biométriques, le sexe et l'âge des individus de deux espèces de serpents : *Zamenis longissimus* (la couleuvre d'Esculape, Laurenti, 1768), et *Hierophis viridiflavus* (la couleuvre verte et jaune, Lacepède, 1789). Afin de répondre à cette problématique, nous allons d'abord examiner s'il existe une différence entre les mâles et les femelles pour les données biométriques. Ensuite, nous examinerons si la taille ou la mâchoire peut être utilisée pour identifier l'âge. Pour finir, nous examinerons si les deux espèces montrent des différences dans la relation âge-taille.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Système étudié

1) La zone d'étude

En tant que refuge de la biodiversité, la forêt de Chizé a été classée en RBI de la Sylve d'Argenson en 2006, mettant en évidence son rôle essentiel dans la préservation de la faune et de la flore locale (Jacquelin, 2011). Située dans les Deux-Sèvres (79), cette RBI s'étend sur 2 579 hectares et constitue un espace forestier soumis à une réglementation stricte, inaccessible aux promeneurs selon les réglementations en vigueur (Jacquelin, 2011). Dans cette RBI, divers habitats naturels sont présents, tels que des chênaies, des hêtraies, ainsi que des pelouses sèches calcicoles (Jacquelin, 2011). Depuis sa mise en RBI, la forêt se referme petit à petit. De nombreuses espèces sont présentes dans cette réserve, dont plusieurs appartiennent au groupe des serpents.

2) Les serpents comme objet d'étude

Les serpents occupent une place essentielle dans les écosystèmes et les réseaux trophiques (Billy, 2023). Ces reptiles sont principalement sédentaires et philopatriques, ce qui les rend étroitement liés aux caractéristiques de leur environnement proche, et qui peut avoir un impact direct sur leurs données biométriques (Billy, 2023 ; Lelièvre *et al.*, 2010 ; Madsen et Shine, 1993). Chez les serpents la taille influence la fécondité, le succès reproducteur des mâles, la gamme des proies accessibles et celle des prédateurs (Bonnet *et al.*, 2003 ; Fornasiero *et al.*, 2016 ; Madsen et Shine, 1993). La croissance des serpents peut se poursuivre tout au long de leur vie, les individus les plus âgés ayant tendance à être plus grands (Billy, 2023 ; Lelièvre *et al.*, 2013). Grâce à leur forme corporelle relativement simple, les serpents sont de bons sujets d'études, ce qui facilite la réalisation de mesures biométriques (Billy, 2023). Chez les serpents, chaque classe d'âge et chaque sexe sont définies comme des catégories indépendantes les unes des autres (Billy, 2023). Les nouveau-nés sont indépendants à la naissance, ce qui permet d'étudier les différentes classes d'âge dès la naissance en écartant les facteurs de confusion présents chez les espèces avec des soins parentaux postnataux, qui influencent le phénotype des jeunes (Billy, 2023).

3) Les espèces étudiées : la couleuvre d'Esculape, *Zamenis longissimus* et la couleuvre verte et jaune, *Hierophis viridiflavus*

Cette étude se focalise sur deux espèces de serpents : la couleuvre verte et jaune (*H. viridiflavus*) et la couleuvre d'Esculape (*Z. longissimus*) appartenant toutes deux à la famille des *Colubridae*. Ces

deux couleuvres européennes sont les espèces d'Ophidiens les plus représentées de la RBI. Ces espèces sont souvent en syntopie et partagent des régimes alimentaires similaires (Lelièvre et al., 2012). Le cycle de reproduction de ces ovipares dépend fortement des conditions climatiques (Lelièvre et al., 2010). Ces couleuvres présentent un dimorphisme sexuel de taille, les mâles étant plus grands que les femelles (Bonnet et al., 1999). Enfin, leur croissance est continue et le taux de croissance diminue avec l'âge (Lelièvre et al., 2013).

a) Les spécificités de la couleuvre d'Esculape, *Zamenis longissimus*

Cette espèce semi-arboricole affectionne les milieux ombragés, préférant des habitats riches en végétation arbustive et boisée (Lelièvre et al., 2012). En moyenne, la SVL (Snout Vent Length, longueur museau-cloaque) est de 83 ± 7 cm pour les femelles et de 92 ± 15 cm pour les mâles (Bonnet et al., 1999) (Figure 1). Les nouveau-nés possèdent des réserves corporelles leur permettant de continuer de grandir quelques semaines après la naissance même en l'absence de proie (XB. Com. Pers.).



Figure 1 : Illustration d'un individu de *Zamenis longissimus* adulte.

b) Les spécificités de la couleuvre verte et jaune, *Hierophis viridiflavus*

Cette espèce thermophile apprécie les milieux ouverts bien ensoleillés (Lelièvre et al., 2012). En moyenne la SVL est de 84 ± 10 cm pour les femelles et de 93 ± 9 cm pour les mâles (Bonnet et al., 1999) (Figure 2). Les jeunes, relativement nombreux par rapport à la taille de la femelle, sont très allongés et ont des réserves corporelles relativement faibles (XB. Com. Pers.). Cette espèce est dite « racer », elle est rapide, grandit vite et a un métabolisme élevé (Lelièvre et al., 2012).



Figure 2 : Illustration d'un individu de *Hierophis viridiflavus* adulte.

Ces descriptions montrent que les deux espèces étudiées présentent de nombreuses similitudes morphologiques et écologiques, mais quelques différences notables, ce qui permet de comparer les résultats entre elles.

Méthodes

Pour répondre à notre problématique, il est essentiel d'effectuer des suivis à long terme et de recueillir des données individuelles en utilisant la méthode de CMR.

1) La méthode de Capture-Marquage-Recapture

Le suivi à long terme des populations de serpents de la forêt de Chizé est réalisé depuis plus de 30 ans avec environ 5 079 individus marqués. La méthode de CMR est un outil puissant qui permet d'estimer plusieurs paramètres démographiques dans des contextes où la détection des individus est imparfaite, comme c'est le cas dans notre zone d'étude. La capture des individus a lieu lors de la saison active des serpents, en dehors de l'hibernation, en France cette période correspond d'avril à octobre (en fonction des conditions météorologiques) (Lelièvre et al., 2012). Les serpents sont capturés à la main, accessible grâce aux plaques à reptiles faites en fibrociments. Ils sont par la suite mis dans un sac en coton, qui permettent de limiter le stress provoqué par la capture (XB. Com. Pers.). Les sacs sont placés dans une boîte en bois transportable qui évite les risques de surchauffe et les chocs lors des prospections et du transport. Suite à la session de captures, les mesures biométriques sont réalisées dans une salle dédiée avec l'ensemble du matériel nécessaire. Les serpents sont examinés, mesurés, sexés, et marqués lorsqu'ils sont capturés pour la première fois. Le marquage permet une identification nominative et fiable des individus. Le marquage des individus recapturés est vérifié en utilisant la base de données. Il existe différents types de marquages, ici nous utilisons la

technique du « tatouage » (Billy, 2023) (Annexe 1). Le marquage n'est pas considéré comme invasif s'il est fait avec prudence. Le principe est de brûler légèrement et superficiellement les écailles latérales avec un stylo à cautériser chez les jeunes individus ou un fer à souder chez les adultes. Les traces sont par la suite permanentes ou durent quelques années, si besoin le marquage peut être rafraîchi. Il est possible au cours des années que des individus déjà capturés aient perdu leurs marques et soient pris comme nouvelle capture. Cependant, ces pertes totales de marques restent négligeables puisque les marques ne s'effacent jamais brutalement (seuls de rares individus marqués jeunes ont pu échapper aux observations avant d'être recapturés de nombreuses années [plus de cinq ans] plus tard) (XB. Com. Pers.). Les suivis de populations effectués sur les serpents montrent que les procédures exposées ci-dessus, malgré le stress induit par la capture, n'ont pas d'impact significatif sur les individus ou les populations (Fauvel et al., 2012).

a) Les réseaux de plaques

Afin d'étudier les serpents de la RBI, un système de plaques de capture a été développé. À ce jour, le site d'étude compte 1 020 plaques, réparties dans 20 zones comprenant des prairies et des layons (Annexe 2).

En milieu forestier, la probabilité de détection des serpents est faible en raison de leur grande discrétion et de leurs capacités à utiliser des refuges naturels ou artificiels (Lelièvre et al., 2010). Des plaques ondulées en fibrociment offrent aux serpents la possibilité de thermoréguler tout en restant cachés, à l'abri des prédateurs (Lelièvre et al., 2010). Ces plaques de dimensions 0,8x1,2m permettent de capturer toutes les classes d'âges, offrant l'avantage de rendre les nouveau-nés et les juvéniles accessibles. Une fois les plaques positionnées sur le terrain, les serpents les trouvent d'abord par hasard puis les utilisent de façon régulière, augmentant leur efficacité en quelques années (Billy, 2023). Cela permet un suivi individuel sur de longues périodes.

b) Les mesures biométriques et les classes d'âges

Plusieurs mesures biométriques sont prises : la masse corporelle, la SVL, la longueur totale, les distances du cœur et du foie à partir du museau, et les dimensions de la tête (diamètre de l'œil, longueur de la tête, largeur de la tête, et longueur de la mâchoire). La SVL, la longueur totale, et les distances du cœur et du foie sont mesurées en allongeant le serpent le long d'un mètre à ruban. Les dimensions de la tête sont prises avec un pied à coulisse, permettant d'être plus précis (précision de $\pm 0,03$ mm).

Pour cette étude nous nous concentrons sur la SVL, cette mesure évite d'avoir des erreurs d'estimations qui peuvent être causées par des queues tronquées (Figure 3). Et la longueur de la mâchoire, en effet des individus plus âgés, ont tendance à avoir une tête plus grande et plus large, entraînant par conséquent une mâchoire plus longue (Figure 3).

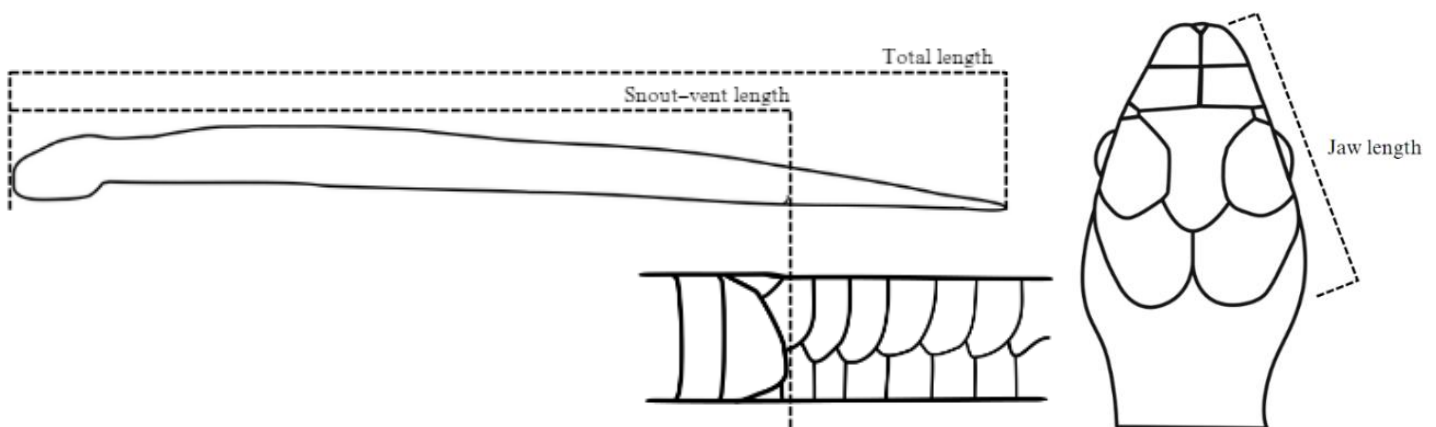


Figure 3 : Prise de la mesure longueur museau-cloaque à gauche et de la longueur de la mâchoire à droite.

Dans le cadre de notre étude, nous avons réparti les individus selon trois classes d'âge distinctes : nouveau-né, juvénile et adulte. Les individus sont considérés comme nouveau-nés lorsqu'ils ont passé moins d'un an dans leur environnement depuis leur naissance. On les reconnaît à l'aide de leur morphologie, leurs couleurs plus vives et la marque du nombril encore visible (*Figure 4*).



Figure 4 : Illustration d'un individu de *Zamenis longissimus* nouveau-né.

Les adultes sont des individus sexuellement matures. En moyenne pour *Z. longissimus* les mâles atteignent la maturité à partir de 59,5 cm de SVL et les femelles à partir de 66 cm (XB. Com. Pers.). Pour *H. viridiflavus*, ces tailles sont de 59 cm de SVL pour les mâles et de 68 cm pour les femelles (XB. Com. Pers.). Les individus sont considérés comme juvéniles entre les classes nouveau-née et adulte.

Analyses de données

Pour répondre à notre question initiale, nous avons sélectionné des suivis d'individus avec des observations au cours de la croissance allant de nouveau-nés à adulte chez nos deux espèces. Pour *Z. longissimus* nous avons utilisé des données allant de 1992 à 2024, pour lesquelles nous avons pu avoir le suivi de 139 individus, représentant un total de 485 données individuelles (*Tableau I*). Pour *H. viridiflavus*, les données datent de 2000 à 2024, avec un suivi de 82 individus, représentant un total de 258 données individuelles (*Tableau II*).

