

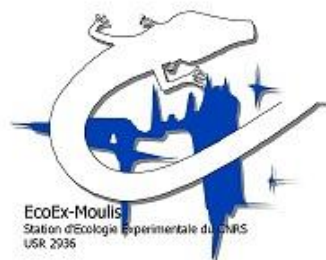


Plasticité comportementale et performances physiques en réponse à la température de l'eau chez la couleuvre vipérine *Natrix maura*

SARRAUDE Tom

Stage effectué du 05 mars 2012 au 27 avril 2012 à la
Station d'écologie expérimentale du CNRS à Moulis
09200, Moulis

sous la direction scientifique du Dr. AUBRET Fabien



"LE PRÉSENT RAPPORT CONSTITUE UN EXERCICE PÉDAGOGIQUE QUI NE PEUT EN AUCUN CAS
ENGAGER LA RESPONSABILITÉ DE L'ENTREPRISE OU DU LABORATOIRE D'ACCUEIL"

Sommaire

Remerciements

Introduction	1
Matériels et méthodes.....	2
Modèle biologique.....	2
Elevage	2
Mesures morphologiques.....	3
Mesure de la vitesse de nage	3
Mesure du temps d'apnée	4
Analyses statistiques.....	4
Résultats	4
Différence morphologique entre les groupes	4
Différence de performances physiques entre les groupes	5
Morphologie	6
Apnée.....	7
Nage.....	7
Discussion.....	8
Références bibliographiques	11
Annexes	12

Remerciements

Je tiens tout d'abord adresser un grand merci à Fabien pour m'avoir accepté à nouveau dans son équipe de choc. Merci pour la confiance qu'il m'a accordé et ses conseils avisés. Je le remercie aussi pour tout ce qu'il m'a appris, pour la patience ainsi que le temps qu'il m'a consacré lors du stage et de la rédaction de mon rapport. Encore merci pour sa bonne humeur permanente qui rend le travail tellement plus agréable.

Je remercie également Jean Clobert de m'avoir accueilli dans la Station expérimentale de Moulis, un grand centre de recherche à la renommée internationale.

Comment ne pas remercier ma binôme, Mélodie ? Merci pour sa gentillesse, sa bonne humeur, son soutien. Merci d'avoir fait de ce stage une vraie partie de plaisir.

Je tiens aussi à remercier mes 3 coloc' d'aventure, Laurence, Marine et Sarah pour m'avoir supporté pendant ces 2 mois. Je ne suis pas prêt d'oublier tous ces bons moments passés ensemble et ces échanges instructifs. Merci également à toute la coloc' d'en face : Nico, Mélo (encore elle), Alice, Aimeric, les Belges Quentin et Guillaume, Elouana, Michelle et Fleuriane. Thanks également aux anglophones Kat, Teja, Matt, Richard & Scott.

Pour finir je remercie mes parents pour leur précieux soutien lors de ce stage, mais surtout depuis le début de ma scolarité.

Introduction

Dans le contexte de changement climatique, il est essentiel de prévoir si les espèces vont pouvoir s'adapter ou non. En effet, l'un des effets majeurs du réchauffement global est la perte de biodiversité due à l'altération du milieu. Pour faire face au réchauffement, les organismes peuvent adopter différentes stratégies évolutives agissant à différentes échelles de temps : i) accumuler des mutations bénéfiques, à occurrence aléatoire ; ii) migrer vers un environnement plus favorable ; iii) ajuster son phénotype afin de répondre aux nouvelles conditions locales.

Toutefois, le changement climatique qui s'amorce entraîne des bouleversements trop rapides pour que seules les mutations aléatoires permettent aux êtres vivants de surmonter ces changements. De plus, si certaines espèces peuvent modifier leur aire de répartition (Parmesan, 1996), d'autres n'ont pas la capacité de migrer sur de longues distances jusqu'à trouver un milieu plus favorable (*e.g.* des espèces vivant dans des écosystèmes insulaires). Il est donc nécessaire de s'intéresser à la troisième possibilité, à travers l'étude de la plasticité phénotypique.

La plasticité phénotypique est définie comme la propriété d'un génotype à produire différents phénotypes en réponse à une ou plusieurs variations environnementales (Pigliucci et al., 2006). C'est par cette voie évolutive que les espèces peuvent s'acclimater rapidement à un environnement changeant.

Selon Hailey et Davies (1988) de nombreux caractères, tels que la locomotion, l'activité musculaire, le métabolisme aérobie et anaérobie, sont température dépendants chez les reptiles. L'étude de la plasticité phénotypique sur des animaux ectothermes prend alors tout son sens. En effet, pour ces animaux, présenter une plasticité pour quelques traits phénotypiques peut leur permettre de répondre à des changements de température. Ceci est d'autant plus vrai lorsque ces traits ont une influence directe sur leur fitness. De plus, les animaux amphibiens doivent faire face à des compromis comportementaux. Par exemple, rentrer dans l'eau alors que l'activité musculaire est optimale pour l'air éloigne l'individu de son optimum. Les tactiques de thermorégulation mises en place peuvent éviter en partie ces compromis. Ainsi, augmenter sa température corporelle au-delà des conditions normales avant de rentrer dans une eau froide donne un supplément d'énergie (Hailey and Davies, 1987). Ce comportement permet de conserver une activité musculaire utile à la chasse par exemple. Il est attendu que ces comportements soient exacerbés dans les milieux où les variations de températures entre l'air et l'eau sont les plus importantes : en montagne par exemple, où l'air peut atteindre les 30°C en été, tandis que la température de l'eau ne dépasse pas les 12°C.

