

Comparaison de méthodes de photo-identification manuelle et semi-automatiques pour le suivi individuel de la Vipère péliade (*Vipera berus*)

Comparison of manual and semi-automatic photo-identification methods for the individual monitoring of the common European adder (*Vipera berus*)

Bérénice GIVORD-COUCHEAU⁽¹⁾ & Gaëtan REY⁽¹⁾

⁽¹⁾ Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France - 1 place Ginkgo - Village Oasis - 80 044 Amiens cedex

Auteurs correspondants : berenice.cg@free.fr - g.rey@cen-hautsdefrance.org

Résumé – Dans une optique d'optimisation des protocoles d'identification pour le suivi individuel de la Vipère péliade (*Vipera berus*), une étude a été conduite sur les méthodes de photo-identification afin de comparer une méthode manuelle et trois logiciels semi-automatiques intégrant des algorithmes de comparaison de motifs caractéristiques (APHIS, I³S Pattern et Wild-ID). Pour comparer ces méthodes, les écailles céphaliques des individus ont été photographiées et une base de données de 192 images a été constituée. D'une part, la fiabilité de ces méthodes a été évaluée en mesurant les taux de faux négatifs et de vrais positifs pondérés par les rangs. D'autre part, la rapidité des méthodes a été évaluée en mesurant le temps moyen nécessaire à chaque logiciel pour les étapes de prétraitement des images, d'analyse et de vérification des correspondances. À l'issue de cette étude, le logiciel APHIS a été jugé plus adapté à la reconnaissance individuelle de *Vipera berus*, ayant atteint une valeur de fiabilité de 100 % et présentant une rapidité correcte (86,5 secondes par image en moyenne).

Mots-clés : *Vipera berus*, APHIS, I³S Pattern, Wild-ID, faux négatifs, vrais positifs pondérés par les rangs, rapidité.

Summary – In order to optimize individual identification protocols for the common European adder (*Vipera berus*), a study was conducted on photo-identification methods to compare a manual method and three semi-automatic software integrating characteristic pattern matching algorithms (APHIS, I³S Pattern and Wild-ID). To compare these methods, the cephalic scales of the individuals were photographed and a database of 192 images was created. On the one hand, the reliability of these methods was evaluated by measuring the false negatives rate and rank-weighted true positives rate. On the other hand, the rapidity of the methods was evaluated by measuring the average time required for each software for the photos pre-processing, analysis and match verification steps. At the end of this study, the APHIS software was considered more suitable for the individual recognition of *Vipera berus*, having reached a reliability value of 100% and presenting a correct rapidity (average of 86.5 seconds per image).

Key-words: *Vipera berus*, APHIS, I³S Pattern, Wild-ID, false negatives, rank-weighted true positives, rapidity.

INTRODUCTION

Les méthodes de Capture-Marquage-Recapture (Otis *et al.* 1978) sont fréquemment utilisées pour estimer la taille des populations animales, et ce pour de nombreux taxons (Schaub *et al.* 2001, Schtickzelle *et al.* 2003, Jackson *et al.* 2006, Lyet *et al.* 2009). Elles reposent sur l'identification des individus par un marquage durable (Otis *et al.* 1978). Pour la reconnaissance individuelle des reptiles, diverses techniques ont été employées depuis de nombreuses années, telles

que la coupe d'écailles, le tatouage ou la peinture (Ferner & Plummer 2016), la pose de transpondeur (Ursenbacher & Monney 2003), le marquage à chaud réalisé par brûlure des écailles ventrales (Prestt 1971, Ursenbacher 1998) ou le marquage à froid réalisé en glaçant l'épiderme du serpent avec de la neige carbonique (Monney 1988 in Ursenbacher 1998). Désormais, des techniques non-invasives sont de plus en plus utilisées grâce au développement de la photographie numérique via la photo-identification. Cette dernière présente l'avantage d'être inoffensive et moins stressante pour l'animal (Sannolo *et al.*

2016) et de permettre une identification à long terme de l'individu (Sacchi *et al.* 2010). Cette technique consiste à identifier les motifs corporels spécifiques à chaque individu (agencement des écailles ou motifs de couleur) et qui ne changent pas au cours de la vie, malgré les mues successives.

Toutefois la photo-identification manuelle est une méthode relativement chronophage et complexe, notamment lorsque l'échantillon considéré est de grande taille car un nombre conséquent de comparaisons visuelles doit être réalisé (Sacchi *et al.* 2010, Cruickshank & Schmidt 2017). Afin d'améliorer cette méthode, les photos prises sur le terrain peuvent ensuite être analysées grâce à un logiciel de reconnaissance individuelle, qui peut constituer une méthode plus rapide et peu onéreuse (Sacchi *et al.* 2016). Toutefois, la photo-identification semi-automatisée par un logiciel ne montre pas toujours une fiabilité supérieure à la photo-identification manuelle, même chez les reptiles (Dunbar *et al.* 2014). Le succès dépend notamment de la qualité des photos. De plus en plus de logiciels ont été développés ces dernières années et sont disponibles gratuitement. Il existe deux types de logiciels, ceux nécessitant un pré-traitement des images (e.g. I³S Pattern, APHIS SPM) pour lesquels l'utilisateur doit définir manuellement les caractéristiques corporelles distinctives de chaque photographie et à l'inverse ceux pour lesquels cette étape est inexistante (e.g. Wild-ID) (Sacchi *et al.* 2016).