Pour déterminer l'âge des individus, une date de naissance théorique a été établie pour les nouveau-nés. Les nouveau-nés définis comme des individus de moins d'un an sont présumés être nés entre le 15 août et le 15 septembre de l'année précédant l'année de leur capture, ce qui est une estimation très robuste (XB Com. Pers.). Afin de simplifier, la date de naissance de tous les nouveau-nés a été fixée au 15 septembre.

Pour examiner les corrélations entre l'âge et des données biométriques, deux estimations de l'âge sont considérées : l'âge en jours à la capture (date de capture moins date de naissance théorique) et l'âge en jours sans l'hibernation (date de capture moins date de naissance théorique moins 83 jours multiplié par le nombre d'années). La durée moyenne de l'hibernation individuelle a été estimée à 83 jours, bien que cette dernière puisse varier en fonction des conditions climatiques (XB Com. Pers.). Pour une meilleure compréhension des graphiques, l'âge a été mis en années dans certains cas (année de capture moins année de naissance).

Pour respecter l'indépendance des variables, nous avons utilisé une boucle (*Annexe 3*) qui permet de sélectionner aléatoirement les individus dans notre base de données. Il n'y a donc pas de pseudo-réplicats dans les analyses.

Les relations entre l'âge et les données biométriques ont été analysées à l'aide de régression linéaire (en fonction de la SVL ou en fonction de la longueur de la mâchoire). Nous avons utilisé une ANOVA pour analyser les effets du sexe. Pour finir, certaines analyses, ont été faites avec l'ajout d'une covariable, il s'agit d'ANCOVA.

Toutes les analyses ont été réalisées avec Rstudio v4.3.0, et les graphiques ont été réalisés avec le package ggplot2 et Rcolorbrewer.

RÉSULTATS

- 1) Résultats pour la couleuvre d'Esculape, *Zamenis longissimus*
 - a) L'impact du sexe sur la SVL

Les résultats de l'analyse ANOVA montrent que le sexe n'a pas d'impact significatif mais on observe une tendance du sexe sur la relation entre la taille et l'âge des individus de *Z. longissimus* ($F_{1:137} = 3,473$; $p\text{-value} = 0,0645$) (*Annexe 4*).

b) Utilisation de la longueur museau-cloaque pour évaluer l'âge des individus

Le test de Shapiro-Wilk confirme que les résidus du modèle sont normalement distribués (p-value = 0,6106).

La régression linéaire entre la SVL et l'âge des individus montre une relation significative entre ces deux variables ($F_{1:137} = 343,7$; p-value $< 2,2^{-16}$). Le coefficient de détermination ajusté (R^2 ajusté) est de 0,7129, ce qui signifie que 71,29% de la variation de la SVL peut être expliquée par l'âge des individus (Figure 5). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,8456 entre l'âge et la SVL indique une forte corrélation positive et significative (p-value $< 2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des serpents augmente, leur SVL tend également à augmenter. Les coefficients de la régression montrent une interception à 33,1148 et un coefficient pour l'âge à 0,0193. Cela signifie que la SVL augmente en moyenne d'environ 0,02 cm par jour chez cette espèce (Annexe 5).

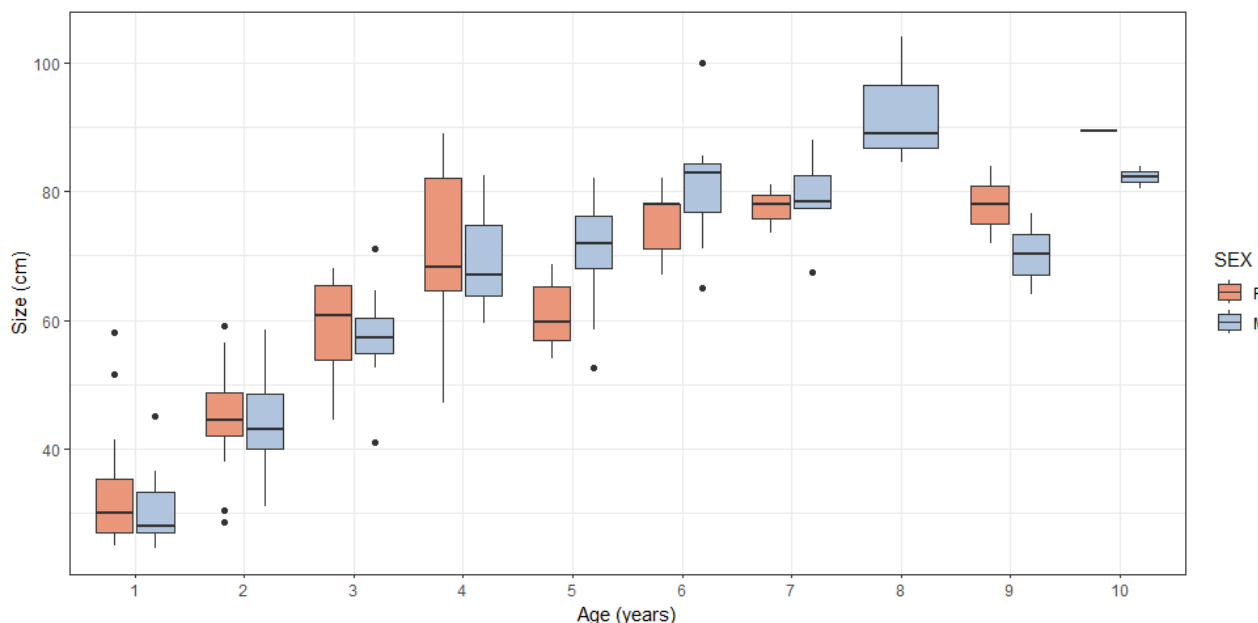


Figure 5 : Boxplot représentant la longueur museau-cloaque en cm en fonction de l'âge, avec la distinction entre le sexe mâle et femelle chez *Zamenis longissimus* (F=Femelle, M= Mâle).

Le test de Shapiro-Wilk confirme que les résidus sont normalement distribués (p-value = 0,6706).

Pour l'âge estimé des individus sans la période d'hibernation, la régression linéaire montre également une relation significative entre la SVL et l'âge des individus ($F_{1:137} = 353,3$; p-value $< 2,2^{-16}$). Le coefficient de détermination ajusté est de 0,7185, indiquant que 71,85% de la variation de la SVL peut être expliquée par l'âge sans la période d'hibernation (Annexe 6). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,8488 confirme une forte corrélation positive et significative (p-value $< 2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des individus augmente, leur SVL tend également à augmenter. Les coefficients de cette régression montrent une interception à 34,9786 et un coefficient pour l'âge à 0,03890, indiquant que la SVL augmente en moyenne d'environ 0,04 cm par jour chez cette espèce si on écarte l'hibernation.

c) L'impact du sexe sur la longueur de la mâchoire

Les résultats de l'analyse ANOVA montrent que le sexe n'a pas d'impact significatif mais on observe une tendance du sexe sur la longueur de la mâchoire des individus de *Z. longissimus* ($F_{1:130} = 3,534$; p-value = 0,0624) (Annexe 7).

d) Utilisation de la longueur de la mâchoire pour évaluer l'âge des individus

Le test de Shapiro-Wilk confirme que les résidus du modèle sont normalement distribués (p-value = 0,2608).

La régression linéaire entre la longueur de la mâchoire et l'âge des individus montre une relation significative entre ces deux variables ($F_{1:130} = 368,8$; p-value $< 2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est de 0,7374, ce qui signifie que 73,74% de la variation de la longueur de la mâchoire peut être expliquée par l'âge

des individus (*Annexe 8*). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,8599 entre l'âge et la longueur de la mâchoire indique une forte corrélation positive et significative ($p\text{-value} < 2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des serpents augmente, la longueur de leur mâchoire tend également à augmenter. Les coefficients de la régression montrent une interception à 15,29 et un coefficient pour l'âge à 0,0042. Cela signifie que la longueur de la mâchoire augmente en moyenne d'environ 0,004 mm par jour chez cette espèce.

Le test de Shapiro-Wilk confirme que les résidus sont normalement distribués ($p\text{-value} = 0,369$). Pour l'âge estimé des individus sans la période d'hibernation, la régression linéaire montre également une relation significative entre ces deux variables ($F_{1:130} = 374$; $p\text{-value} < 2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est légèrement supérieur au résultat précédent, montrant que 74,01% de la variation de la longueur de la mâchoire peut être expliquée par l'âge sans la période d'hibernation (*Annexe 9*). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,8614 entre l'âge et la longueur de la mâchoire indique une forte corrélation positive et statistiquement significative ($p\text{-value} < 2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des serpents augmente, la longueur de leur mâchoire tend également à augmenter. Les coefficients de cette régression montrent une interception à 15,71 et un coefficient pour l'âge à 0,0085, indiquant que la longueur de la mâchoire augmente en moyenne d'environ 0,008 cm par jour chez cette espèce.

2) Résultats pour la couleuvre verte et jaune, *Hierophis viridiflavus*

a) L'impact du sexe sur la SVL

Les résultats de l'analyse ANOVA montrent que le sexe n'a pas d'impact statistiquement significatif mais on observe une tendance du sexe sur la SVL des individus de *H. viridiflavus* en fonction de leur classe d'âge ($F_{1:80} = 1,891$; $p\text{-value} = 0,1729$) (*Annexe 10*).

b) Utilisation de la SVL pour évaluer l'âge des individus

Le test de Kolmogorov-Smirnov confirme que les résidus du modèle sont normalement distribués ($p\text{-value} = 0,4018$).

La régression linéaire entre la SVL et l'âge des individus montre une relation significative entre ces deux variables ($F_{1:80} = 571,6$; $p\text{-value} < 2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est de 0,8757, ce qui signifie que 87,57% de la variation de la SVL peut être expliquée par l'âge des individus (*Figure 6*). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,9366 entre l'âge et la SVL indique une forte corrélation positive et significative ($p\text{-value} < 2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des serpents augmente, leur SVL tend également à augmenter. Les coefficients de la régression montrent une interception à 25,8194 et un coefficient pour l'âge à 0,0275. Cela signifie que la SVL augmente en moyenne d'environ 0,03 cm par jour chez cette espèce (*Annexe 11*).

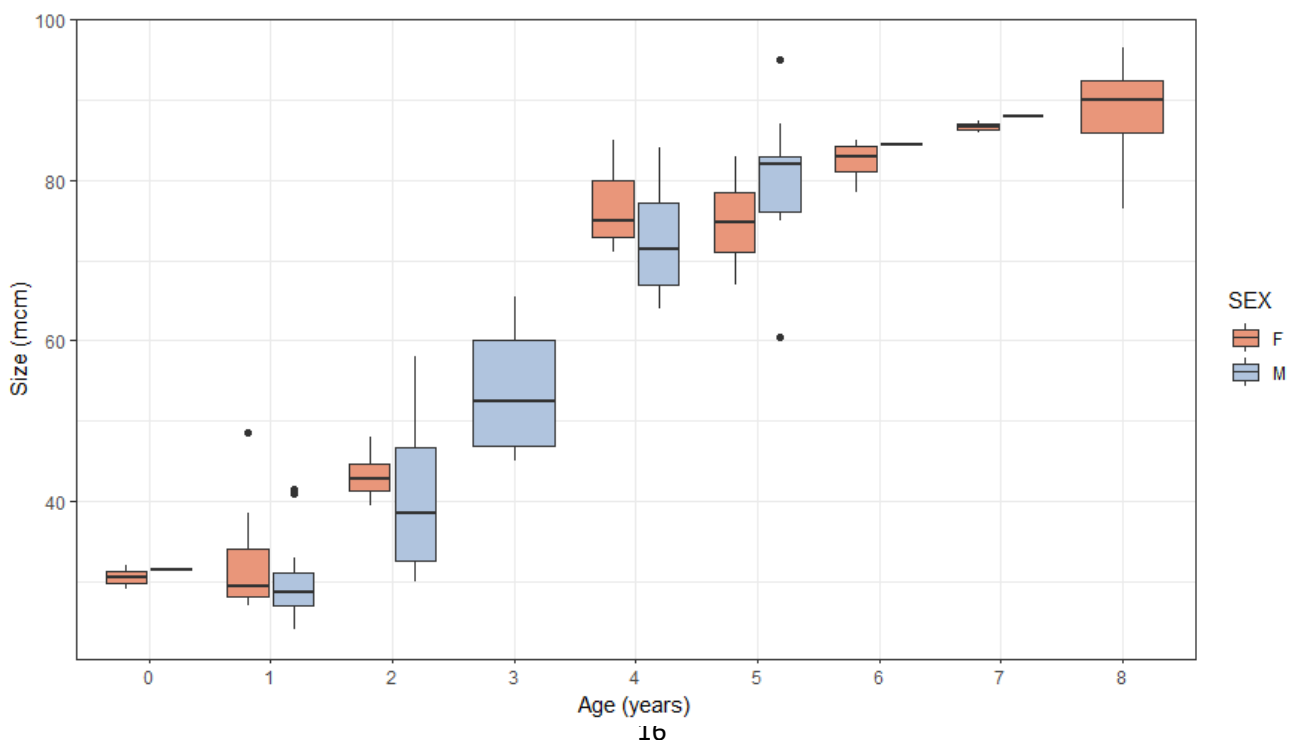


Figure 6 : Boxplot représentant la longueur museau-cloaque en cm en fonction de l'âge, avec la distinction entre le sexe mâle et femelle chez Hierophis viridiflavus (F=Femelle, M= Mâle).