La plasticité développementale joue un rôle important dans l'adaptation locale d'un individu à un milieu (Aubret et al., 2004). On sait que de jeunes serpents ayant grandi dans un milieu donné sont plus efficaces dans ce type de milieu et auront tendance à rechercher des habitats présentant des caractéristiques communes à l'habitat maternel (Aubret and Shine, 2008). Cette préférence peut alors conduire à une adaptation locale (création d'écotypes).

Cette étude servira à mesurer les avantages, mais aussi les inconvénients chez les ectothermes amphibiens à présenter une plasticité phénotypique dans le cadre du changement global. De nombreuses espèces sont concernées, telles que des tortues d'eau douce, des lézards et d'autres espèces de serpents semi-aquatiques.

Cette étude porte sur la couleuvre vipérine *Natrix maura*, une espèce amphibie qui utilise les milieux aquatiques et terrestres. Du fait de cette double dépendance et des grandes variations journalières, saisonnières et géographiques de température entre les milieux, on s'attend à ce que l'espèce testée présente une plasticité importante. Cependant, cette dernière peut être modulée par l'altitude et la latitude des populations étudiées. On s'attend à ce que les populations d'altitude soient peu plastiques du fait de la faible variation de température de l'eau au cours de l'année.

L'hypothèse principale est que les individus ajusteront leur phénotype à leur température d'élevage en ajustant leur métabolisme, et seront plus efficaces lors des tests passés à leur température que les individus élevés à d'autres températures. Les prédictions sont alors :

- 1) Apparition de différences morphologiques et comportementales entre les individus des différents traitements.
- 2) Différences de performances pour les tests selon les traitements. Par exemple, un individu élevé à 30°C sera plus performant qu'un individu élevé à 10°C pour les nages à 30°C.

Matériels et méthodes

Modèle biologique

Le modèle étudié est la couleuvre vipérine *Natrix maura*. Cette couleuvre a comme particularité d'être semi-aquatique. Elle chasse en milieu aquatique et se reproduit en milieu terrestre. Son nom vernaculaire vient du fait qu'elle montre des stratégies mimétiques avec la vipère aspic *Vipera aspis*. Les patterns dorsaux de la vipérine reprennent le zig-zag caractéristique des vipères. La ressemblance est aussi comportementale, puisqu'en cas de danger, la couleuvre adopte une stratégie défensive similaire à la vipère : elle aplatit son corps, sa tête prend une forme triangulaire et simule une morsure en lançant sa tête en avant.

Elevage

Pendant l'été 2011, 31 femelles gestantes ont été capturées sur trois sites en Ariège : Bonac-Irazein, Sentein et Le Pont.

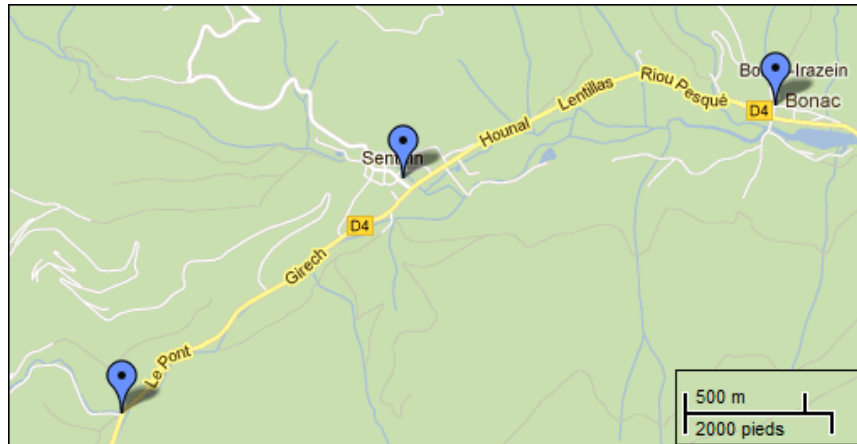


Figure 1 : cartographie des sites de captures des femelles gestantes. De gauche à droite : Le Pont, Sentein et Bonac-Irazein. Les trois sites sont situés à environ 800m d'altitude.

Les œufs ont été placés dans une armoire thermorégulatrice jusqu'à éclosion, à une température d'incubation de 28°C.

Afin de mettre en évidence une plasticité phénotypique pour certains traits, des individus sont maintenus en captivité dans des bacs qui diffèrent selon la température de l'eau. Chaque bac est divisé en 5 compartiments, fournissant autant de réplicats (annexe 3). Les bacs possèdent une partie immergée reliée par une bande d'herbe synthétique à une seconde partie émergée, dont une ampoule 40 Watts fournit à la fois un point chaud et de la lumière (annexe 4). Cette ampoule fonctionne sans interruption entre 7h30 et 19h. Des tuiles offrent des abris sur terre et sous l'eau. Chaque individu est affecté à une température et à un compartiment pendant la durée de l'étude.