Certains de ces logiciels de photo-identification semi-automatisés ont été utilisés sur les serpents avec succès (Albu *et al.* 2008, Rotger *et al.* 2019, Hofer *et al.* 2021), bien que ce taxon ne soit pas souvent cité dans la littérature dans le cadre de l'application de ces méthodes. La Vipère péliade (*Vipera berus*) est une espèce pouvant être identifiée individuellement par photo-identification à partir des motifs et de l'agencement des écailles céphaliques (Benson 1999, Bauwens *et al.* 2018). En effet, le nombre, la forme et les points de connexion des écailles sont variables entre les individus (Hodges & Seabrook 2014, Rey & Timmerman 2018) et l'écaillure céphalique est relativement stable entre le stade juvénile et le stade adulte (Bauwens *et al.* 2018). Plusieurs études ont ainsi mis en évidence l'intérêt de l'utilisation d'une méthode de photo-identification manuelle pour la reconnaissance individuelle de la Vipère péliade (Sheldon & Bradley 1989, Benson 1999, Bauwens *et al.* 2018). Toutefois, aucune étude n'a, à notre connaissance, comparé les performances de méthodes de reconnaissance semi-automatisées et manuelle et évalué la pertinence de

ces logiciels dans la reconnaissance individuelle de *Vipera berus*.

Dans cette étude, nous avons donc comparé les performances de la photo-identification manuelle et semi-automatique de la Vipère péliade. Dans un premier temps, nous avons calculé les taux d'erreur de la reconnaissance visuelle et algorithmique par l'usage de trois logiciels semi-automatiques (I³S Pattern, Wild-ID et APHIS) ainsi que le taux de vrais positifs pondérés par les rangs. Dans un deuxième temps, nous avons évalué la rapidité de chacune de ces méthodes d'identification. Sur la base de ces résultats, nous avons sélectionné la méthode de reconnaissance individuelle qui présente le meilleur compromis entre fiabilité et rapidité pour mettre en place un suivi régulier de la Vipère péliade.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

A. Constitution des bases photographiques

Cette étude a été réalisée à partir d'une base photographique d'écailles céphaliques de vipères péliades issues des prospections de terrain réalisées entre 2016 et 2021 sur les communes d'Audresselles et d'Ambleteuse (Hauts-de-France). Certains individus ont été capturés, d'autres photographiés à distance à l'aide d'un Nikon D500 et d'un téléobjectif Sigma 100-400mm f/5-6.3 dg os hsm. Aucune retouche n'a été réalisée sur les images pour ne pas augmenter de manière artificielle le temps de traitement nécessaire à l'analyse d'une image. Les photos qui n'ont pas pu être identifiées avec certitude par la méthode manuelle à cause de la qualité des images (orientation de la tête de l'individu, écailles céphaliques et intersections pas suffisamment visibles) ont été supprimées. En effet, ces images auraient rajouté du bruit dans la photo-identification semi-automatique (Suriyamongkol & Mali 2018). La base de données finale contient 192 images de 85 individus uniques, dont 44 mâles, 35 femelles et 6 juvéniles.

Les images ont été renommées pour les bases de données d'APHIS et de Wild-ID de manière à faire correspondre l'ordre lexicographique utilisé par APHIS et Wild-ID et l'ordre numérique utilisé dans la base de données manuelle afin d'analyser les images dans le même ordre et de faciliter les étapes de vérification. En effet, Wild-ID et APHIS lisent les images dans l'ordre lexicographique (1, 10, 100, 2...) et non numérique (1, 2, 10, 100) comme pour I³S Pattern et la base de données manuelle. Cela peut modifier les résultats donnés par le logiciel

car chaque nouvelle image est comparée avec les images déjà identifiées, dans l'ordre d'apparition des images dans le dossier. L'ordre des images aura donc un impact sur les individus avec lesquels la nouvelle image est comparée (Renet *et al.* 2019). Il serait ainsi difficile de comparer les différents logiciels si leurs résultats ne sont pas identiques. Un code simple a été attribué à chaque individu après analyse tel que « Ind1 ». Aucune distinction n'a été faite entre mâles et femelles pour ne pas induire des biais d'identification liés à l'observateur et pour ne pas éliminer des images pour lesquelles le sexe serait incertain (individus juvéniles notamment).

B. Photo-identification manuelle

La base de données manuelle est un répertoire informatique contenant un dossier par individu, chaque individu étant identifié par un code du type "Ind1". Chaque dossier contient toutes les photos où l'individu en question est présent. Pour l'utilisateur, cette méthode consiste en une comparaison systématique des images analysées avec les images déjà présentes dans la base de données à partir des écailles céphaliques (écailles apicales, internasales, parafrontales, frontales, pariétales et interpariétales). Si une correspondance est trouvée

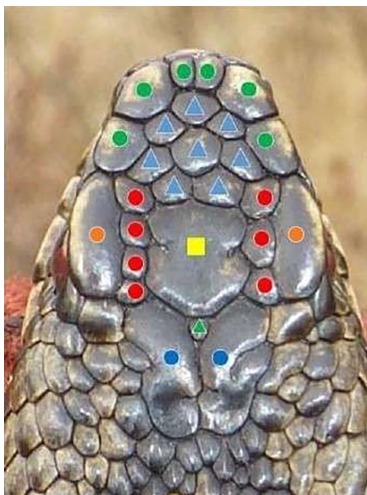


Figure 1 – Exemple d'arrangement typique des écailles céphaliques chez la Vipère péliade (*Vipera berus*) (d'après Bauwens *et al.* 2018) montrant les différents groupes d'écailles : apicales (points verts), internasales (triangles bleus), supraoculaires (points orange), parafrontales (points rouges), frontale (carré jaune), pariétales (points bleus) et interpariétale (triangle vert).

Figure 1 – Typical example of head scale arrangement of the common European adder (*Vipera berus*) (according to Bauwens *et al.* 2018) showing the groups of scales: apicals (green dots), internasals (blue triangles), supraoculars (orange dots), parafrontals (red dots), frontal (yellow square), parietals (blue dots) and interparietal (green triangle).

entre l'image et un individu déjà identifié, l'image est ajoutée dans le dossier de l'individu. Si aucune correspondance n'est trouvée après que l'intégralité de la base de données ait été passée en revue, un nouveau dossier individu est créé.