Le test de Kolmogorov-Smirnov confirme que les résidus du modèle sont normalement distribués (p-value = 0,7451).

Pour l'âge estimé des individus sans la période d'hibernation, la régression linéaire montre également une relation significative entre la SVL et l'âge des individus ($F_{1:80} = 585,2$; p-value < $2,2^{-16}$). Le coefficient de détermination ajusté est de 0,8752, indiquant que 87,52% de la variation de la SVL peut être expliquée par l'âge sans la période d'hibernation (Annexe 12). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,9379 confirme une forte corrélation positive et significative (p-value < $2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des individus augmente, leur SVL tend également à augmenter. Les coefficients de cette régression montrent une interception à 28,2293 et un coefficient pour l'âge à 0,0558, indiquant que la SVL augmente en moyenne d'environ 0,06 cm par jour chez cette espèce si on écarte l'hibernation.

c) L'impact du sexe sur la longueur de la mâchoire

L'analyse ANOVA révèle que le sexe n'a pas d'impact significatif mais on observe une tendance du sexe sur la longueur de la mâchoire des individus de *H. viridiflavus* ($F_{1:77} = 0,1164$; p-value = 0,7339) (Annexe 13).

d) Utilisation de la longueur de la mâchoire pour évaluer l'âge des individus

Le test de Kolmogorov-Smirnov confirme que les résidus du modèle sont normalement distribués (p-value = 0,3902).

La régression linéaire entre la longueur de la mâchoire et l'âge des individus montre une relation significative entre ces deux variables ($F_{1:77} = 391,4$; p-value < $2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est de 0,8335, ce qui signifie que 83,35% de la variation de la longueur de la mâchoire peut être expliquée par l'âge des individus (Annexe 14). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,9141 entre l'âge et la longueur de la mâchoire indique une forte corrélation positive et significative (p-value < $2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des serpents augmente, la longueur de leur mâchoire tend également à augmenter. Les coefficients de la régression montrent une interception à 13,95 et un coefficient pour l'âge à 0,0066. Cela signifie que la longueur de la mâchoire augmente en moyenne d'environ 0,007 mm par jour chez cette espèce.

Le test de Kolmogorov-Smirnov confirme que les résidus sont normalement distribués (p-value = 0,332).

Pour l'âge estimé des individus sans la période d'hibernation, la régression linéaire montre également une relation significative entre ces deux variables ($F_{1:77} = 391,1$; p-value < $2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est de 83,34% de la variation de la longueur de la mâchoire peut être expliquée par l'âge sans la période d'hibernation (Annexe 15). Le coefficient de corrélation de Pearson de 0,9141 entre l'âge et la longueur de la mâchoire indique une forte corrélation positive et statistiquement significative (p-value < $2,2^{-16}$), montrant que lorsque l'âge des serpents augmente, la longueur de leur mâchoire tend également à augmenter. Les coefficients de cette régression montrent une interception à 14,53 et un coefficient pour l'âge à 0,0135, indiquant que la longueur de la mâchoire augmente en moyenne d'environ 0,01 cm par jour chez cette espèce.

a) Comparaison entre la couleuvre d'Esculape, *Zamenis longissimus* et la couleuvre verte et jaune, *Hierophis viridiflavus*

b) Comparaison de la SVL entre *Zamenis longissimus* et *Hierophis viridiflavus*

Le test de Shapiro-Wilk confirme que les résidus sont normalement distribués (p-value = 0,0596).

L'analyse de l'ANCOVA révèle que l'effet de l'âge sur la SVL diffère significativement entre les deux espèces ($F_{3:217} = 224,3$; p-value < $2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté montre que 75,28% de la variation de la

SVL est expliquée par l'interaction entre l'âge des individus et l'espèce. L'estimateur pour l'ordonnée à l'origine est de 33,88 cm. L'estimateur de l'interaction est de 0,0094, indiquant que l'effet de l'âge sur la SVL pour *H. viridiflavus* augmente de 0,0094 cm par jour d'âge supplémentaire par rapport à *Z. longissimus*. Pour *Z. longissimus*, la pente est de 0,0172, tandis que pour *H. viridiflavus*, la pente est de 0,0266. Cela signifie que *H. viridiflavus* présente une croissance supérieure de 54% par rapport à *Z. longissimus*.

Le test de Shapiro-Wilk confirme que les résidus sont normalement distribués (p-value = 0,0597). L'effet de l'âge sans hibernation sur la SVL diffère également significativement entre les deux espèces ($F_{3:217} = 230,5$; p-value < $2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est légèrement supérieur, signifiant que 75,78% de la variation de la SVL est due à l'interaction entre l'âge sans période d'hibernation et l'espèce. L'estimateur de l'interaction est de 0,0199, indiquant que l'effet de l'âge sur la SVL pour *H. viridiflavus* augmente d'environ 0,02 cm par jour d'âge supplémentaire par rapport à *Z. longissimus*. Ces résultats montrent que *H. viridiflavus* a une croissance en longueur plus rapide que *Z. longissimus*, tant avec que sans période d'hibernation.

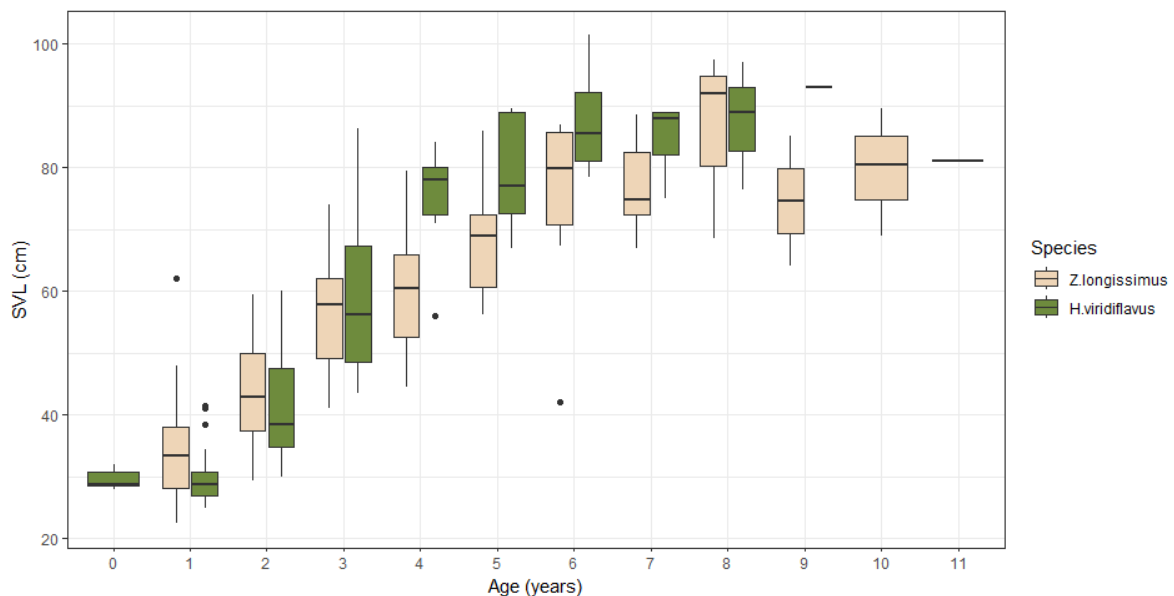


Figure 7: Boxplot représentant *Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus* en fonction de leur longueur museau-cloaque et de leur âge.

c) Comparaison de la longueur de la mâchoire entre *Zamenis longissimus* et *Hierophis viridiflavus*

Le test de Kolmogorov-Smirnov confirme que les résidus sont normalement distribués (p-value = 0,1934).

L'analyse de l'ANCOVA révèle que l'effet de l'âge sur la longueur de la mâchoire diffère significativement entre les deux espèces ($F_{3:209} = 209,1$; p-value < $2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté montre que 74,65% de la variation de la longueur de la mâchoire est expliquée par l'interaction entre l'âge des individus et l'espèce (Annexe 16). L'estimateur de l'interaction est de 0,0031, indiquant que l'effet de l'âge sur la longueur de la mâchoire pour *H. viridiflavus* augmente d'environ 0,003 cm par jour d'âge supplémentaire par rapport à *Z. longissimus*.

Le test de Kolmogorov-Smirnov confirme que les résidus sont normalement distribués (p-value = 0,2086).

L'effet de l'âge sans la période d'hibernation sur la longueur de la mâchoire diffère également significativement entre les deux espèces ($F_{3:209} = 214,7$; p-value < $2,2^{-16}$). Le R^2 ajusté est de indiquant que 75,15% de la variation de la longueur de la mâchoire est due à l'interaction entre l'âge sans la période d'hibernation et l'espèce. L'estimateur de l'interaction est de 0,0065, ce qui signifie que l'effet de l'âge sur la longueur de la mâchoire pour *H. viridiflavus* augmente d'environ 0,006 cm par jour d'âge supplémentaire par rapport à *Z. longissimus*.

Ces analyses démontrent une croissance différente de la taille et des mâchoires entre les deux espèces, avec une augmentation de la longueur de la mâchoire et de la SVL plus marquée chez *H. viridiflavus* comparée à *Z. longissimus*, tant en tenant compte de l'hibernation qu'en l'excluant.

DISCUSSION

La longueur museau-cloaque et la longueur de la mâchoire permettent d'estimer l'âge des individus bien qu'il est difficile d'attribuer un âge précis, notamment chez *Z. longissimus* qui présente une relation plus large entre les données biométriques et l'âge. La comparaison de ces deux espèces révèle des différences au niveau de leurs taux de croissance. *H. viridiflavus* présente un taux de croissance en moyenne plus élevé que *Z. longissimus*, bien que les nouveau-nés naissent sans réserves énergétiques ce qui n'est pas le cas pour *Z. longissimus*. Pour ce dernier la croissance tend à stagner plus rapidement, comme le montre le modèle de croissance de Von Bertalanffy (Fornasiero et al., 2016). Avec ces éléments, *H. viridiflavus* semble bel et bien être une espèce « racer » d'autant plus qu'elle se situe dans un habitat qui ne lui est pas favorable et où les milieux ont tendance à se fermer (Billy, 2023). Ces observations indiquent des traits écologiques distincts entre les deux espèces. Les coefficients de corrélation confirment que la croissance et l'allongement de la mâchoire augmentent avec l'âge. Bien que les données biométriques choisies permettent toutes les deux d'estimer l'âge, la mâchoire peut être plus fiable pour *Z. longissimus* qui possède une gamme de taille plus large. En effet, un individu avec une SVL de 65 cm peut avoir entre 3 et 5 ans, rendant difficile la détermination d'un âge précis. Cette incertitude est particulièrement marquée chez les femelles, qui présentent une plus grande gamme de tailles pour un âge donné par rapport aux mâles. Des réductions de SVL ont été observées chez certains individus, ce qui pourrait être attribuées à des erreurs de mesure ou à des variations naturelles de taille (Bonnet et al., 2003). De plus, les femelles adultes investissent principalement dans la vitellogenèse plutôt que dans la croissance, ce qui parfois peut la ralentir et qui pourrait expliquer leurs gammes de tailles plus larges pour un âge donné (Madsen et Shine, 2002). Par exemple, une femelle *Z. longissimus*, capturée en 2009 avec une SVL de 82 cm n'a grandi que de un cm en 15 ans, atteignant une SVL de 83 cm en 2024. Pour prendre en référence la longueur de la mâchoire, il faut au préalable vérifier que cette dernière ne possède pas de plasticité en fonction des proies comme c'est le cas pour la couleuvre tessellée (*Natrix tessellata*) (Brecko et al., 2011). Bien que l'âge sans la période d'hibernation présente des corrélations plus fortes entre les variables, il est préférable de considérer l'âge avec cette période de pause dans cette étude. En effet, la période d'hibernation, fixée à 83 jours par an, varie en fonction des conditions climatiques, et le temps d'activité réel peut influencer la taille. Il serait pertinent de reprendre cette étude en comparant l'âge en jours et l'âge en jours sans la période d'hibernation, calculée en fonction des conditions climatiques spécifiques de chaque année. Il est important pour interpréter les graphiques de prendre en compte, le fait que nous avons choisis de faire des suivis allant de nouveau-né à adulte, nous avons donc écarté les individus les plus vieux. Cela a pour conséquence de montrer de moins bonnes tendances après six à sept ans et de ne pas laisser le temps au dimorphisme sexuel de se développer. Pour *H. viridiflavus*, les données disponibles indiquent que les plus grands et les plus vieux individus observés sont des femelles, à l'inverse de ce qui est connu. Cela suggère que les données de cette étude, pour lesquelles l'âge des individus est connu, sont biaisées en faveur des femelles âgées. Il est nécessaire de continuer à suivre les individus, en particulier les mâles, car les plus âgés dans notre jeu de données sont presque uniquement des femelles.

CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer des tranches d'âges en fonction de la taille chez *Z. longissimus* et *H. viridiflavus*, ce qui pourra être très utilisé pour de futures études. Elle a aussi permis de révéler des taux de croissance distincts, indiquant des traits écologiques différents. Bien que la taille et l'âge ne permettent pas de différencier le sexe des individus, ces données soulèvent de nouvelles questions. La maturité sexuelle a été établie pour des longueurs spécifiques de SVL chez les mâles et les femelles

des deux espèces. Les observations montrent que des recouvrements de taille peuvent se faire entre les sexes pour des âges similaires. Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour déterminer si la maturité sexuelle est principalement influencée par l'âge ou la SVL. Pour approfondir, il serait pertinent de poursuivre les études en examinant plus en détail les facteurs influençant la croissance et la maturité sexuelle. Notamment, déterminer l'impact des conditions environnementales et de la disponibilité des ressources sur ces paramètres. En outre, des analyses pourraient aider à clarifier les variations interindividuelles et les stratégies de croissance adoptées par chaque espèce dans différents contextes écologiques.

BIBLIOGRAPHIE

Billy G. (2023). Influence de la fermeture du milieu sur les populations et les traits d'histoire de vie de deux espèces de serpents : la couleuvre verte et jaune et la couleuvre d'Esculape. *Unpublished Ph.D. thesis* : Biologie de la conservation. La Rochelle Université, 294p

Böhm M., Collen B., Baillie JEM. ... and Zug, G. (2013). The conservation status of the world's reptiles. *Biological Conservation* **157**, 372–385. [<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.015>]

Bonnet, X., Naulleau, G., and Shine, R. (1999). The dangers of leaving home : Dispersal and mortality in snakes. *Biological Conservation*, **89**(1), 39-50. [[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(98\)00140-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(98)00140-2)]

Bonnet, X., Naulleau, G., Shine, R., and Lourdais, O. (2003). Reproductive versus ecological advantages to larger body size in female snakes, *Vipera aspis*. *Oikos*, **89**(3), 509-518. [<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.890310.x>]

Brecko J., Vervust B., Herrel A. and VanDamme R. (2011). Head morphology and diet in the dice snake (*Natrix tessellata*). *Mertensiella* **18**, 20-29p.

Castanet J. (1994). Age estimation and longevity in reptiles. *Gerontology* **40**, 174–192. [<https://doi.org/10.1159/000213586>]

Cox N., Young BE., Bowles P. ... and Xie Y. (2022). A global reptile assessment highlights shared conservation needs of tetrapods. *Nature* **605**, 285–290.[<https://doi.org/10.1038/s41586-022-04664-7>]

De Paoli-Iseppi R., Bruce ED., McMahon CR., Hindell MA., Dickinson JL. and Jarman SN. (2017). « Measuring Animal Age with DNA Methylation: From Humans to Wild Animals ». *Frontiers in Genetics*. **8**. [<https://doi.org/10.3389/fgene.2017.00106>].

Fauvel, T., Brischoux, F., Briand, M. J., and Bonnet, X. (2012). Do researchers impact their study populations? Assessing the effect of field procedures in a long term population monitoring of sea kraits. *Amphibia-Reptilia*, **33**(3-4), 365-372. [<https://doi.org/10.1163/15685381-00002839>]

Fornasiero, S., Bonnet, X., Dendi, F., and Zuffi, M. (2016). Growth, longevity and age at maturity in the European whip snakes, *Hierophis viridiflavus* and *H. carbonarius*. *Acta Herpetologica*, **11**(2), Article 2. [https://doi.org/10.13128/Acta_Herpetol-18695]

Goshe LR., Avens L., Scharf FS. and Southwood AL.(2010). Estimation of age at maturation and growth of Atlantic green turtles (*Chelonia mydas*) using skeletochronology. *Marine Biology* **157**, 1725–1740. [<https://doi.org/10.1007/s00227-010-1446-0>]

Halliday TR. and Verrell PA. (1988). Body size and age in amphibians and reptiles. *Journal of Herpetology* **22**, 253-265.[<https://doi.org/10.2307/1564148>]

- Jacquelin S. (2011). Document d'Objectifs de la Zone Spéciale de Conservation « Massif forestier de Chizé-Aulnay » (FR 5400450) – Volume de synthèse : bilans des diagnostics, objectifs de gestion et programme d'action. Office National des Forêts, Poitiers. 284 p.
- LaCépède, B.-G.-E. 1789. *Histoire naturelle des serpents*. Hôtel de Thou, Paris, **2**: 527 p. (in-4°). [<http://biodiversitylibrary.org/page/40582051>]
- Laurenti, J.N. 1768. *Specimen medicum, exhibens synopsin reptilium emendatam cum experimentis circa venena et antidota reptilium austriacorum, quod auctoritate et consensu*. Joan Thomae de Trattnem, Viennae. 214 p. [<http://biodiversitylibrary.org/page/4210476>]
- Lelièvre H., Blouin-Demers G., Bonnet X., and Lourdais O. (2010). Thermal benefits of artificial shelters in snakes : A radiotelemetric study of two sympatric colubrids. *Journal of Thermal Biology*, **35**(7), 324-331. [<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.06.011>]
- Lelièvre, H., Legagneux, P., Blouin-Demers, G., Bonnet, X. and Lourdais, O. (2012). Les niches trophiques se chevauchent chez deux serpents colubridés syntopiques (*Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus*) aux modes de vie contrastés. *Amphibiens-Reptilia*, **33** (1), 37-44. [<https://doi.org/10.1163/156853811X620022>]
- Lelièvre, H., Rivalan, P., Delmas, V., Ballouard, JM., Bonnet, X., Blouin-Demers, G., and Lourdais, O. (2013). The thermoregulatory strategy of two sympatric colubrid snakes affects their demography. *Population Ecology*, **55**(4), 585-593. [<https://doi.org/10.1007/s10144-013-0388-z>]
- Madsen, T., and Shine, R. (1993). Phenotypic Plasticity in Body Sizes and Sexual Size Dimorphism in European Grass Snakes. *Evolution*, **47**(1), 321-325. [<https://doi.org/10.2307/2410141>]
- Madsen, T., and Shine, R. (2002). Short and chubby or long and slim? Food intake, growth and body condition in free-ranging pythons. *Austral Ecology*, **27**, 672-680. [<https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2002.01228.x>]
- Mullin, Stephen J. and Seigel, Richard A. (2011). *Snakes: Ecology and Conservation*, Ithaca, NY: Cornell University Press 365p. [<https://doi.org/10.7591/9780801459092>]
- Panfili J., De Pontual H., Troadec H., and Wright PJ. (2002). Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer-IRD, 464p.
- Reading CJ., Luiselli LM., Akani GC., Bonnet X., Amori G., Ballouard JM., Filippi E., Naulleau G., Pearson D. and Rugiero L. (2010). « Are snake populations in widespread decline? » *Biology Letters*. **6** (6): 777-780. [<https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0373>]
- Székely D., Stanescu F., Székely P., Telea AE., and Cogalniceanu D. (2024). A review of age estimation methods in nonavian reptiles by growth marks in hard tissues. *Integrative Zoology* **00**, 1–18. [<https://doi.org/10.1111/1749-4877.12808>]
- Zhao M., Klaassen CAJ., Lisovski S., and Klaassen M. (2018). The adequacy of aging techniques in vertebrates for rapid estimation of population mortality rates from age distributions. *Ecology and Evolution* **9**, 1394–1402. [<https://doi.org/10.1002/ece3.4854>]

ANNEXES

Annexe 1 : Schéma du code de marquage et cicatrices dues au “tatouage” par fer chaud ici l’identifiant est 1253.

Tableau I : Détails des données prises en comptes pour les analyses (*Zamenis longissimus*).

Tableau II : Détails des données prises en comptes pour les analyses (*Hierophis viridiflavus*).

Annexe 2 : Carte représentant les zones d’études dans la Reserve Biologique Intégrale de Chizé (QGIS v3.28.11).

Annexe 3 : Boucles sur Rstudio v4.3.0 pour rendre les variables aléatoires (ici pour *Zamenis longissimus*).

Annexe 4 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur museau-cloaque chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 5 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l’âge avec la période d’hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 6 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l’âge sans la période d’hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 7 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur de la mâchoire chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 8 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l’âge avec la période d’hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 9 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l’âge sans la période d’hibernation chez *Zamenis longissimus*.

Annexe 10 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur museau-cloaque chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 11 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l’âge avec la période d’hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 12 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l’âge sans la période d’hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

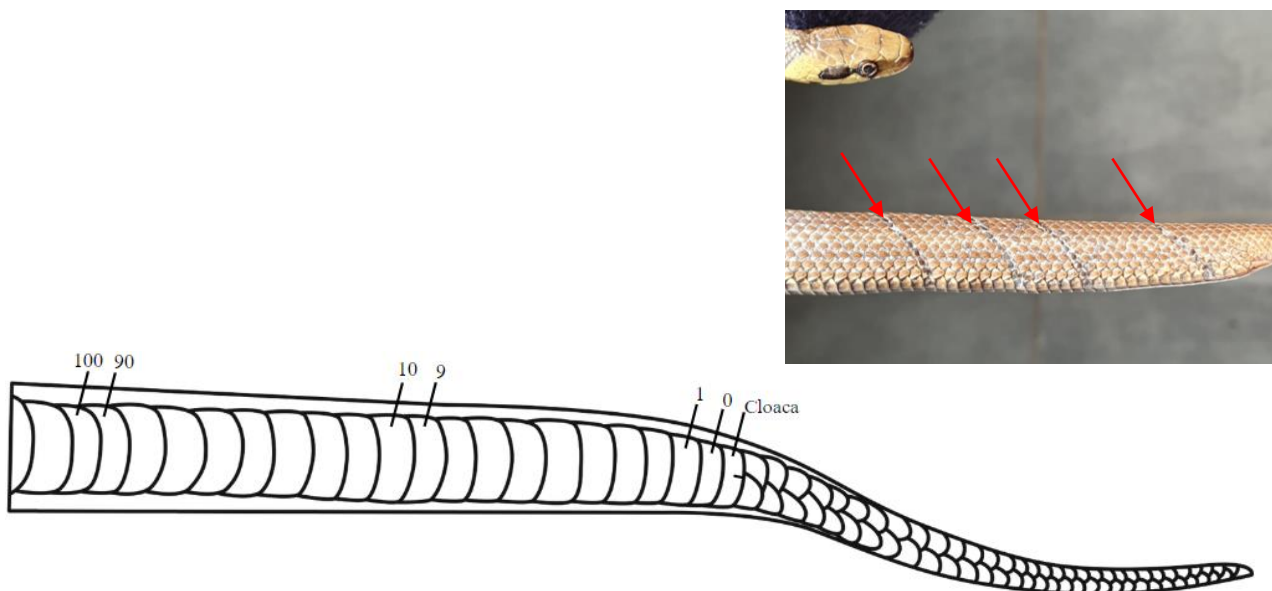
Annexe 13 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur de la mâchoire chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 14 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l’âge avec la période d’hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

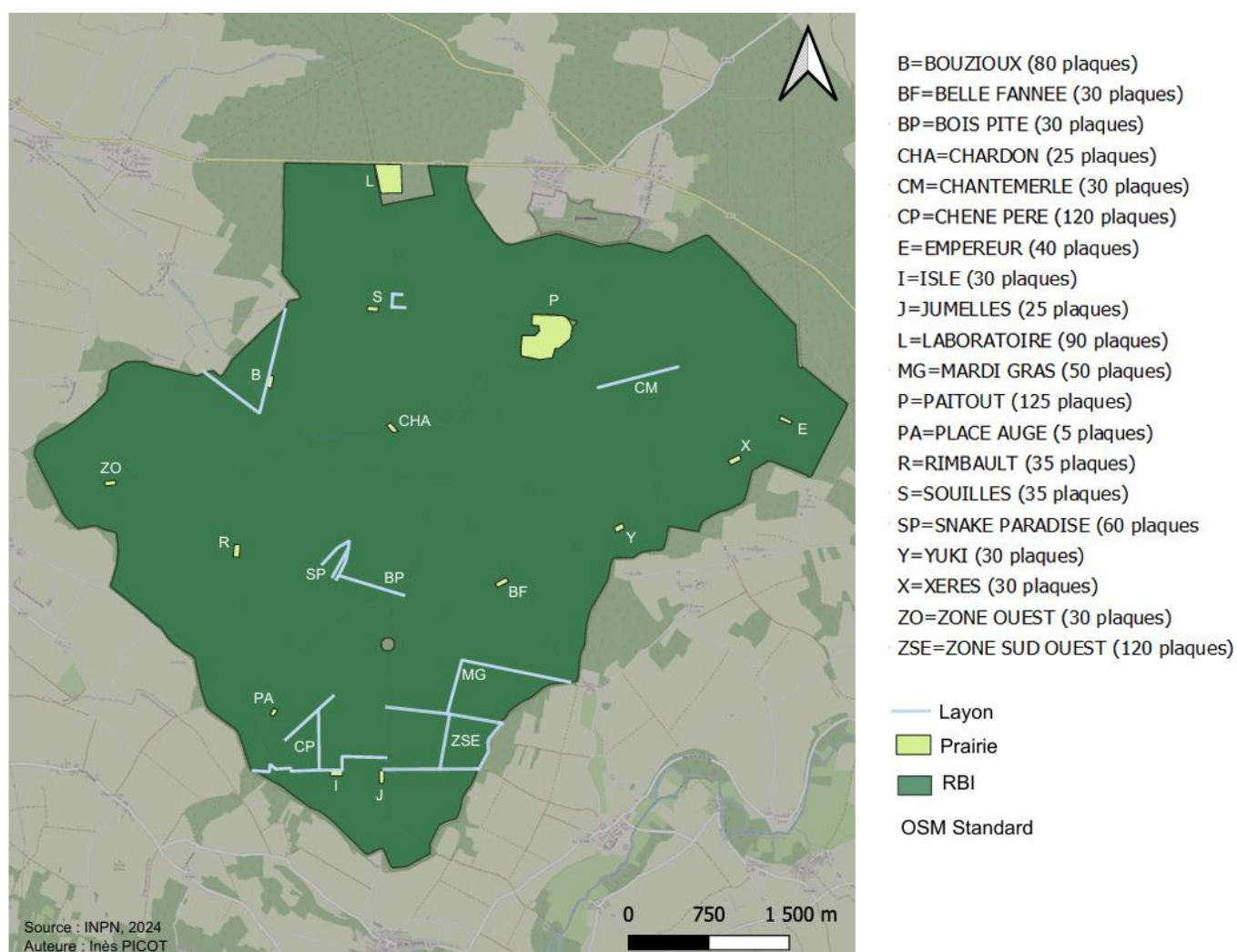
Annexe 15 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l’âge sans la période d’hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.