Les effectifs des bacs sont de 36, 25 et 32 individus respectivement pour les températures 10, 20 et 30°C. Les individus provenant d'une même ponte ont été répartis de manière égale dans les bacs afin de s'affranchir des effets maternels, tout en maintenant un sex-ratio équilibré. Il s'agit d'une répartition selon un *split clutch design*. Au total, 17 pontes ont été réparties dans les bacs.

Les serpents sont nourris *ad libitum* plusieurs fois par semaines avec des vairons de taille adaptées à celles des serpents.

Mesures morphologiques

Après éclosion, les juvéniles ont été pesés (± 0.01 g), mesurés (± 0.01 mm), sexés et marqués. La longueur jusqu'au cloaque (*snout-vent length* : SVL) et la longueur totale (LT) ont été relevées à l'aide d'un pied à coulisse (Kincrome Professional Quality Tools). Une nouvelle série de mesures a eu lieu trois semaines après l'éclosion. Tout au long de l'étude, les serpents seront mesurés et pesés régulièrement. Ces mesures vont nous renseigner sur la croissance des individus en fonction de la température d'élevage.

Mesure de la vitesse de nage

Après une minute d'acclimatation, les serpents sont placés dans un bac de 3.50m de long pour 50cm de large, avec un fond d'eau (5 à 10 cm) et gradué tout les 10 cm. Une caméra placée en hauteur filme le serpent. Les différentes températures exposées aux serpents sont 10°C, 15°C, 20°C, 25°C et 30°C. Ces températures doivent nous permettre de voir si les

serpents nagent différemment selon la température de leur bac d'origine. Les vitesses de nage sont calculées à l'aide du logiciel CyberLink PowerDirector™ Express (version 3.20.1619) en effectuant un simple rapport distance/temps lors de l'analyse des vidéos.

Mesure du temps d'apnée

Après une minute d'acclimation, les serpents sont placés dans des tubes adaptés à leur taille dont une des deux extrémités est bouchée, et plongés dans l'eau. Afin d'effrayer le serpent, et par conséquent de le maintenir sous l'eau, les manipulateurs donnent de petits coups sur le tube. Les températures d'exposition sont 10°C, 20°C et 30°C. Deux séries de mesures ont été effectuées en mars afin de tester la reproductibilité des données.

Pour les nages comme pour l'apnée, l'acclimation permet d'obtenir des résultats optimaux en mettant l'individu à la température de l'eau.

Analyses statistiques

Après vérification de la normalité des données à l'aide du test de Shapiro-Wilk des ANOVA ainsi que des tests de Kruskal-Wallis, équivalent non-paramétrique des ANOVA, ont été réalisés. L'égalité des variances a été testée par le test de Batlett dans le but d'effectuer des tests de Wilcoxon. L'ensemble de ces tests doit mettre, ou non, en évidence des différences de morphologie et de capacité physiologique entre les individus des groupes 10°C, 20°C et 30°C.

Les logiciels utilisés sont R (version 2.15.0) et Statistica. L'erreur α de première espèce est fixée à 0.05.

Résultats

Tout d'abord, on a testé s'il existait un lien entre le sexe et les performances physiques des serpents. Une relation a été établie pour l'apnée à 10°C de l'été 2011, ainsi que pour la première apnée à 30°C de mars 2012. Ainsi, les femelles restaient plus longtemps à 10°C (3610.30 sec ; $W = 1287$, $p = 0.03215$), tandis que les mâles étaient plus performants à 30°C (236.51 sec ; $W = 574$, $p\text{-value} = 0.0003$). Cependant, les deux sexes étant à peu près également répartis dans chaque bac, on peut négliger ces effets.

Ensuite, des ANOVA ainsi que leurs équivalents non paramétriques (tests de Kruskal-Wallis) nous ont permis de voir s'il existait des différences morphologiques et de capacités physiques entre les groupes de température au début de l'étude.

Différence morphologique entre les groupes

Aucune différence de masse n'existait lors de la séparation des juvéniles dans les bacs ($2.89 \pm 0.42\text{g}$; Kruskal-Wallis chi-squared = 0.1292, $df = 2$, $p = 0.9374$). Il en est de même pour la longueur totale ($19.62 \pm 1.18\text{cm}$; Kruskal-Wallis chi-squared = 0.4501, $df = 2$, $p = 0.7985$).

Différence de performances physiques entre les groupes

Tous les individus présentaient les mêmes performances d'apnée quelles que soient les températures : 10°C ($3256.29 \pm 2070.16\text{sec}$; Kruskal-Wallis chi-squared = 0.426, df = 2, p = 0.8082) ; 20°C ($562.45 \pm 423.35\text{sec}$; $F_{2,90} = 0.19$; p = 0.827) ; 30°C ($189.57 \pm 151.50\text{sec}$; $F_{2,90} = 0.625$; p = 0.538). Les différences de performances selon les températures sont toutes significatives (toutes les valeurs de $p < 9e^{-15}$, obtenues avec des tests de Wilcoxon appariés).