Cette base est considérée comme la base de référence. Sa fiabilité est estimée à 100% en considérant qu'une recherche méthodique et exhaustive est réalisée pour chaque image à travers la collection d'images déjà analysées. Aucun faux négatif n'est donc attendu.

C. Photo-identification semi-automatisée

I³S Pattern

I³S Pattern est un logiciel permettant d'extraire des motifs reconnaissables d'un individu à l'autre (Den Hartog & Reijns 2014). Pour cela, l'utilisateur réalise une étape de prétraitement qui consiste à placer trois points de référence identiques d'un individu à l'autre, ce qui permet d'indiquer au logiciel la façon dont les images se superposent. Une fois ces points placés, l'utilisateur définit la région d'intérêt qui détermine la zone de l'animal dans laquelle I³S Pattern extrait automatiquement les points d'intérêt. Le logiciel réalise ensuite l'étape d'analyse en comparant l'image avec l'ensemble des images déjà enregistrées dans la base de données et fournit une liste de correspondances, classées de la plus similaire à la moins similaire à partir d'un score de

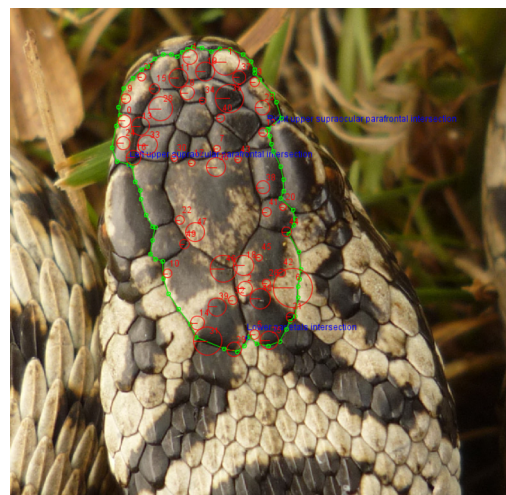


Figure 2 – Points de référence (bleu) et région d'intérêt (vert) définis précisément par l'utilisateur pour chaque photo dans I³S Pattern. Les points d'intérêt définis automatiquement par le logiciel sont indiqués en rouge.

Figure 2 – Reference points (blue) and region of interest (green) precisely defined by the user for each photo in I³S Pattern. Points of interest are automatically defined by the software and are shown in red.

similarité qui croit avec le rang. L'utilisateur doit ensuite effectuer une comparaison visuelle des résultats, qui représente l'étape de vérification. Si l'image analysée correspond à une image associée à un individu identifié déjà présent dans la base de données, l'utilisateur l'inclut dans la base. L'image sera alors associée au même individu que celui de la photo correspondante. Dans le cas d'un nouvel individu, l'utilisateur intègre celui-ci dans la base de données. Le nombre de correspondances affiché par le logiciel peut être déterminé par l'utilisateur (Den Hartog & Reijns 2014).

Le logiciel a été paramétré avant de réaliser l'analyse. D'une part, le nombre de points de comparaison (nrElements) a été augmenté à 50. En effet, le nombre d'intersections moyen entre écailles dans la région d'intérêt est estimé à 45. Ce nombre est légèrement surévalué dans le cas où un individu présente des écailles surnuméraires. Un excès de points de comparaison n'est pas jugé néfaste pour l'analyse tant qu'il reste raisonnable, puisque l'on cherche à différencier deux individus distincts et que les faux positifs sont considérés comme inexistantes (Sannolo *et al.* 2016). D'autre part, la variable warpSize a été diminuée à 350 après avoir réalisé des tests en diminuant ou augmentant la valeur par défaut de $\pm 30\%$ sur trois bases de données restreintes. Cette variable permet d'homogénéiser des photos prises à des distances différentes en calculant la distance entre les points d'intérêt puis en la normalisant d'une image à l'autre.

Wild-ID

Wild-ID est un logiciel basé sur l'extraction automatisée des caractéristiques distinctives d'une image (Bolger *et al.* 2012). Le prétraitement est réduit à un rognage de la région d'intérêt par l'utilisateur, à l'aide d'un autre logiciel. Une analyse des images est ensuite réalisée par le logiciel, qui fournit une liste des 20 premières correspondances, accompagnées d'un score de similarité. À la différence de I³S Pattern, ce score augmente à mesure que les images sont similaires. L'utilisateur réalise enfin une vérification visuelle et peut accepter une correspondance ou considérer que l'individu est nouveau dans la base de données (Bolger *et al.* 2012).

APHIS

APHIS intègre deux algorithmes d'identification distincts (Moya *et al.* 2015). La méthode Spots Pattern Matching (SPM), qui se base sur la comparaison de motifs, est préférable lorsque les images sont hétérogènes et que les motifs sont

moins distinguables mais est plus chronophage. Dans notre cas, les images sont relativement hétérogènes (angles et distances de prise de vue, luminosité et contraste), il a donc été choisi de tester uniquement la méthode basée sur la comparaison de motifs (SPM). Pour l'utilisateur, l'utilisation de la méthode SPM implique une étape de prétraitement pour l'ensemble des images à analyser, qui consiste tout d'abord à identifier des points de référence, invariables d'un individu à l'autre. Les points d'intérêt doivent ensuite être définis manuellement par l'utilisateur et permettent à APHIS de comparer les images entre elles. Une fois l'analyse réalisée,



Figure 3 - Points de référence (Left ref, Right ref et Bottom ref) et points d'intérêt définis pour chaque photo dans APHIS.

Figure 3 - Reference points (Left ref, Right ref and Bottom ref) and points of interest defined for each photo in APHIS.