Annexe 16 : Boxplot représentant *Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus* en fonction de la longueur de leur mâchoire et de leur âge avec la période d’hibernation.

Annexe 17 : Présentation de la structure d’accueil, le Centre d’Etudes Biologiques de Chizé.



Annexe 1 : Schéma du code de marquage et cicatrices dues au « tatouage » par fer chaud ici l'identifiant est 1253.



Annexe 2 : Carte représentant les zones d'études dans la Reserve Biologique Intégrale de Chizé (QGIS v3.28.11).

Tableau I : Détails des données prises en comptes pour les analyses (*Zamenis longissimus*).

<i>Zamenis longissimus</i>				
Sex	biometric data	age catégories	mean	na values
FEMALE (N=204)	SVL (cm)	AD	77.25	—
		JUV	45.24	—
		BB	26.74	—
	JAW (mm)	AD	24.52	na = 5
		JUV	18.16	na = 7
		BB	14.32	na = 1
	AGE (years)	AD	6.611	—
		JUV	2.283	—
		BB	1	—
	AGE (days)	AD	2306	—
		JUV	747.2	—
		BB	250.8	—
MALE (N=281)	SVL (cm)	AD	1096	—
		JUV	329.3	—
		BB	67.83	—
	JAW (mm)	AD	75.43	—
		JUV	44.73	—
		BB	28.0	—
	AGE (years)	AD	24.48	na = 9
		JUV	17.99	na = 3
		BB	14.45	—
	AGE (days)	AD	5.907	—
		JUV	2.138	—
		BB	1	—
FEMALE (N=204)	SVL (cm)	AD	2066	—
		JUV	671.9	—
		BB	235.2	—
	JAW (mm)	AD	985.5	—
		JUV	280.7	—
		BB	52.19	—
	AGE (years)	AD	77.25	—
		JUV	45.24	—
		BB	26.74	—
	AGE (days)	AD	24.52	na = 5
		JUV	18.16	na = 7
		BB	14.32	na = 1

Tableau II : Détails des données prises en comptes pour les analyses (*Hierophis viridiflavus*).

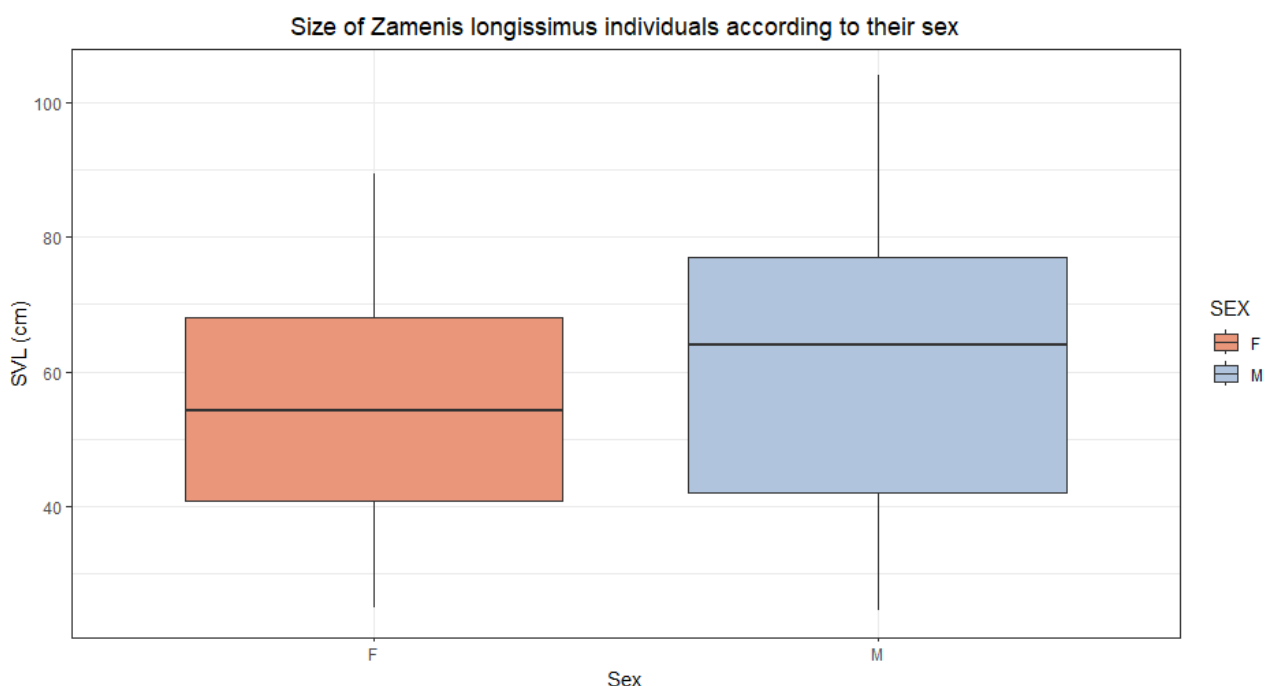
<i>Hierophis viridiflavus</i>				
Sex	biometric data	age catégories	mean	na values
FEMALE (N=204)	SVL (cm)	AD	81.13	—
		JUV	48.74	—
		BB	29.25	—
	JAW (mm)	AD	26.36	na = 1
		JUV	18.88	na = 4
		BB	14.27	na = 2
	AGE (years)	AD	5.792	—
		JUV	2.488	—
		BB	0.7273	—
	AGE (days)	AD	2020	—
		JUV	812.3	—
		BB	190.6	—
MALE (N=281)	SVL (cm)	AD	960.2	—
		JUV	357	—
		BB	57.55	—
	JAW (mm)	AD	81.53	—
		JUV	41.79	—
		BB	29.12	—
	AGE (years)	AD	28.79	na = 2
		JUV	18.09	—
		BB	14.92	na = 2
	AGE (days)	AD	5.041	—
		JUV	2.212	—
		BB	1	—
FEMALE (N=204)	SVL (cm)	AD	1755	—
		JUV	713.2	—
		BB	249.8	—
	JAW (mm)	AD	832.6	—
		JUV	308.4	—
		BB	82.06	—
	AGE (years)	AD	77.25	—
		JUV	45.24	—
		BB	26.74	—
	AGE (days)	AD	24.52	na = 5
		JUV	18.16	na = 7
		BB	14.32	na = 1


```

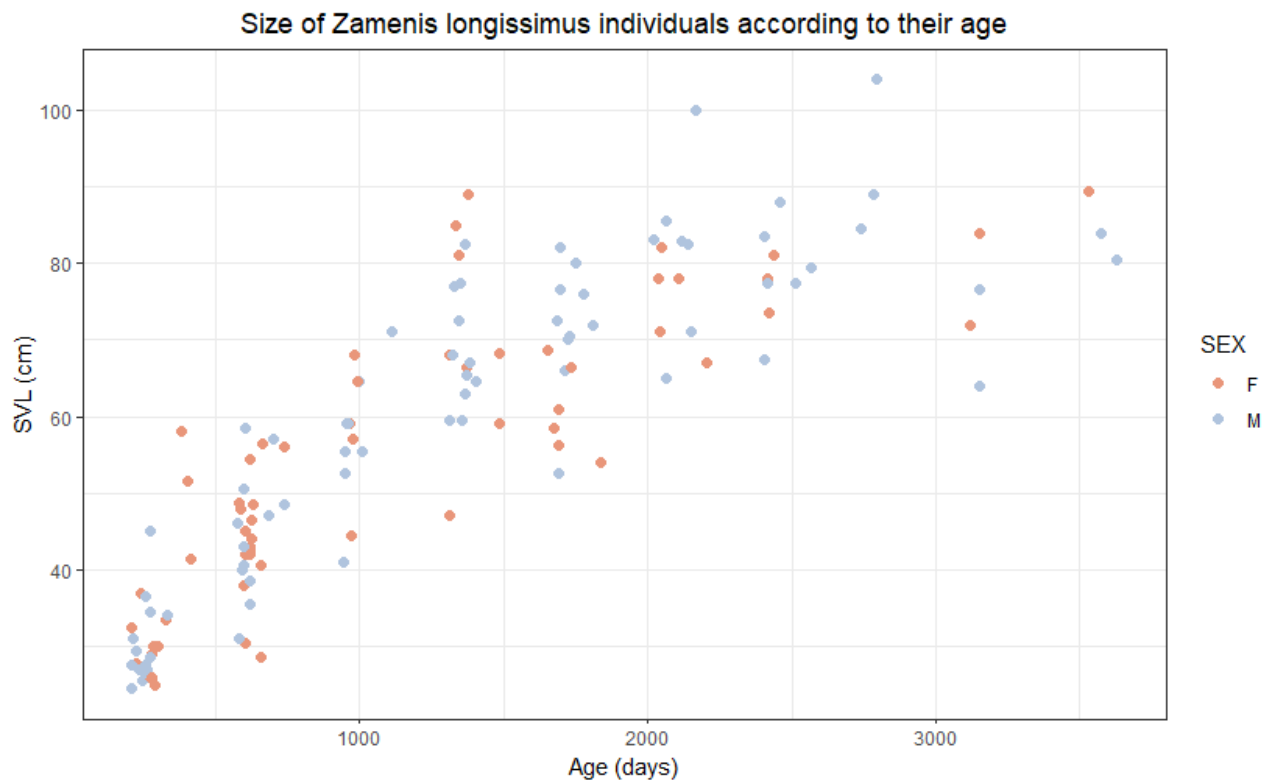
growthESC$aleatoire<-0 # ajout d'une nouvelle colonne appelée "aléatoire" et initialise les valeurs à 0
ESC_2<-growthESC # copie de sécurité de l'ensemble des données de growthESC
al_ESC <- data.frame() #création d'un nouveau dataframe vide nommé al_ESC
for(espece_i in unique(ESC_2$ESPECE)){
  print(espece_i)
  dataf1 <- subset(ESC_2, ESPECE == espece_i)
  for(id in unique(dataf1$ID)){
    dataf2 <- subset(dataf1, ID == id)
    if(nrow(dataf2) == 1){
      ESC_2[ESC_2$ESPECE == espece_i & ESC_2$ID== id,]$aleatoire <- 1 #on remplace les 0 par des 1
      dans la colonne "aléatoire" selon les conditions mentionnées
      al_ESC <- rbind(al_ESC,dataf2)}
    if(nrow(dataf2) > 1){
      ligne_i <- sample(1:nrow(dataf2), 1)
      ESC_2[ESC_2$ESPECE == espece_i & ESC_2$ID == id,][ligne_i,]$aleatoire <- 1 #on remplace les 0
      par des 1 dans la colonne "aleatoire" selon les conditions mentionnées
      row <- dataf2[ligne_i,]
      al_ESC <- rbind(al_ESC,row)
    }
  }
}
ESC_AL <- subset(ESC_2, aleatoire == 1)
nrow(ESC_AL)
nrow(al_ESC)
length(unique(ESC_2$ID_SEX_ESPECE))
#on enregistre le nouveau fichier
write.csv(ESC_AL, "C:\\Users\\...\\ESC_AL.csv", row.names = FALSE)