Concernant les nages, des mesures répétées ont été effectuées car les individus ont effectué 5 longueurs pour chaque température.

Nage (en °C)	10	15	20	25	30
Vitesse (en cm.s^{-1})	12.34 ± 4.86	21.72 ± 5.87	29.21 ± 7.33	34.04 ± 8.52	35.66 ± 9.69
p	0.295	0.050	0.082	0.277	0.500

Tableau 1 : moyenne $\pm$ écart-type de l'ensemble des serpents testés aux différentes températures.

Toutes les valeurs de p étant supérieures ou égales à 0.05 on peut en conclure que les serpents avaient des performances physiques similaires à la naissance.

Des tests de corrélation de Spearman ont mis en évidence une relation entre la LT et les capacités de nages pour toutes les températures (toutes les valeurs de $p < 0.04$) sauf pour 10°C (p = 0.303). Ce même test a montré que les capacités de nages sont liées à la BM (toutes les valeurs de $p < 0.005$), sauf à 10°C (p = 0.579). Pour cette raison, nos futures analyses des vitesses nages sont toutes covariées par la taille et/ou par la masse des individus. Au contraire, aucune corrélation n'a été établie entre la LT, la BM et les capacités d'apnées, quelle que soit la température (toutes les valeurs de $p > 0.05$).

La suite porte sur les résultats obtenus en mars et avril 2012.

Morphologie

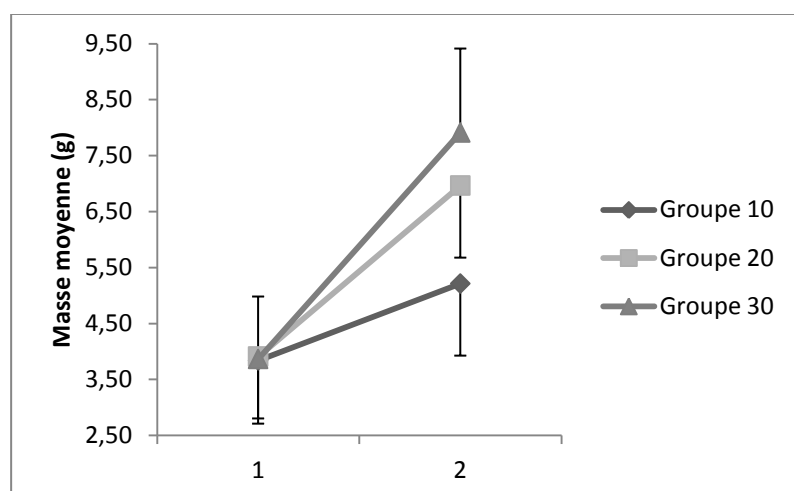


Figure 2 : évolution de la masse moyenne ($\pm\sigma$) des individus chez les différents groupes. Les mesures ont eu lieu à quatre mois d'intervalle. La première a été réalisée trois semaines après la naissance. La deuxième a eu début avril. La différence de masse est significativement différente lors de la dernière mesure (Kruskal-Wallis chi-squared = 23.3017, df = 2, p = 8.711e-06).

Au début de l'étude, aucune différence de masse moyenne n'est observée entre les traitements. Après 4 mois passés dans les bacs d'élevage, des différences significatives apparaissent. Les serpents élevés à 10°C sont en moyenne plus légers ($5.21 \pm 1.50\text{g}$).

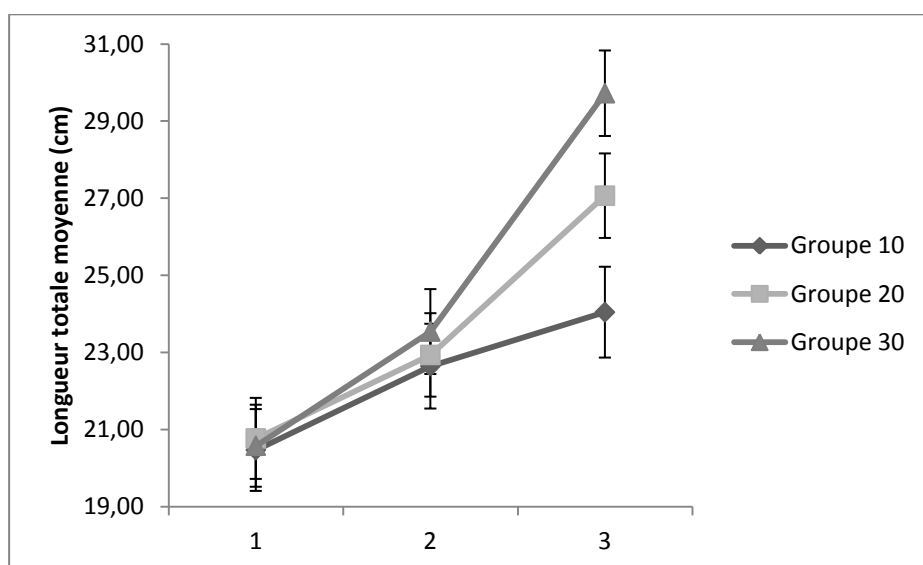


Figure 3 : évolution de la longueur totale LT moyenne ($\pm\sigma$) des individus au cours de l'étude. Les mesures ont eu lieu tous les deux mois. La différence de taille moyenne des individus est significativement différente selon les traitements lors de la dernière mesure (Kruskal-Wallis chi-squared = 31.8521, df = 2, p = 1.212e-07).

