
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Optimisation des méthodes de détection des amphibiens en déplacement dans les ouvrages d'art

Cerema Hauts-de-France
44ter rue Jean Bart, 59 000 Lille



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Tutrice entreprise :

Anne-Claire De Rouck

Chargée d'études Biodiversité et Aménagement du territoire

Tuteur académique :

Francis Isselin

Morgane Olivier

UIT (ADAGE)

2022-2023

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide lors de mon stage et la rédaction de ce rapport.

En premier lieu je remercie mon encadrante, Anne-Claire De Rouck, pour sa bienveillance et sa confiance qui m'ont permis de m'épanouir et de gagner en assurance tout au long de mon stage.

Un grand merci également à mes collègues de l'équipe biodiversité que j'ai sollicités pour m'accompagner sur le terrain, pour m'aider à traiter les données ou encore pour échanger sur mes protocoles et résultats. Merci également à eux pour m'avoir proposé différentes sorties sur le terrain qui ont contribué à améliorer mes connaissances sur divers sujets.

Merci à Alain Morand et Julian Pichenot du Cerema Est pour leurs conseils et leur contribution à mes recherches sur les variations de température des amphibiens.

Merci à Manon Teillagorry qui a réalisé la première partie de l'étude et qui a toujours été disponible pour répondre à mes questions lorsque j'en ai eu besoin.

Enfin je remercie l'ensemble des agents et stagiaires du deuxième étage avec qui j'ai partagé de bons moments de convivialité.

Table des matières

PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	1
INTRODUCTION	2
I. Les amphibiens : état des lieux et menaces.....	2
a. Des impacts globaux.....	2
b. Des impacts spécifiques liés aux ITT.....	3
II. Mesures et dispositifs de franchissement des ITT	3
III. Contexte de l'étude Amphilapse	4
IV. Démarrage en 2022 et résultats.....	5
a. Modes de collecte de données	5
b. Traitement des photos et/ou vidéos issues du piégeage photographique.....	9
V. Mes missions de stage en 2023.....	10
VI. Synthèse	11
MATÉRIELS ET MÉTHODES	12
I. Phase de terrain	12
a. Choix des sites d'étude.....	12
b. Méthodes de détection testées	15
c. Période de pose.....	19
d. Vérification du matériel.....	20
II. Phase de traitement des données.....	21
a. Traitement manuel.....	21
b. Traitement automatisé.....	22
RÉSULTATS.....	25
I. Fréquentation des ouvrages par les amphibiens	25
II. Méthodes de détection	25
a. Résultats bruts.....	25
b. Sensibilité de la plaque à pressions.....	26
c. Détection des traversées par la BIR	26
c. Efficacité de détection de la caméra thermique	28
d. Efficacité de détection de la caméra IR.....	29
e. Détection par le TL30 et taux d'utilisation du crapauduc d'Hachette	30
f. Synthèse de la comparaison des méthodes de détection	30
III. Logiciels de traitement des données.....	31
a. Traitement manuel.....	31
b. Deepfaune	32

c. MotionMeerkat	32
d. Synthèse de la comparaison des logiciels de traitement de données	34
CONCLUSION	35
PERSPECTIVES.....	35
APPORTS PERSONNELS DU STAGE	36
BIBLIOGRAPHIE.....	37
ANNEXES.....	41