APHIS fournit une liste de correspondances associées à un score de similarité. À l'instar de I³S Pattern, le score de similarité est plus faible si les images sont davantage similaires. L'utilisateur est enfin amené à effectuer une vérification et à accepter la correspondance dans le cas où l'individu est déjà présent dans la base de données ou à rejeter l'ensemble des correspondances afin d'attribuer l'image analysée à un nouvel individu (Moya *et al.* 2015).

D. Prétraitement des images

La base de données manuelle ne nécessite pas de prétraitement, le temps de prétraitement n'a donc pas été calculé.

Concernant l'étape de prétraitement d'I³S Pattern, nous avons déterminé trois points de référence adaptés à la Vipère péliade sur toutes les images.

Le premier est l'intersection gauche entre l'écaille supraoculaire et l'écaille parafrontale supérieure, le second l'intersection droite entre l'écaille supraoculaire et l'écaille parafrontale supérieure et enfin le troisième est le point de contact inférieur entre les écailles pariétales.

D'autre part, la région d'intérêt englobe les écailles apicales, internasales, parafrontales, frontales, pariétales et interpariétales.

Lors de l'étape de prétraitement de Wild-ID, nous avons rogné les images à la limite de la région d'intérêt définies lors de l'analyse avec I³S Pattern au logiciel Photos de Windows.

Pour APHIS, nous avons utilisé les mêmes points de référence que pour I³S Pattern. Les points d'intérêt définis par l'utilisateur sont placés le plus précisément possible à l'intersection (jonction entre trois écailles) des écailles apicales, internasales, parafrontales, frontales, pariétales et interpariétales. Des points d'intérêt sont également placés sur les points de référence. Il y a autant de points d'intérêt que d'intersections et ce nombre peut donc varier entre les individus. Cela n'a pas d'incidence sur la fiabilité du logiciel car il a été utilisé avec succès pour d'autres espèces de reptiles présentant une variabilité plus importante entre les individus (Gatto *et al.* 2018).

E. Fiabilité et rapidité des méthodes d'identification

A la suite du processus d'analyse réalisé par les logiciels, une étape de tri manuel des correspondances a été réalisée par l'utilisateur pour vérifier les résultats des logiciels et classer les individus. Aucune image n'a été analysée après le top 10. En effet, il n'est pas réaliste de considérer davantage de candidats dans le cadre d'une étude chronophage ou d'une base de données conséquente.

Les variables mesurées :

La fiabilité

La **fiabilité** d'une méthode est sa capacité à associer correctement une photo à un individu déjà existant dans la base de données (vrai positif) ou à considérer qu'une photo correspond à un nouvel individu (vrai négatif). La fiabilité prend donc en compte la mesure du taux de faux négatif (ou False Rejection Rate) qui correspond à une identification en tant que nouvel individu alors que la photo correspond à un individu déjà existant (Bendik *et al.* 2013, Sacchi *et al.* 2016).

Le taux de faux négatifs, soit le nombre de faux négatifs divisé par le nombre de correspondances totales, donne ainsi l'erreur liée à l'utilisation de la méthode.

Une autre mesure pour déterminer la fiabilité d'une méthode consiste à prendre en compte le rang des vrais positifs (VPpr) (Matthé *et al.* 2017). En effet, dans le calcul précédent, un logiciel qui présentera 90% de vrais positifs mais les aura sélectionnés en 10^{ème} position se verra attribuer la même fiabilité qu'un logiciel qui aura le même pourcentage de vrais positifs mais aura sélectionné les correspondances en 1^{ère} position. Il a donc semblé important d'introduire la variable des rangs dans le calcul étant donné son influence sur la rapidité. Pour cela, le nombre de vrais positifs pour chaque rang (N_{x1} à N_{x10}) sera pondéré par la valeur de ce rang (1 à 10). Le total est ensuite pondéré par le nombre total d'événements de vrais positifs pour la méthode (N), afin d'obtenir un taux compris entre 0 et 1 qui peut être comparé entre les logiciels. Ainsi, plus le taux obtenu est proche de 1 et plus le logiciel sélectionne les correspondances à des rangs faibles (1^{er} ou 2^{ème} rang par exemple) :

$$VPpr = \frac{\sum_{i=1}^{10} \frac{N_{xi}}{i}}{N} = \frac{\frac{N_{x1}}{1} + \frac{N_{x2}}{2} + \dots + \frac{N_{x10}}{10}}{N}$$

Plus la valeur est élevée, plus la méthode est robuste, en considérant également la valeur de faux négatifs par rapport à celles obtenues par les autres méthodes.

Les taux de faux négatifs et de vrais positifs pondérés par le rang obtenus par les logiciels ont été ensuite comparés aux résultats obtenus grâce à la méthode manuelle, qui est considérée comme la méthode de référence.

La rapidité

La rapidité a été déterminée en estimant (i) le temps nécessaire au prétraitement d'une image et son implémentation dans la base de données (en tant que nouvel individu ou individu déjà existant), (ii) en estimant la durée d'analyse du logiciel et de la vérification des résultats par l'observateur. Pour la base de données manuelle, le temps de vérification équivaut à la classification de l'individu une fois l'analyse et l'identification effectuées. Cette rapidité a été mesurée à l'aide d'un chronomètre pour chaque image puis une moyenne a été calculée pour la méthode d'identification considérée.