De même que pour la masse moyenne, la longueur totale moyenne est la même pour tous les traitements lors de la répartition des serpents. Les dernières mesures effectuées en avril témoignent d'un écart significatif entre le groupe des 10°C ($24.04 \pm 1.11\text{cm}$) et les autres.

Apnée

Afin de tester la reproductibilité des apnées du mois de mars, des tests Wilcoxon appariés ont été effectués. Ils se sont révélés non significatifs (toutes les valeurs de $p > 0.37$), ce qui signifie qu'il n'y avait pas de différence entre les deux mesures. La reproductibilité de cette manipulation est donc bonne.

Un premier résultat significatif est obtenu pour les apnées à 10°C. A cette température, les serpents élevés à 30°C restent en moyenne plus longtemps que les autres (Kruskal-Wallis chi-squared = 14.7962, df = 2, $p = 0.001$).

Nage

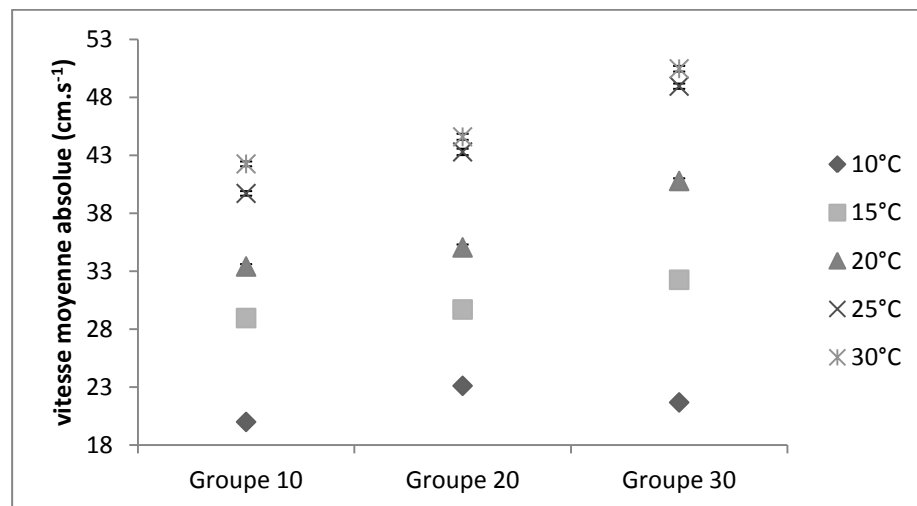


Figure 4 : vitesse absolue moyenne ($\pm$ erreur standard) des traitements en fonction des températures du test. L'erreur standard a été calculée en divisant l'écart type par $\sqrt{n}$.

Ce graphique nous montre qu'au-delà de 15°C, les serpents élevés à 30°C nagent en moyenne plus vite que les autres serpents (toutes les valeurs de $p < 0.025$). De plus, on observe également que les vitesses de nages à 25°C et 30°C sont proches ($V = 1695$, $p = 0.275$).

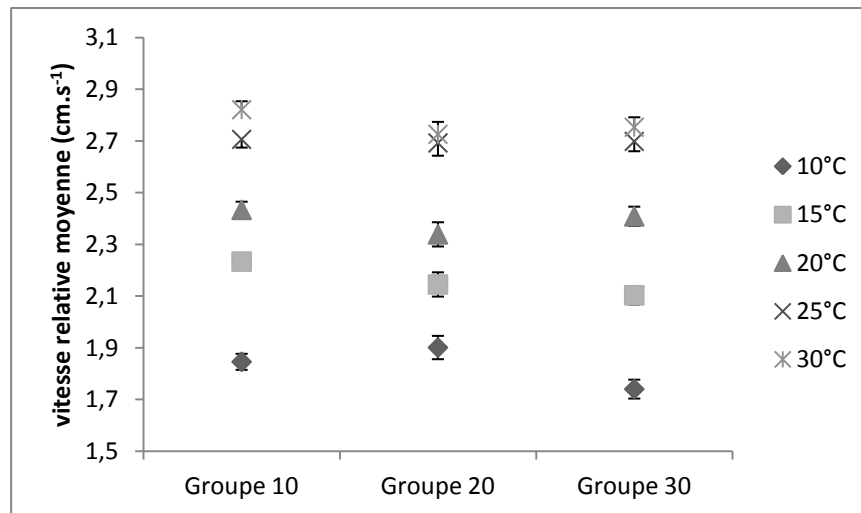


Figure 5 : vitesse relative moyenne ($\pm$ erreur standard) selon les traitements.

Sur ce graphique on observe qu'une fois la taille des individus prise en compte, les 30°C ne nagent pas plus vite que les autres serpents. De plus, on peut remarquer que les 30°C nagent significativement moins vite à 10°C (Kruskal-Wallis chi-squared = 7.9565, df = 2, p = 0.019). Ce résultat est proche du seuil de significativité à 15 °C ($F_{2,88} = 2.732$; p = 0.070).