Table des illustrations

Figure 1 : Les domaines d'action du Cerema.....	1
Figure 2 : Organisation de la direction territoriale des Hauts-de-France, d'après Cerema.fr	1
Figure 3 : Passage inférieur de la drève de Bassy, vu en direction du nord. (Cerema, 2018)	5
Figure 4 : Localisation du passage inférieur de la drève de Bassy. (Cerema, 2018)	5
Figure 5 : Plaque à pressions. (M. Olivier).....	8
Figure 6 : Barrière infrarouge (M. Olivier).....	8
Figure 7 : Chronologie de l'étude Amphilapse. En orange, les étapes réalisées pendant le stage. En vert, celles réalisées par les chargées d'études et le précédent stagiaire.	11
Figure 8 : Démarche et objectif de l'étude. Dans l'encadré orange, les étapes auxquelles j'ai participé.	11
Figure 9 : A gauche, RD32 séparant forêt et mares. A droite, mare sur laquelle donne le crapauduc. (M. Olivier)	12
Figure 10 : A gauche, entrée du crapauduc côté forêt. A droite, le collecteur qui guide les amphibiens vers le passage. (M. Olivier)	13
Figure 11 : Position des passages inférieurs et des fossés au niveau du contournement Borre-Pradelles.	14
Figure 12 : En haut, entrée et intérieur du passage, vus depuis le nord. En bas, fossés en eau côté nord et sud.	14
Figure 13 : Support permettant l'installation et la sécurisation de 3 pièges photographiques. (M. Olivier)	15
Figure 14 : Position du support avec les 3 pièges photographiques à l'entrée du passage et installation de la plaque et de la BIR dans le passage. En haut à Borre-Pradelles (côté sud), en bas, à Hachette (coté forêt). (M. Olivier)	16
Figure 15 : Installation de la caméra thermique sur le support à gauche. Batterie et ordinateur stockés dans le boîtier étanche à droite. (M. Olivier)	18
Figure 16 : Installation de la caméra IR. Ici, à l'entrée de la buse à Saint-Martin-le-Nœud. (M. Olivier)	18
Figure 17 : Périodes d'activité des amphibiens et périodes de pose du matériel en 2022 et 2023.	19
Figure 18 : Planning de pose du matériel sur le terrain en 2023. Sont encadrées en gras les périodes exploitables pour comparaison du matériel avec le TL30.....	20
Figure 19 : Anoure détecté par la BIR. La qualité de l'image ne permet l'identification à l'espèce.	28
Figure 20 : Capture d'écran d'une vidéo générée par la caméra thermique.	28
Figure 21 : Exemple de détection d'un triton par MotionMeerkat.	33

Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre d'amphibiens détectés traversant avec succès ou pas le crapauduc en fonction des modes de détection. Résultats de la première phase d'étude. (Teillagorry, 2022c)	7
Tableau 2 : Nombre d'amphibiens traversant avec succès ou pas le crapauduc en fonction des modes, et discriminés par ordre. Le taux d'utilisation du crapauduc a ainsi pu être calculé à chaque fois. Résultats de la première phase d'étude. (Teillagorry, 2022c)	7
Tableau 3 : Avantages et inconvénients du time-lapse et solutions envisageables, d'après Teillagorry, 2022c.	8
Tableau 4 : Tags utilisés pour le traitement manuel des photos.	21
Tableau 5 : Paramétrage des configurations 16 et 17 sur MotionMeerkat.	24
Tableau 6 : Nombre d'individus détectés selon le groupe taxonomique et le mode de détection.	25
Tableau 7 : Nombre d'individus traversant le crapauduc détectés par le TL30 et la plaque à pressions.	26
Tableau 8 : Nombre d'individus traversant l'ouvrage détectés par le TL30 et la BIR.	27
Tableau 9 : Synthèse des données du TL30 et de la barrière infrarouge.	27
Tableau 10 : Nombre d'individus traversant l'ouvrage détectés par le TL30 et la caméra thermique.	28
Tableau 11 : Nombre d'individus détectés par le TL30 et la caméra IR la nuit du 24 au 25 avril au crapauduc d'Hachette.	29
Tableau 12 : Position des méthodes de détection par rapport aux principaux critères de comparaison.	31
Tableau 13 : Quantité de données collectées par le TL30 et la caméra IR et temps dédié au traitement manuel.	32
Tableau 14 : Résultats du traitement de 10 000 images du TL30 par Deepfaune.	32
Tableau 15 : Résultats de la comparaison des configurations 16 et 17 sur 5 640 images.	32
Tableau 16 : Temps dédié au traitement des images de 10 nuits d'enregistrement en TL30, avec MotionMeerkat et manuellement.	33
Tableau 17 : Temps de traitement nécessaire pour 10 nuits d'enregistrement avec la caméra IR.	33
Tableau 18 : Synthèse des avantages et inconvénients des méthodes de traitement testées.	34

PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, la mobilité et l'aménagement (Cerema) est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Il regroupe des compétences et des expertises dans les domaines de la mobilité, de l'aménagement du territoire, de l'environnement et des risques. Il a pour mission de fournir des services d'expertise, de conseil, de recherche et de formation aux acteurs publics et privés impliqués dans la gestion des territoires et des infrastructures (Cerema.fr, s. d.).

Les missions du Cerema sont réparties en six domaines d'action parmi lesquels l'environnement et les risques où sont abordés les sujets en lien avec la biodiversité et l'aménagement du territoire (Figure 1).