Afin de réduire les biais liés au calcul des temps de prétraitement, d'analyse et de vérification, le protocole a été réalisé par un seul observateur et sur

Schéma global de la démarche

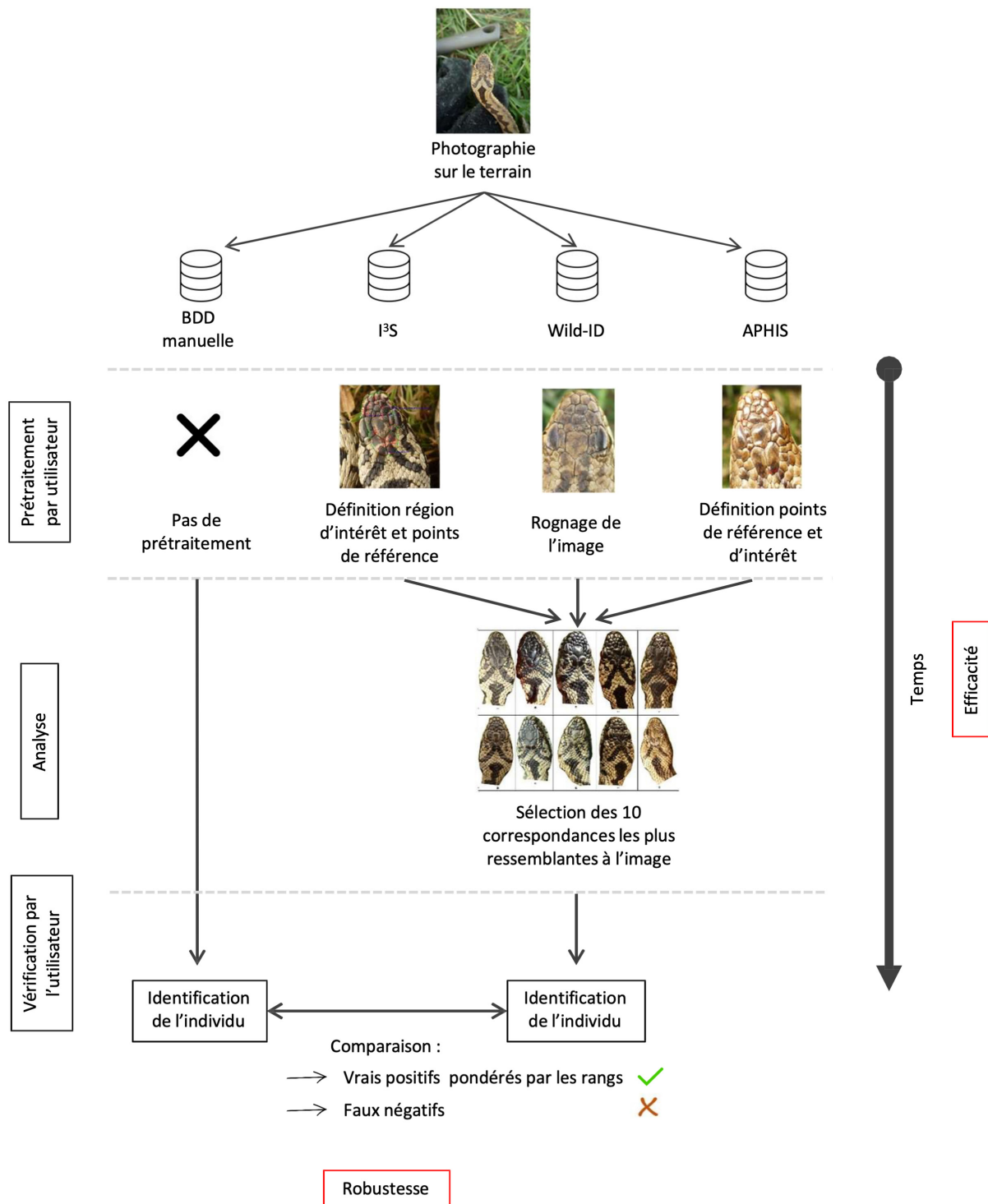


Figure 4 - Schéma récapitulatif des étapes nécessaires à l'identification d'un individu à partir d'une photographie prise sur le terrain en fonction de la méthode employée. La rapidité de la méthode est déterminée tout au long du processus d'identification et prend en compte le prétraitement, l'analyse et la vérification de l'image. La fiabilité de la méthode est calculée lors d'une étape supplémentaire qui consiste à comparer les taux de faux négatifs et de vrais positifs pondérés par les rangs obtenus par le logiciel considéré et celui obtenu par la méthode manuelle.

Figure 4 - Summary diagram of the steps required to identify an individual from a field photograph based on the method used. The method's rapidity is determined throughout the identification process and takes into account the pre-processing, analysis and verification of the image. The method's reliability is calculated in an additional step which consists in comparing the false negative and rank-weighted true positive rates obtained by the software and the one obtained by the manual method.

un seul ordinateur afin d'éviter les différences liées aux capacités de calcul.

RÉSULTATS

Fiabilité

Sur les 192 images analysées à partir de la méthode manuelle, 85 individus uniques ont été observés et 107 images étaient des images d'individus déjà existants dans la base de données (vrais positifs).

Méthode	Taux de faux négatifs (FN) (%)	Fiabilité (%)	Taux de vrais positifs pondéré par le rang (VPpr) (%)
Manuelle	0,0	100,0	NA
I ³ S Pattern	9,9	90,1	79,6
Wild-ID	12,5	87,5	90,0
APHIS	0,0	100,0	99,5

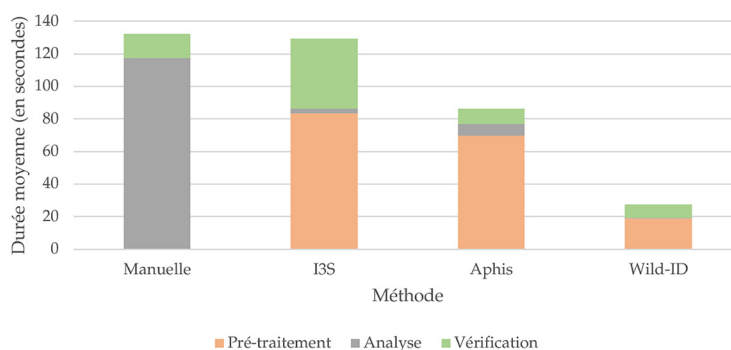
Tableau I - Pourcentage de fiabilité associé à chaque méthode ainsi que les taux de faux négatifs et de vrais positifs pondérés par le rang.