Discussion

Aucune différence morphologique ou de performance physique (tableau 1) n'existait lors de la séparation des individus dans les différents bacs. Ceci nous permet de dire que les différences observées par la suite seront vraisemblablement dues aux traitements appliqués aux serpents.

Concernant les caractères morphologiques, les figures 2 et 3 montrent une divergence de masse et de longueur selon les traitements. Alors que les mêmes opportunités de thermorégulation et d'alimentation sont offertes à chaque bacs, les couleuvres élevées à 10°C choisissent de grandir moins vite que celles élevées à 20°C et à 30°C. Ce résultat également trouvé par Aubret et Shine (2010) pourrait s'expliquer par le fait que les hautes températures améliorent la digestion des proies. Une autre explication possible a été émise par Ashton et Feldman (2003). Ces auteurs ont prouvé que les squamates ne suivaient pas la règle de Bergmann, selon laquelle le ratio surface/volume des animaux est inversement proportionnel à la température de leur milieu de vie. Cette exception aiderait les individus vivant dans un milieu froid à augmenter le rapport surface/volume afin de mieux réguler leur température corporelle. A l'inverse, dans un milieu chaud, la thermorégulation serait un facteur moins important. Ceci permettrait aux individus de tirer profit de leur grande taille (*e.g.* une meilleure résistance aux périodes de jeûne, des capacités physiques accrues utile à la chasse ou la fuite).

Les résultats obtenus concernant les capacités physiques montrent clairement une influence de la température. L'effet de cette dernière sur le métabolisme et la consommation de l'O₂ est bien connu (Bennett and Dawson, 1972). Ceci est dû au fait que lorsque la température augmente, le dioxygène perd de son affinité avec l'hémoglobine et se libère dans le sang. Ceci est un avantage lorsqu'il s'agit d'effectuer un effort physique. En effet, le dioxygène directement présent dans le sang arrive plus rapidement aux muscles. Au contraire, lors d'une apnée, il est nécessaire de fixer l'O₂ dans les globules rouges. Pendant une apnée,

la pression partielle d'O₂ dans le sang diminue continuellement, et une température élevée accélère ce phénomène. Il devient alors difficile à l'animal de rester très longtemps sans respirer.

Le premier résultat porte sur la capacité d'apnée à 10°C des serpents élevés à 30°C. Pour rappel, à cette température les serpents venant des bacs à 30°C restent plus longtemps que les autres. Ce résultat, contraire à nos attentes, peut s'expliquer par le fait que les serpents élevés à 30°C ont un métabolisme de base plus élevé que les autres serpents de l'étude. De ce fait, lorsqu'ils sont placés à 10°C, leurs niveaux de métabolisme se situent en dessous de ceux des autres serpents. Leur dépense énergétique est donc moindre que celle de leurs congénères, et ils peuvent rester plus longtemps sous l'eau.

On s'attendrait à ce que le même phénomène se produise pour les hautes températures. C'est-à-dire que les serpents venant de 10°C restent moins longtemps que ceux élevés à 30°C. Pourtant, rien de tel n'est observé actuellement.

Les résultats obtenus avec les manipulations du mois de mai confirment ceux présentés dans ce rapport, et les hypothèses sur le métabolisme semblent vérifiées. Cependant, afin d'être sûr que ces résultats ont bien une origine métabolique, il est nécessaire de les compléter avec les résultats des nages.

A propos des nages, on trouve encore un résultat dans les faibles températures. Malgré leur grande taille, les serpents provenant des bacs à 30°C sont plus lents, et ce en vitesse absolue et relative (fig. 4 et 5). Ceci n'est donc pas un effet taille. On suppose que comme pour les apnées, le métabolisme joue un rôle dans les performances de nage à faible température. Ce résultat est significatif à 10°C, mais pas encore à 15°C. On attend que la suite de l'étude nous apporte plus de résultats à cette température.

La courte période d'acclimatation peut expliquer en partie le manque de résultat sur les performances physiques. En effet, en analysant les résultats des nages, les serpents ne semblaient pas totalement acclimatés lors de la première longueur. Dans le but d'améliorer les résultats du mois de mai, les serpents ont été acclimatés pendant 5 à 10 minutes avant chaque nage.

Il est possible de placer ces résultats dans le contexte de changement climatique, bien qu'ils soient préliminaires. Si l'environnement des populations de *Natrix maura* d'altitude venait à se réchauffer (hypothèse la plus probable selon le rapport du GIEC de 2007), cela ne devrait pas poser de problème majeur concernant les facultés locomotrices. Cependant, si les proies de cette espèce ne survivent pas au réchauffement, cela menacerait la pérennité des populations locales. En effet, le métabolisme augmente avec la température, et les besoins énergétiques aussi.

Si les proies sont suffisamment abondantes pour subvenir aux besoins des individus, alors il est probable que la taille des individus augmente, comme le montre les résultats concernant l'évolution de la morphologie des serpents dans les traitements. C'est ce qu'il se produit en Afrique du Nord, où les couleuvres vipérines peuvent atteindre 2m.