```

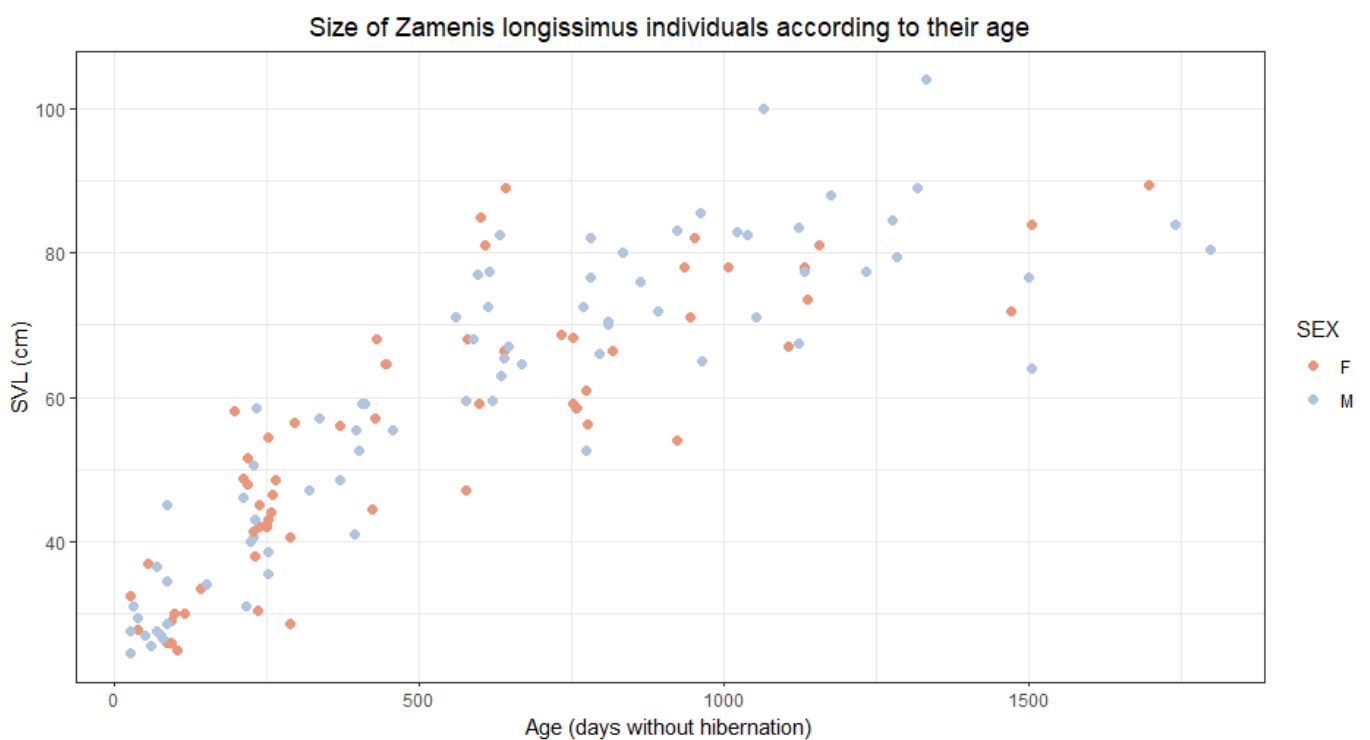
Annexe 3 : Boucles sur Rstudio v4.3.0 pour rendre les variables aléatoires (ici pour *Zamenis longissimus*).



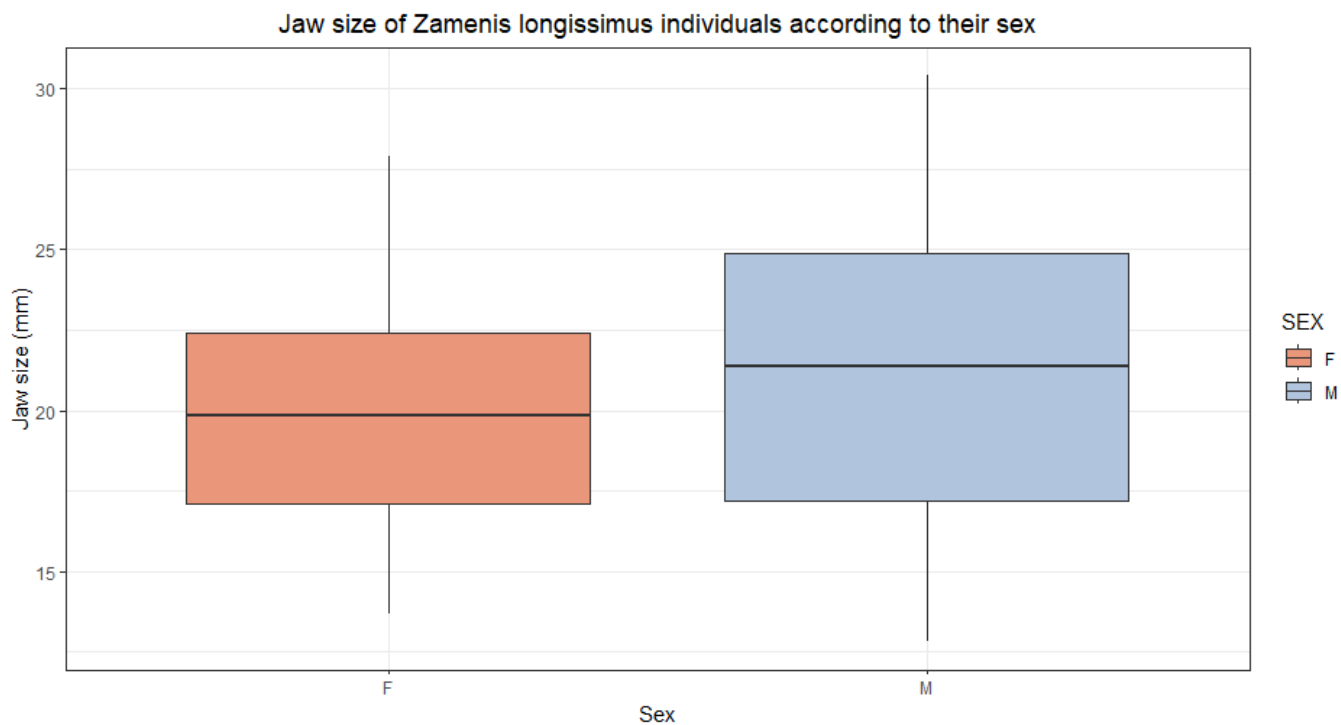
Annexe 4 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur museau-cloaque chez *Zamenis longissimus* (F = Femelle, M= Mâle).



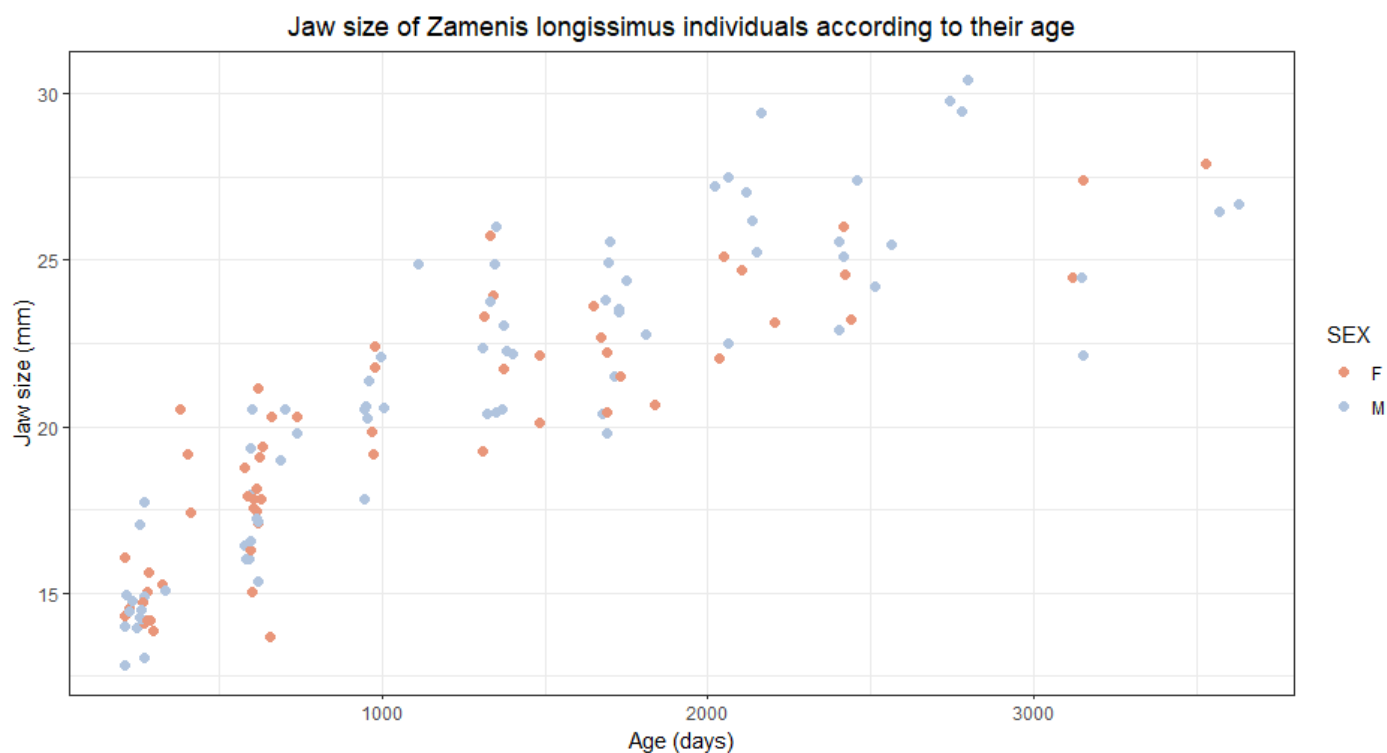
Annexe 5 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus* (F = Femelle, M= Mâle).



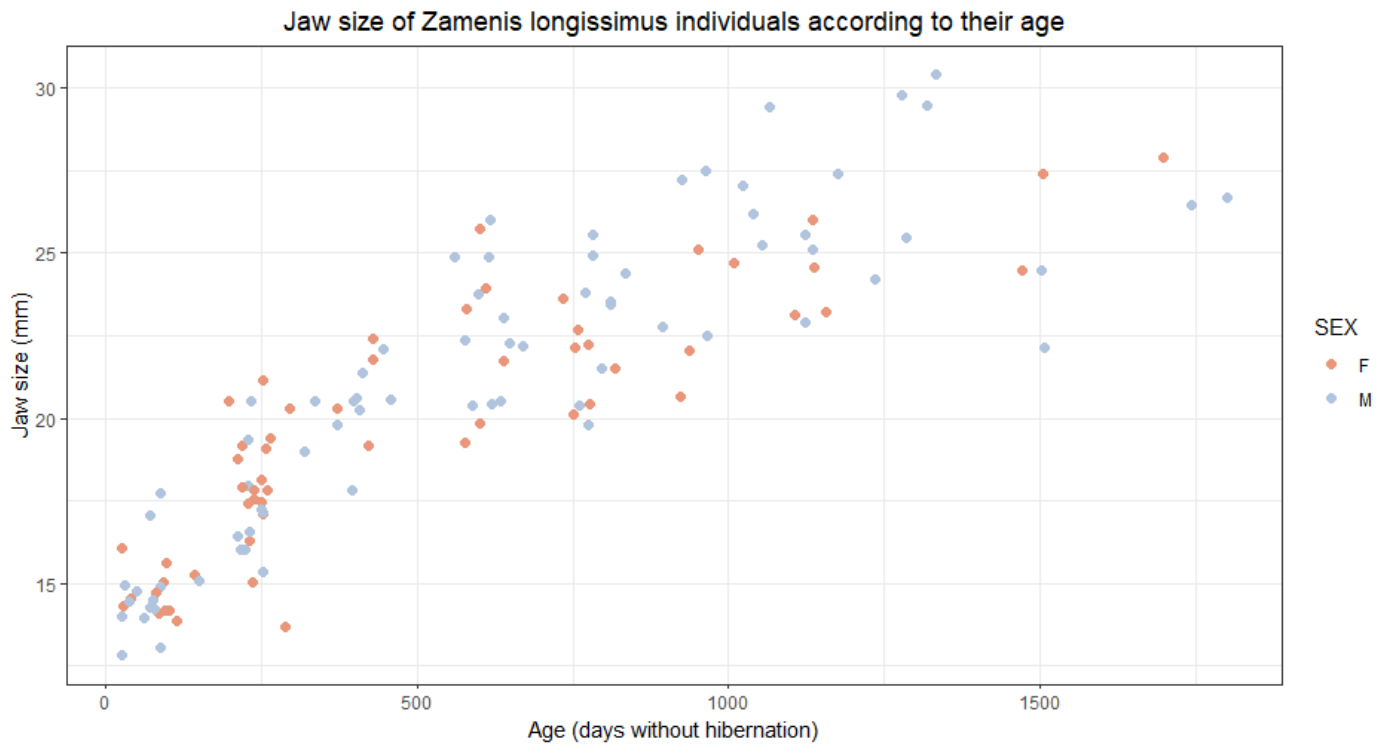
Annexe 6 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus* (F = Femelle, M= Mâle).