Table I - Percentage of reliability associated with each method as well as rank-weighted true positive and false negative.

Toutefois, le taux de faux négatifs a différé en fonction des logiciels utilisés. Ainsi, Wild-ID a présenté le plus fort nombre de faux négatifs (12,5 %), suivi d'I³S Pattern (9,9 %). Leur fiabilité a donc été évaluée à 87,5 % pour Wild-ID et 90,1 % pour I³S Pattern. APHIS a présenté des résultats identiques à la méthode manuelle (0,0 % de faux négatifs), montrant un taux de faux négatifs nul et ainsi une fiabilité de 100,0 %. De plus, la pondération des vrais positifs par leur rang montre qu'APHIS sélectionne davantage les bonnes correspondances dans les premiers rangs des sélections (99,5 % pour APHIS contre 90,0 % pour Wild-ID et 79,6 % pour I³S Pattern).

Figure 5 - Durée moyenne en secondes du temps nécessaire au prétraitement, à l'analyse et à la vérification d'une image en fonction de la méthode. La rapidité moyenne globale des méthodes est donnée par l'addition des temps moyens nécessaires à chaque étape.

Figure 5 - Average time in seconds for pre-processing, analysis and verification of an image depending on the method. The overall average rapidity of the methods is given by the addition of the average times needed for each step.



Rapidité

Wild-ID présente une rapidité de traitement bien supérieure aux autres méthodes, chaque photographie étant traitée, analysée et vérifiée par l'utilisateur en 27,8 secondes en moyenne. APHIS est environ 3 fois plus chronophage (86,5 secondes par image), tandis que I³S Pattern et la méthode manuelle sont presque 5 fois plus chronophages (respectivement 129,3 secondes et 132,5 secondes par image).

DISCUSSION

Fiabilité

Les résultats obtenus lors de la comparaison des taux de faux négatifs montrent qu'APHIS présente une fiabilité de 100 %, identique à la méthode manuelle. La fiabilité des autres logiciels semi-automatiques testés est plus faible, avec 90,1 % de fiabilité pour I³S Pattern et 87,5 % pour Wild-ID. L'analyse des vrais positifs pondérés par le rang met également en évidence qu'APHIS propose plus systématiquement les bonnes correspondances parmi les premiers rangs de sélection que les autres logiciels. Cette analyse des VPpr est intéressante dans le choix d'un logiciel de photo-identification semi-automatisé puisqu'un logiciel qui sélectionnerait régulièrement les bonnes correspondances dans les derniers rangs demanderait un temps de vérification très important de la part de l'utilisateur. En effet, il semble peu réaliste de consulter un grand nombre de correspondances pour chaque image dans le cadre d'une large base de données ou pour une structure ayant peu de temps alloué au suivi de l'espèce.

Les erreurs d'identification rencontrées par I³S Pattern et Wild-ID peuvent être liées au placement automatique des points d'intérêt par ces logiciels. En effet, il est possible que cela rende l'analyse moins

robuste pour des images de moins bonne qualité ou dans des contextes de luminosité ou d'orientation différents, notamment pour une espèce comme la Vipère péliade, pour laquelle les motifs spécifiques ne sont pas très contrastés. Le placement manuel des points d'intérêt dans APHIS est donc probablement un avantage dans ces conditions. Dans d'autres études portant sur la reconnaissance individuelle des serpents, APHIS s'est également montré très fiable et a permis d'identifier correctement 100 % des individus, bien que les jeux de données soient plus faibles (Hoefer *et al.* 2021, Rotger *et al.* 2019).

Rapidité

APHIS présente une plus grande rapidité que la méthode manuelle et que I³S Pattern, mais est moins rapide que Wild-ID. Malgré que Wild-ID montre une très grande rapidité, ce logiciel est mal adapté à la photo-identification d'images non-standardisées avec des contrastes, luminosités, échelles, et angles de prises de vue différents (Matthé *et al.* 2017). Dans le cadre d'une utilisation sur des photos de terrain, il est attendu que plus de temps soit nécessaire au prétraitement et à la retouche des images, rendant ainsi le logiciel beaucoup plus chronophage à utiliser, en plus d'être moins fiable.

Un système de filtrage est implémenté dans APHIS et pourrait rendre son utilisation moins chronophage en sélectionnant la base de données en fonction du sexe de l'individu. Toutefois, ce système peut être à l'origine de faux négatifs si le sexe de l'individu n'a pas été correctement déterminé en amont.

Sélection du logiciel APHIS

D'après ces résultats, APHIS peut donc être considéré comme un bon candidat pour l'identification individuelle de la Vipère péliade et pourrait représenter une solution fiable et peu chronophage pour l'étude de cette espèce, notamment pour de larges bases de données. Cette méthode semi-automatique pourrait notamment se révéler utile dans le cadre d'une étude réalisée par plusieurs personnes successivement (suivis à long terme par exemple), où un effet observateur lié à l'expérience et à la connaissance des individus pourrait induire des erreurs avec une base manuelle. L'utilisation d'APHIS permettrait également de réduire le risque d'erreur lors de la classification de l'individu à partir du code des écailles céphaliques (Bauwens *et al.* 2018), notamment pour des individus présentant un arrangement d'écailles atypique.

Perspectives

APHIS semble être assez tolérant à une légère différence de points d'intérêt entre les images d'un même individu (oublis, ajouts ou décalage des points d'intérêt lié à une image de moins bonne qualité ou d'une distance à l'individu trop importante). Le seuil de différence entre images ayant un impact sur la fiabilité du logiciel reste toutefois à déterminer en testant sa capacité à faire correspondre différentes images d'un même individu en décalant les points d'intérêt et en faisant varier leur nombre.