Le fait que peu de plasticité soit observée pour l'instant peut être dû à au moins deux facteurs. Le premier, et certainement le plus important, est le fait que les résultats présentés dans ce rapport ne représentent que les 6 premiers mois d'une étude censée durer plusieurs années. Deuxièmement, nous nous attendions à ce que les populations d'altitude présentent peu de traits plastiques en réponse à des changements de température de l'eau. En effet, en montagne, l'eau ne varie guère plus de quelques degrés entre l'hiver et l'été. L'histoire évolutive des populations de *Natrix maura* d'altitude ne les a pas contraints à présenter une forte plasticité. L'étude de populations de plaines, autour de Toulouse notamment, devrait amener à des résultats différents.

En outre, la plasticité phénotypique entraîne des coûts et comporte des limites. DeWitt et ses collaborateurs (1998) ont identifiés plusieurs coûts et limites à la plasticité phénotypique. Les premiers entraînent une diminution de la fitness même lorsque le phénotype optimal est exprimé, tandis que les limites définissent une impossibilité pour un individu à fournir un phénotype optimal. Il sera donc primordial de mettre en évidence les coûts et les limites de la plasticité chez l'espèce étudiée.

Toutefois, il existe une plasticité chez les populations étudiées car des individus provenant d'une même ponte, donc génétiquement proches, peuvent survivre dans une large gamme de température.

En conclusion, les résultats présentés lors de ce rapport montrent une influence indirecte de la température de l'eau sur le taux de croissance des serpents ainsi que sur leurs performances physiques. En ce qui concerne le taux de croissance, ceci est contre-intuitif car la partie terrestre offre les mêmes opportunités de thermorégulation et les animaux sont nourris de manière égale. A propos des performances physiques, nous nous attendions à ce que les serpents soient plus efficaces pour les températures proches de leur température d'élevage. Les résultats obtenus sont eux aussi contre-intuitifs. En effet, à partir de 20°C, les couleuvres élevées à 30°C nagent plus vite que les autres. Cependant, les capacités de nage des couleuvres vipérines sont liées à la longueur totale des individus, ce qui nous oblige à utiliser la vitesse relative. Lorsque ces vitesses sont prises en compte, la différence disparaît ; il s'agit donc d'un effet taille. Au contraire, les serpents élevés à 30°C nagent significativement moins vite à 10°C. De plus, lors des apnées, ces mêmes individus restent plus longtemps en apnée à 10°C. Pour ces deux résultats comme pour le taux de croissance, le métabolisme est supposé jouer un rôle.

A l'heure actuelle, les résultats montrent une faible plasticité des populations de *Natrix maura* d'altitude qui pourrait menacer les populations. Cependant, il ne s'agit là que des premiers mois d'une étude qui doit être menée sur plusieurs années. A terme, cette étude fournira des données pouvant être utilisées lors de programmes de conservations d'espèces, ectothermes et aussi amphibiens, en danger.