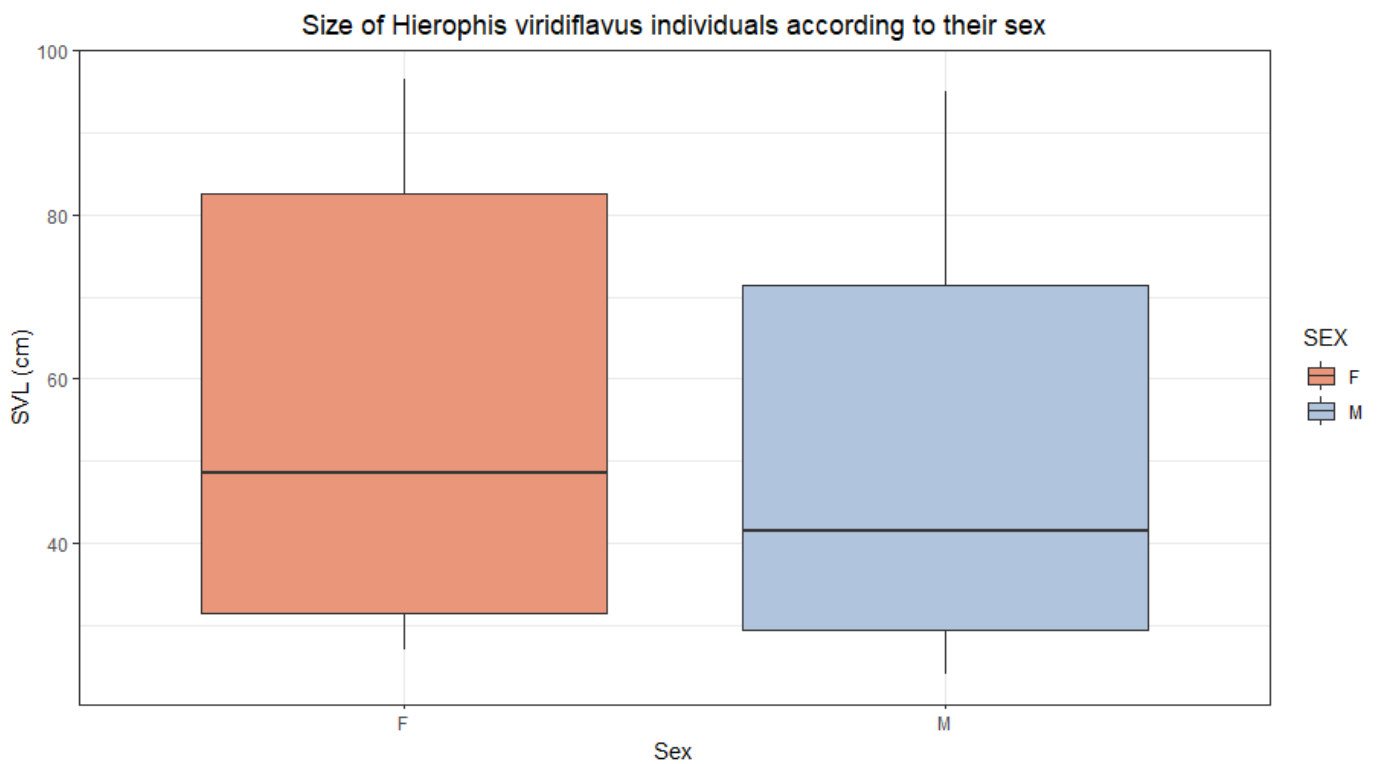
Annexe 7 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur de la mâchoire chez *Zamenis longissimus* (F = Femelle, M= Mâle).



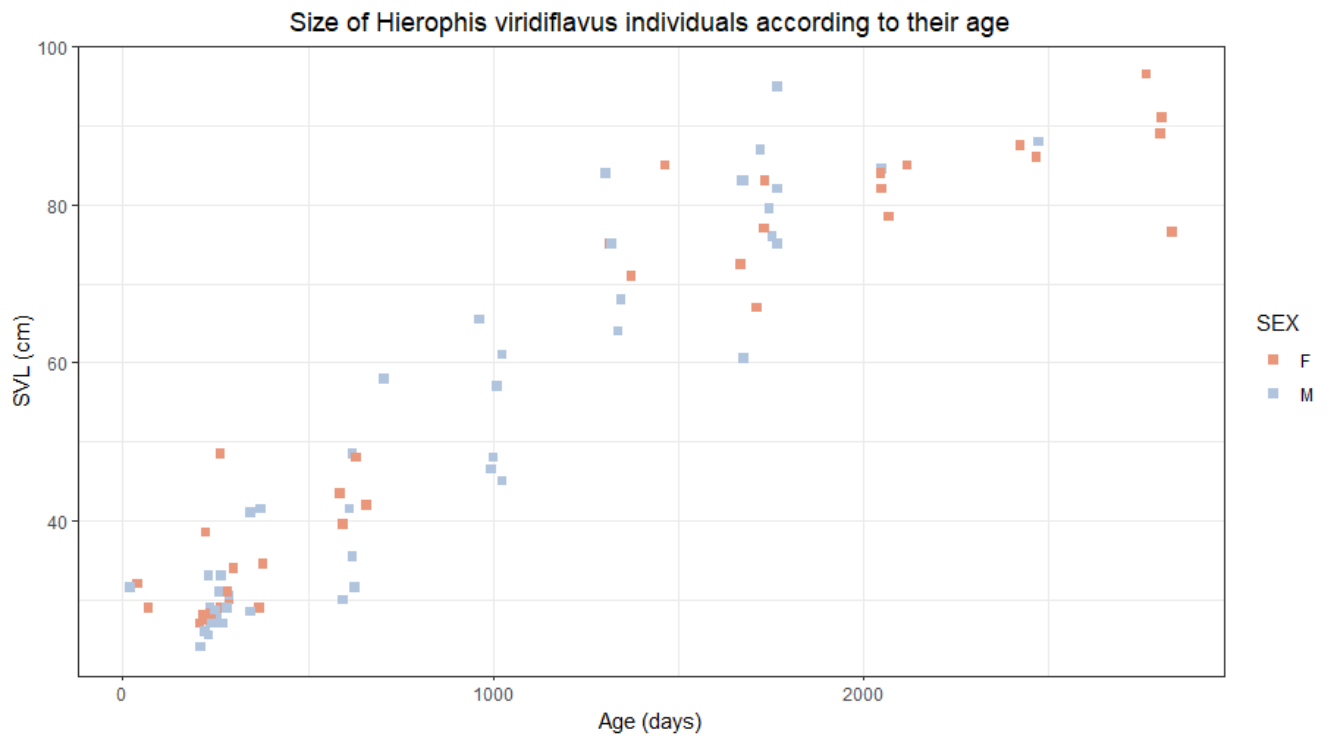
Annexe 8 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus* (F = Femelle, M= Mâle).



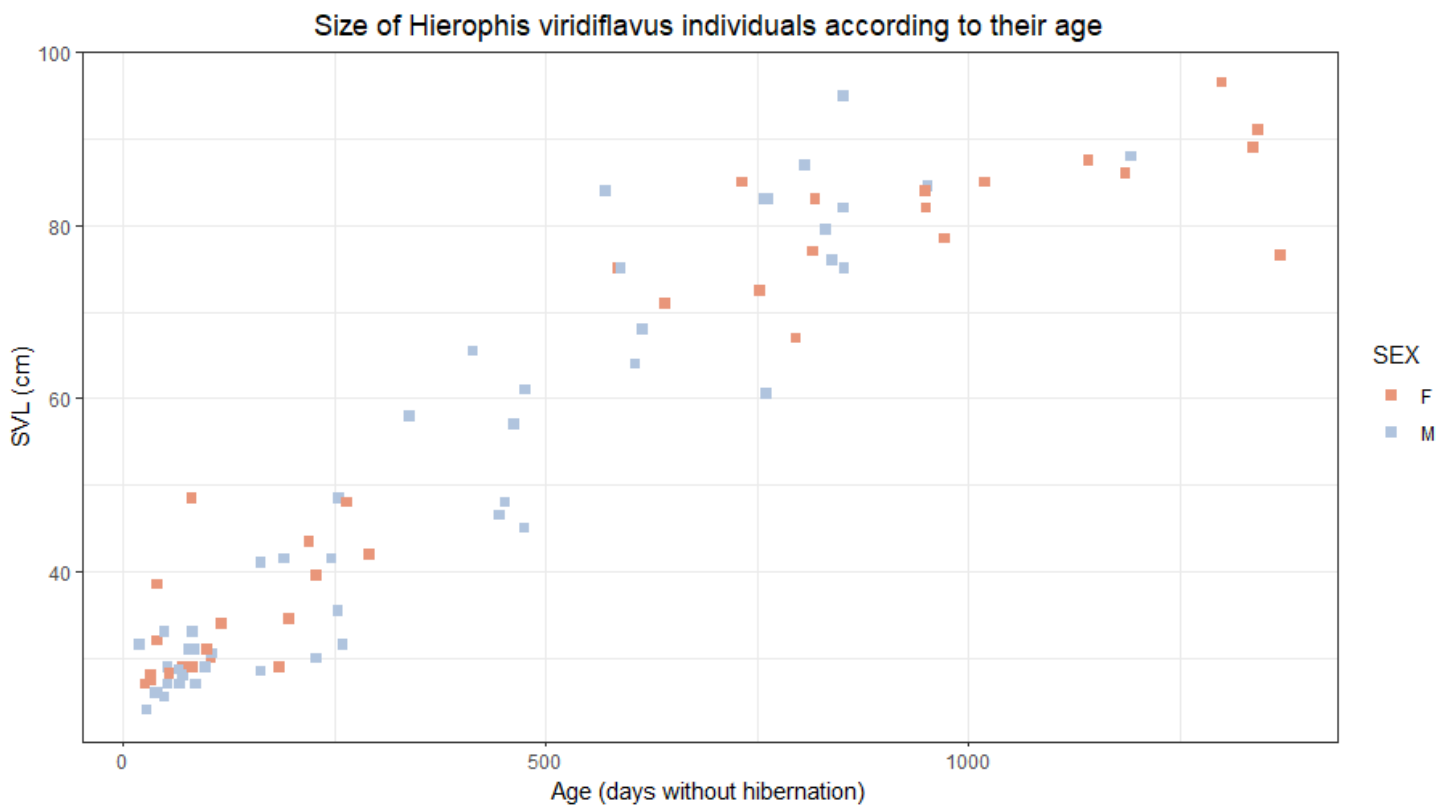
Annexe 9 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Zamenis longissimus* (F = Femelle, M= Mâle).



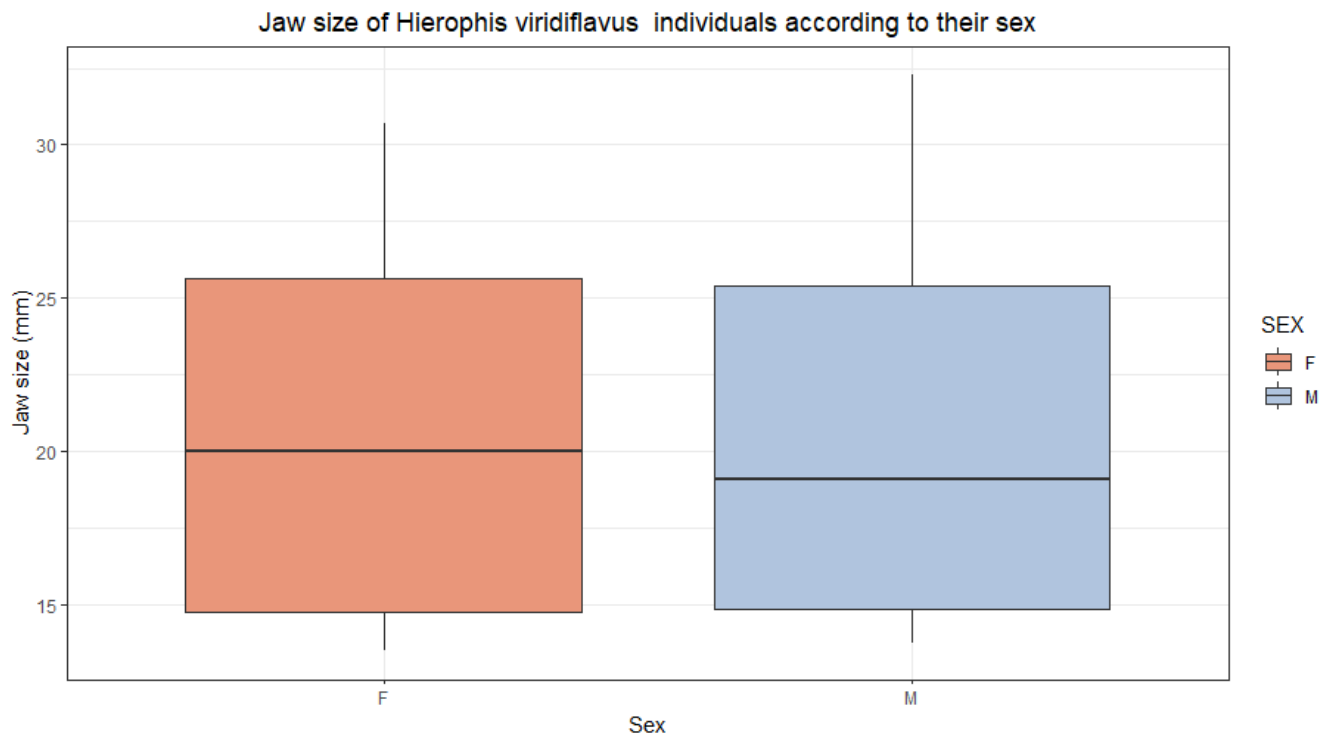
Annexe 10 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur museau-cloaque chez *Hierophis viridiflavus* (F = Femelle, M= Mâle).