Il est à noter que cette étude méthodologique a été réalisée avec une majorité de photos issues de capture et donc plus faciles à analyser. Une fiabilité moindre est ainsi attendue pour des photos uniquement issues de prises de vue à distance sans capture de l'individu, les images étant moins standardisées dans ce cas-là (distance à l'individu, luminosité et angle par rapport à la tête différents) (Matthé *et al.* 2017). Toutefois, si les autres logiciels placent automatiquement les points d'intérêt, APHIS présente l'intérêt de permettre à l'utilisateur de placer les points d'intérêt manuellement, réduisant le nombre de photos non-exploitable pour lesquelles un algorithme automatique ne pourrait pas discerner les intersections des écailles à cause d'une mauvaise qualité d'image. Ainsi, même si une augmentation des taux d'erreur est attendue avec une mauvaise standardisation des images, l'utilisation d'APHIS permettra de réduire ce biais dans le cadre d'une étude CMR par photo-identification.

Cette méthode est également adaptée pour l'identification des juvéniles, l'écaillure céphalique étant relativement stable et ne variant que très peu entre le stade juvénile et le stade adulte (Bauwens *et al.* 2018). Pour ces raisons, APHIS offre des perspectives encourageantes pour le suivi à long terme de populations de Vipère péliade et permettrait de favoriser la prise de photos à distance plutôt que la capture afin de limiter le dérangement de l'espèce.

Toutefois, APHIS présente un certain nombre de contraintes liées à son utilisation, notamment la nécessité d'analyser l'intégralité de la base de données à chaque utilisation, ce qui rend ce processus chronophage. De plus, ce logiciel compare les images à analyser avec la base de données déjà existante, mais ne compare pas les photographies entre elles car la base de données n'est pas mise à jour en temps réel. Une image venant d'être

identifiée comme étant un nouvel individu ne sera donc pas proposée dans les sélections suivantes, ce qui peut conduire à des faux négatifs. Pour pallier ce problème, une analyse séquentielle est possible en transférant progressivement les images du dossier « captures » vers les dossiers individuels de « repositorio ».

Il est important de noter que le taux de reconnaissance diminue avec l'augmentation de la taille du jeu de données (Matthé *et al.* 2017). Dans le cadre de notre étude, le jeu de données augmente progressivement au cours de l'analyse, le calcul des taux d'erreur d'une image est donc biaisé par sa position dans la base de données.

CONCLUSION

Compte tenu de la fiabilité et de la rapidité démontrées par le logiciel semi-automatique APHIS pour l'identification individuelle de la Vipère péliade, celui-ci sera privilégié à d'autres méthodes (manuelles ou semi-automatiques) pour identifier les individus lors des études d'évaluation des tailles de population à venir dans le cadre du Plan régional d'actions Vipère péliade dans les Hauts-de-France. L'utilisation de ce logiciel pourrait même être envisagée à l'échelle nationale si des préconisations de standardisation méthodologique de suivis des populations sont envisagées dans le cadre d'un Plan national d'actions en faveur des Vipères en France.

Il reste toutefois à définir si la capture des individus est indispensable ou si la qualité des photographies prises à distance (orientation, zone analysée complètement visible, pas ou peu de reflets) est suffisante. En effet, l'implication sur le terrain et l'impact sur l'espèce ne sont pas les mêmes. Les Vipères sont désormais intégralement protégées en France (arrêté du 8 janvier 2021) et leur capture est soumise à autorisation et dans des cadres bien définis et sujette à une formation préalable de l'observateur, ce qui amène une contrainte supplémentaire. De plus, la photo-identification à distance est moins intrusive et dérangement pour l'espèce (Sannolo *et al.* 2016).

Dans ce cadre, d'autres études complémentaires pourraient également être envisagées à partir de photos prises sans manipulation afin de déterminer l'impact d'une modification du placement des points d'intérêt sur la fiabilité d'APHIS.

Remerciements

Nous remercions Cindy Monnet et Giacomina Rosa pour leur lecture attentive et éclairée de notre manuscrit. Nous tenons à remercier également nos collègues Cédric Vanappelghem et Francis Meunier du Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France pour leur première relecture de cet article.

Nos remerciements vont aussi au Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale et à EDEN 62 ainsi qu'à leurs salariés qui nous ont autorisé à réaliser diverses études d'évaluation de taille de populations sur les sites dont ils assurent la gestion et la conservation. Merci de leur soutien technique et de leur confiance.

Ce travail n'aurait pu être mené sans le soutien financier de la région Hauts-de-France et de la DREAL Hauts-de-France qui soutiennent depuis de nombreuses années le Plan Régional d'Actions en faveur de la Vipère péliade.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Albu A. B., Wiebe G., Govindarajulu P., Engelstoft C. & Ovatska K. (2008) Towards automatic modelbased identification of individual sharp-tailed snakes from natural body markings. In Proceedings of ICPR Workshop on Animal and Insect Behaviour, Tampa, FL, USA.

Arnason A. N. & Mills K. H. (1981) Bias and loss of precision due to tag loss in Jolly-Seber estimates for mark-recapture experiments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **38**: 1077-1095.

Bay H., Ess, A., Tuytelaars T. & Van Gool L. (2008) Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, **110**: 346-359.

Bauwens D., Claus K., & Mergeay J. (2018) Genotyping validates photo-identification by the head scale pattern in a large population of the European adder (*Vipera berus*). *Ecology and Evolution*, **8**: 2985-2992.

Bendik N., Morrison T., Gluesenkamp A., Sanders M. & O'Donnell L. (2013). Computer-assisted photo identification outperforms visible implant elastomers in an endangered salamander, *Eurycea tonkawae*. *PLoS ONE*, **8**: e59424.

Benson P. A. (1999) Identifying individual adders, *Vipera berus*, within an isolated colony in East Yorkshire. *British Herpetological Society Bulletin*, **67**: 21-27.

Bolger D., Morrison T., Vance B., Lee D. & Farid H. (2012) A computer-assisted system for photographic mark-recapture analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, **3**: 813-822.