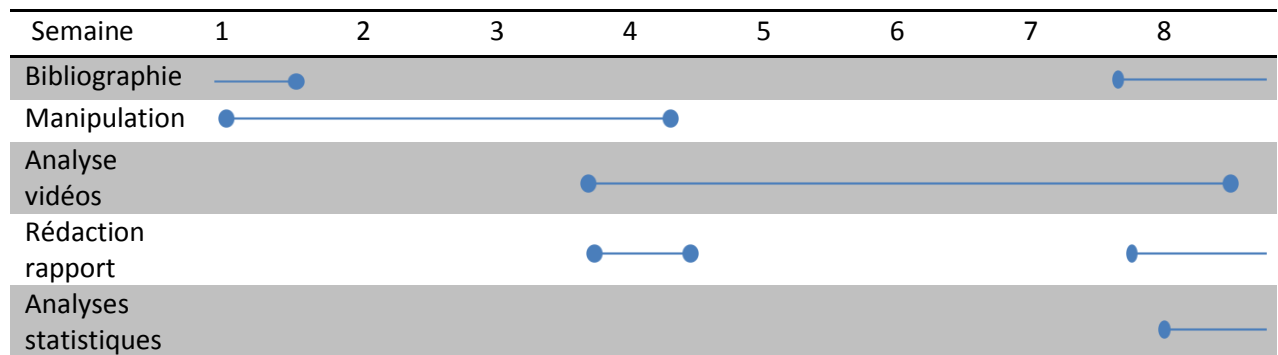
Références bibliographiques

- Ashton, K.G., and Feldman, C.R.** (2003). Bergmann's rule in nonavian reptiles: turtles follow it, lizards and snakes reverse it. *Evolution* **57**, 1151–1163.
- Aubret, F., and Shine, R.** (2008). Early Experience Influences both Habitat Choice and Locomotor Performance in Tiger Snakes. *The American Naturalist* **171**, 524–531.
- Aubret, F., and Shine, R.** (2010). Thermal plasticity in young snakes: how will climate change affect the thermoregulatory tactics of ectotherms? *Journal of Experimental Biology* **213**, 242–248.
- Aubret, F., Shine, R., and Bonnet, X.** (2004). Evolutionary biology: adaptive developmental plasticity in snakes. *Nature* **431**, 261–262.
- Bennett, A.F., and Dawson, W.R.** (1972). Aerobic and anaerobic metabolism during activity in the lizard *Dipsosaurus dorsalis*. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* **81**, 289–299.
- DeWitt, T.J., Sih, A., and Wilson, D.S.** (1998). Costs and limits of phenotypic plasticity. *Trends in Ecology & Evolution* **13**, 77–81.
- Hailey, A., and Davies, P.** (1988). Activity and thermoregulation of the snake *Natrix maura*. 2. A synoptic model of thermal biology and the physiological ecology of performance. *Journal of Zoology* **214**, 325–342.
- Hailey, A., and Davies, P.M.C.** (1987). Activity and thermoregulation of the snake *Natrix maura*. 1. r and K thermoregulation. *Journal of Zoology* **213**, 71–80.
- Parmesan, C.** (1996). Climate and species' range. , Published Online: 29 August 1996; | Doi:10.1038/382765a0 **382**, 765–766.
- Pigliucci, M., Murren, C.J., and Schlichting, C.D.** (2006). Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. *Journal of Experimental Biology* **209**, 2362–2367.

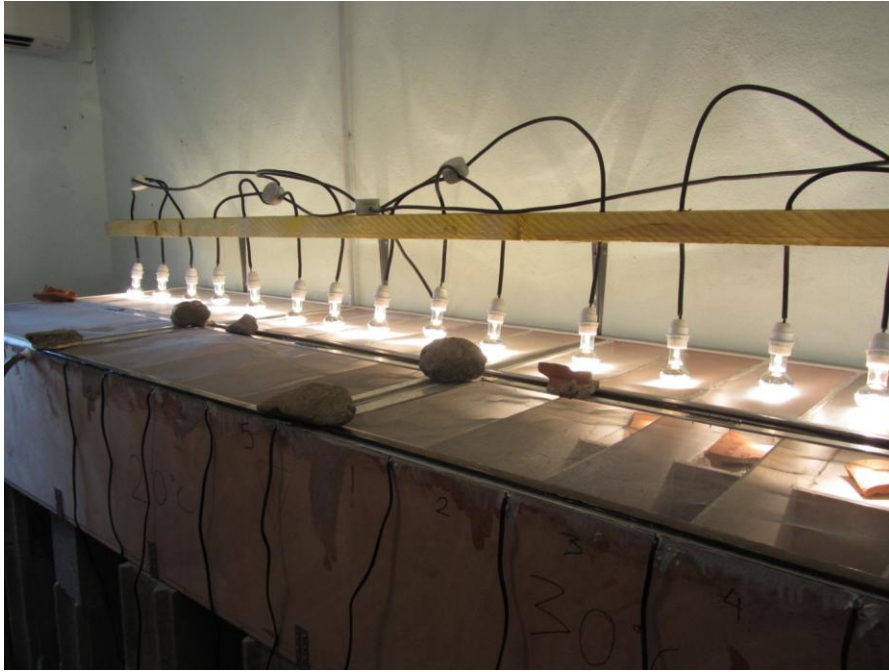
Annexes

Intervenants	Idée originale	Bibliographie	Mise en place du protocole	Collecte des données	Analyse statistique	Rédaction
Principaux	Fabien Aubret	Tom Sarraude	Fabien Aubret	Mélodie Tort, Tom Sarraude	Fabien Aubret	Tom Sarraude
Secondaires		Mélodie Tort, Fabien Aubret		Fabien Aubret	Tom Sarraude	Fabien Aubret

Annexe 1 : tableau des tâches.



Annexe 2 : tableau de l'emploi du temps.



Annexe 3 : vue d'ensemble des bacs d'élevage.



Annexe 4 : prise de vue d'un compartiment d'un bac.

Résumé

Le but de l'étude exposée dans ce rapport est de mesurer la capacité des couleuvres vipérines (*Natrix maura*) à présenter une plasticité phénotypique pour certains traits tels que les performances physiques et taux de croissance par exemple. Cette plasticité pourrait permettre aux individus de survivre face au changement climatique.

Les populations étudiées sont issues de trois sites ariégeois situés le long d'un transect de 2km à environ 800m d'altitude. Les serpents sont séparés à la naissance selon un *split clutch design* dans des bacs de différentes températures. Des tests physiques composés de tests d'apnée et de nages sont effectués afin de mettre en évidence une réponse phénotypique des individus à leur température d'élevage. Les serpents sont aussi pesés et mesurés régulièrement.

Les résultats obtenus montrent un taux de croissance différent selon les traitements. Les serpents élevés à 10°C grandissent moins vite que les autres, malgré les mêmes opportunités de nourriture et de thermorégulation. Concernant les capacités physiques, les serpents élevés à 30°C restent plus longtemps en apnée à 10°C, et sont aussi plus lents lors de la nage à 10°C. Une des hypothèses avancées est que ces serpents, ayant ajusté leur métabolisme à leur température d'élevage, voient leur métabolisme chuter de manière plus importante que chez les autres serpents.

Ces résultats ne représentent que les 6 premiers mois d'une étude qui doit être menée sur plusieurs années. Ils doivent donc être confirmés par la suite.

Mots clés : plasticité phénotypique, *Natrix maura*, couleuvre vipérine, réchauffement climatique, métabolisme.