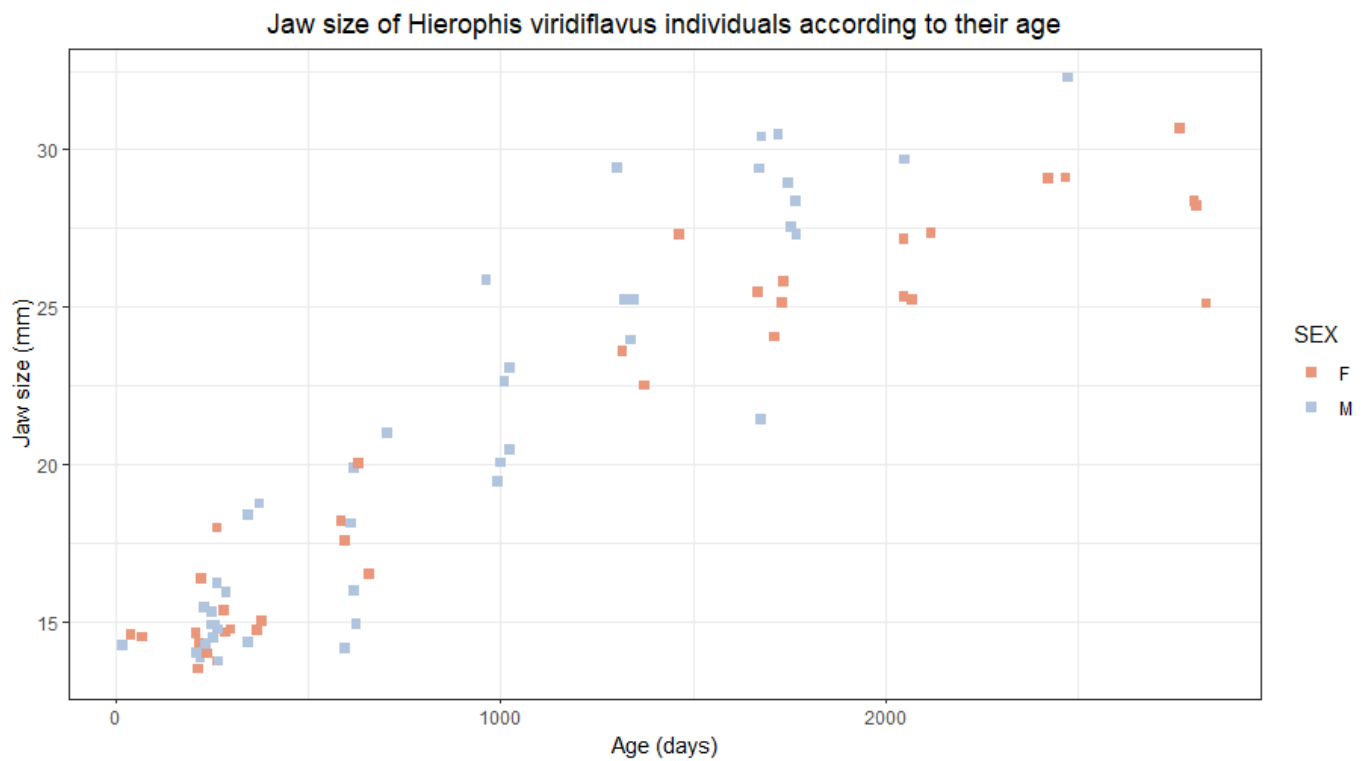
Annexe 11 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus* (F = Femelle, M= Mâle).



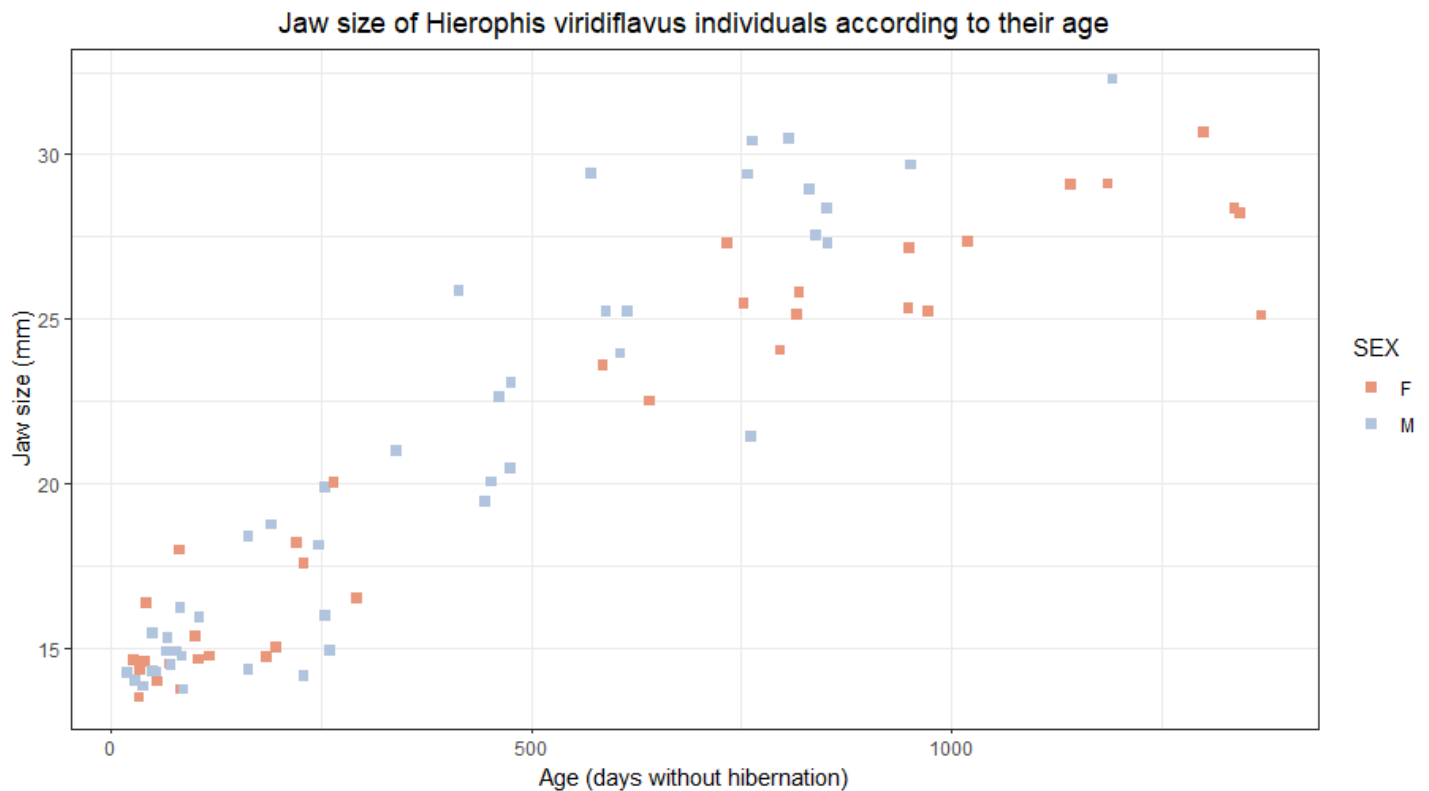
Annexe 13 : Graphique représentant la longueur museau-cloaque en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.



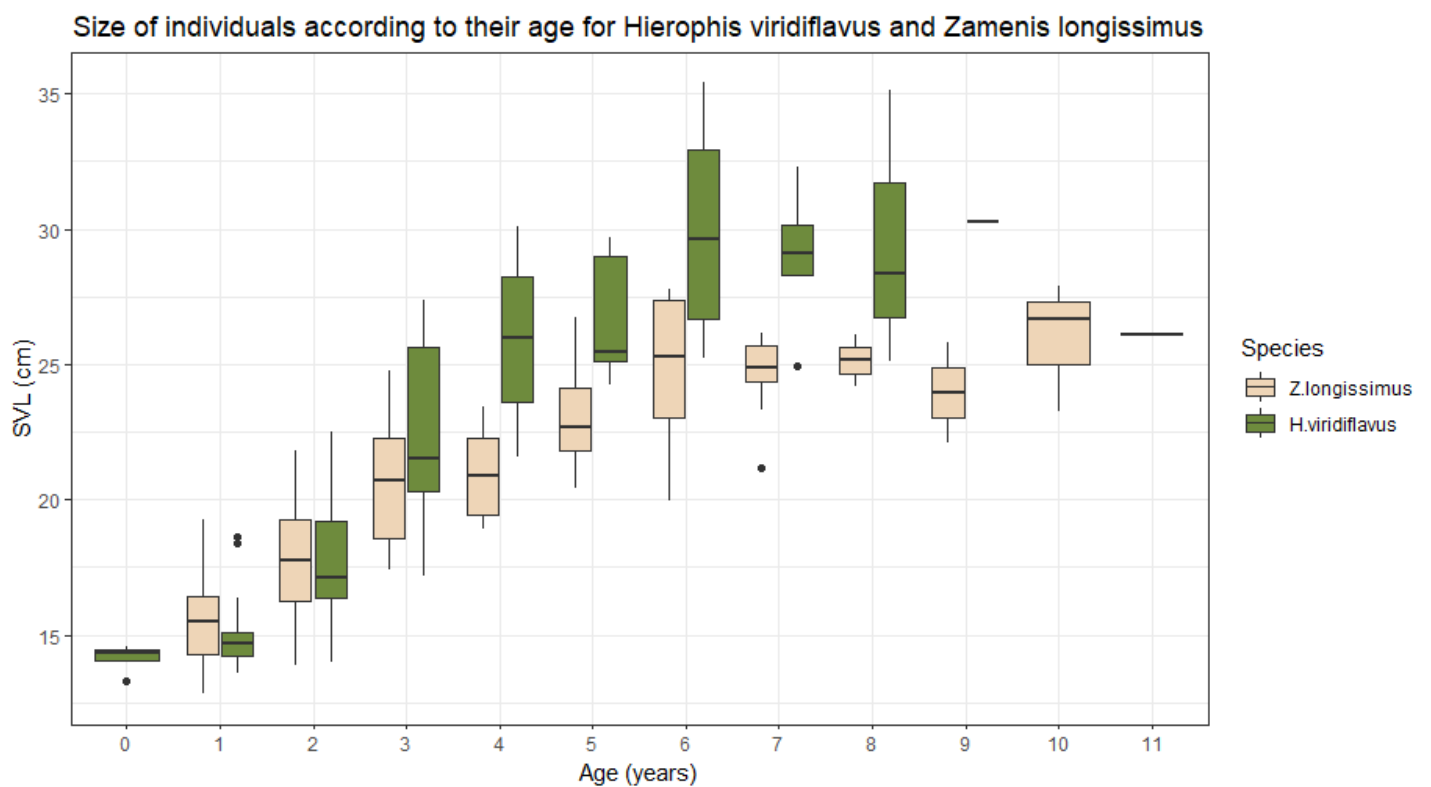
Annexe 14 : Boxplot représentant les sexes en fonction de la longueur de la mâchoire chez *Hierophis viridiflavus*.



Annexe 15 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge avec la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.



Annexe 16 : Graphique représentant la longueur de la mâchoire en fonction de l'âge sans la période d'hibernation chez *Hierophis viridiflavus*.



Annexe 17 : Boxplot représentant *Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus* en fonction de la longueur de leur mâchoire et de leur âge avec la période d'hibernation.

Annexe 18 : Présentation de la structure d'accueil, le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé.

Le Centre d'Études Biologiques de Chizé (CEBC) est une institution de recherche, située à Villiers-en-bois, en France métropolitaine. Fondé en 1976, le CEBC est affilié au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et à l'Université de la Rochelle. Sa mission principale est de mener des recherches en écologie et en biologie, avec un accent particulier sur l'étude des animaux sauvages et de leurs écosystèmes.

Situé au cœur de ses sites d'étude, le CEBC bénéficie d'un emplacement privilégié dans des environnements variés tels que la forêt de Chizé, la zone agricole de la plaine et du Val de Sèvre, ainsi que dans un paysage bocager. Anciennement une base militaire occupée par des soldats américains jusqu'en 1966, le site a été réaffecté à des fins de recherche scientifique sous l'impulsion du Professeur Grassé. Ainsi, le 22 février 1968, le Centre d'Études Biologiques des Animaux Sauvages (CEBAS) a été officiellement créé, devenant plus tard le CEBC.

Les principaux atouts du CEBC résident dans sa recherche sur le terrain, son interdisciplinarité et ses études à long terme. Ses équipes de chercheurs, composées de scientifiques mènent des études approfondies sur une variété de sujets allant de l'écologie comportementale à la conservation de la biodiversité. Grâce à son infrastructure et à ses partenariats avec d'autres institutions de recherche nationales et internationales, le CEBC joue un rôle majeur dans la compréhension des interactions entre les espèces sauvages et leur environnement, contribuant ainsi de manière significative à la conservation de la nature.

Aujourd'hui, la direction du centre est sous les commandes de Charles-André BOST. Le CEBC est centré autour de trois équipes de recherche :

- L'équipe RESILIENCE : leurs thématiques de recherche principales sont l'agroécologie, la conservation de la biodiversité, les interactions entre l'homme et la nature, et l'analyse des réponses des organismes, des populations et de l'environnement aux facteurs d'origine anthropique.
- L'équipe PREDATEURS MARINS : étudie les effets des changements globaux sur les écosystèmes marins, en utilisant les oiseaux et les mammifères comme « sentinelles » de l'état de santé de l'océan.
- L'équipe ECOPHY : étudie comment les individus de différentes espèces répondent aux variations environnementales.

Cette dernière équipe dont je faisais partie est composée de sept chercheurs et chercheuses: François Brischoux, Frederic Angelier, Coraline Bichet, Jerome Badaut, Olivier Chastel, Olivier Lourdaïs et Xavier Bonnet.