Cruickshank S. S., & Schmidt B. R. (2017). Error rates and variation between observers are reduced with the use of photographic matching software for capture-recapture studies. *Amphibia-Reptilia*, **38** (3): 315-325.

Den Hartog J. & Reijns R. (2014) I³S Pattern manual: Interactive Individual Identification System.

Dunbar S. G., Ito H. E., Bahjri K., Dehom S. & Salinas L. (2014). Recognition of juvenile hawksbills *Eretmochelys imbricata* through face scale digitization and automated searching. *Endangered species research*, **26**: 137-146.

- Ferner J. W. & Plummer M. V. (2016) Marking and measuring reptiles. In: Dodd, C. K. (Ed.), *Reptile ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford: 45-59.
- Gatto C. R., Rotger A., Robinson N. J. & Tomillo P. S. (2018) A novel method for photo-identification of sea turtles using scale patterns on the front flippers. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **506**: 18-24.
- Hodges R. & Seabrook C. (2015) Head-scale instability and the apparent heritability of a head scale anomaly in the northern viper (*Vipera berus*). *Herpetological Bulletin* **130**: 16-17.
- Hofer S., Rotger A., Mills S. & Robinson N. J. (2021) Semi-automated photo-identification of Bahamian Racers (*Cubophis vudii vudii*). *Acta Herpetologica*, **16**: 133-136.
- Jackson R. M., Roe J. D., Wangchuk R. & Hunter D. O. (2006) Estimating snow leopard population abundance using photography and capture-recapture techniques. *Wildlife Society Bulletin*, **34**: 772-781.
- Lyet A., Cheylan M., Prodon, R. & Besnard A. (2009) Prescribed fire and conservation of a threatened mountain grassland specialist: a capture-recapture study on the Orsini's viper in the French Alps. *Animal Conservation*, **12**: 238-248.
- Matthé M., Sannolo M., Winiarski K., Spitzen-van der Sluijs A., Goedbloed D., Steinfartz S. & Stachow U. (2017) Comparison of photo-matching algorithms commonly used for photographic capture-recapture studies. *Ecology and evolution*, **7**: 5861-5872.
- Moya Ó., Mansilla P.-L., Madrazo S., Igual J.-M., Rotger A., Romano A. & Tavecchia G. (2015) APHIS: A new software for photo-matching in ecological studies. *Ecological Informatics*, **27**: 64-70.
- Otis D. L., Burnham K. P., White G. C. & Anderson D. R. (1978) Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife monographs*, **62**: 3-135.
- Prestt I. (1971) An ecological study of the viper *Vipera berus* in southern Britain. *Journal of Zoology*, **164**: 373-418.
- Renet J., Leprêtre L., Champagnon J. & Lambret P. (2019) Monitoring amphibian species with complex chromatophore patterns: a non-invasive approach with an evaluation of software effectiveness and reliability. *The Herpetological Journal*, **29**: 13-22.
- Rey G. & Timmerman A. (2018) L'identification et la reconnaissance individuelle chez la Vipère péliade *Vipera berus* à l'aide de photographies de l'écaillage de la tête en vue dorsale. Retour d'expérience de l'utilisation de deux méthodes. *Le Héron*, **51**: 97-106.
- Rotger A., Colomar V., Moreno J. E. & Parpal L. (2019) Photo-identification of horseshoe whip snakes (*Hemorrhoids hippocrepsis*, Linnaeus, 1758) by a semi-automatic procedure applied to wildlife management. *Herpetological Journal*, **29**: 304-307.
- Sacchi R., Scali S., Pellitteri-Rosa D., Pupin F., Gentili A., Tettamanti S., Cavigioli L., Racina L., Maiocchi V., Galeotti P. & Fasola M. (2010) Photographic identification in reptiles: A matter of scales. *Amphibia Reptilia*, **31**: 489-502.
- Sacchi R., Scali S., Mangiacotti M., Sannolo M. & Zuffi M.A.L. (2016) Digital identification and analysis. In: Dodd, C. K. (Ed.), *Reptile ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford: 59-72.
- Sannolo M., Gatti F., Mangiacotti M., Scali S. & Sacchi R. (2016) Photo-identification in amphibian studies: a test of ^{13}S Pattern. *Acta Herpetologica*, **11**: 63-68.
- Schaub M., Pradel R., Jenni L. & Lebreton J. D. (2001) Migrating birds stop over longer than usually thought: an improved capture-recapture analysis. *Ecology*, **82**: 852-859.
- Schtickzelle N., Baguette M. & Le Boulengé É. (2003) Modelling insect demography from capture-recapture data: comparison between the constrained linear models and the Jolly-Seber analytical method. *The Canadian Entomologist*, **135**: 313-323.
- Sheldon S. & Bradley C. (1989). Identification of individual adders (*Vipera berus*) by their head markings. *Herpetological Journal*, **1**: 192-196.
- Suriyamongkol T. & Mali I. (2018) Feasibility of using computer-assisted software for recognizing individual Rio Grande cooter (*Pseudemys gorzugi*). *Copeia*, **106**: 646-651.
- Ursenbacher S. (1998) Estimation de l'effectif et analyse du risque d'extinction d'une population de Vipère péliade (*Vipera berus* L.) dans le Jura vaudois. Centre de conservation de la Faune et de la Nature, Université de Lausanne : 1-105.
- Ursenbacher S. & Monney J.-C. (2003) Résultats de 5 années de suivi d'une population de Vipère péliade (*Vipera berus*) dans le Jura Suisse : estimation des effectifs et discussion des méthodes d'estimation. *Bulletin de la Société Herpétologique de France*, **107** : 15-25.

Date de soumission : vendredi 28 janvier 2022

Date d'acceptation : jeudi 16 février 2023

Date de publication : mercredi 3 mai 2023