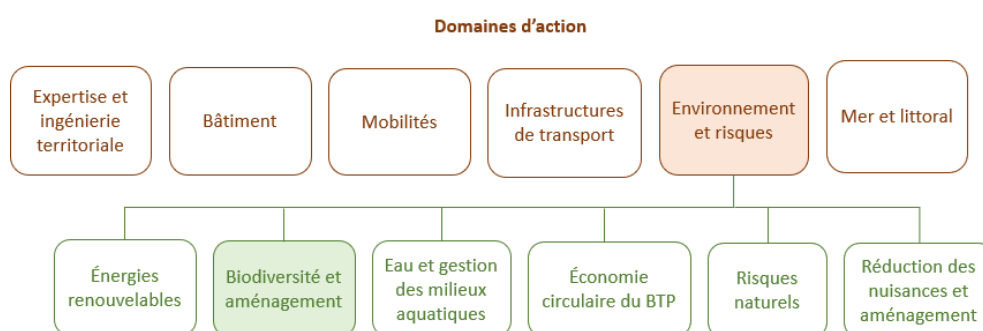


Figure 1 : Les domaines d'action du Cerema.

J'ai réalisé mon stage au département Territoires, Écologie, Énergie et Risques (TEER) du Cerema Hauts-de-France, situé à Lille (Figure 2). J'y ai intégré le groupe Risques, eau et biodiversité dont l'équipe biodiversité travaille notamment sur les relations entre infrastructures de transport terrestre et biodiversité.

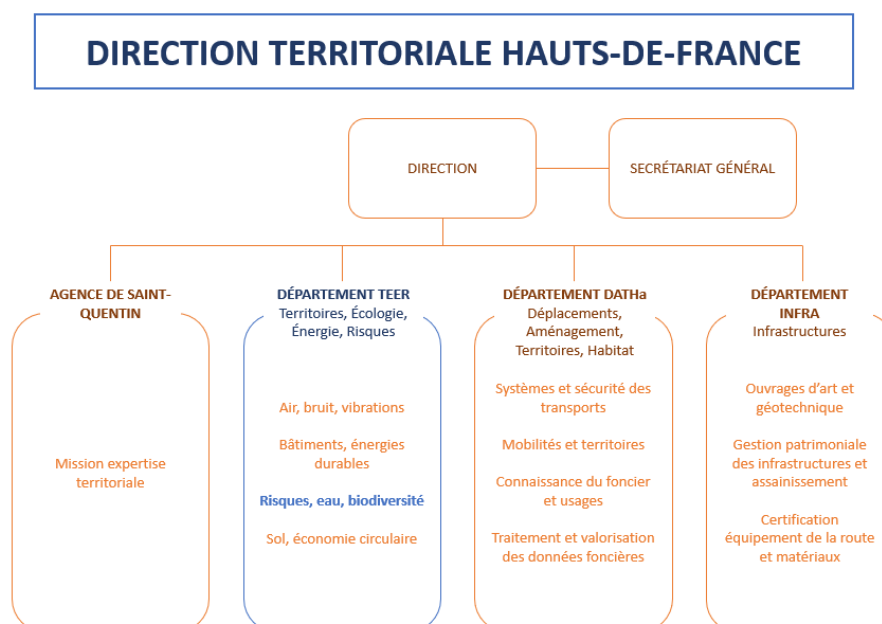


Figure 2 : Organisation de la direction territoriale des Hauts-de-France, d'après Cerema.fr

INTRODUCTION

I. Les amphibiens : état des lieux et menaces

On dénombre près de 7 500 espèces d'amphibiens à travers le monde dont près d'un quart sont menacés d'extinction (UICN, 2022). En Europe, c'est plus de la moitié des espèces d'amphibiens qui sont en déclin. En France, sur les 35 espèces indigènes de métropole, 8 sont menacées de disparition (UICN France, 2015). Ce groupe taxonomique est très vulnérable aux modifications des conditions environnementales et se retrouve à la première place des vertébrés les plus menacés à l'échelle mondiale.

a. Des impacts globaux

En France et dans le Monde, les amphibiens sont exposés à des menaces anthropiques mais également biologiques et climatiques.

La destruction et la fragmentation des habitats sont les causes majeures du déclin des amphibiens. En France 90% des mares ont disparu depuis 1900 dont 50% depuis 1950. Près de la moitié des zones humides ont disparu ces 30 dernières années (Lescure & de Massary, 2012). L'évolution des pratiques agricoles avec une agriculture intensive et la suppression de haies à grande échelle dans les années 60-80 ont eu pour conséquence de réduire considérablement l'aire de répartition et l'abondance des amphibiens sur le territoire français (Pointereau, 2002). L'exploitation d'autres ressources naturelles comme les forêts pour leur bois ou les plaines alluviales pour les granulats, ainsi que l'urbanisation et le développement du réseau de transport ont pour conséquence de détruire et fragmenter de nombreux habitats naturels (Cerema, 2019). On assiste alors à un isolement des populations, sans possibilité de colonisation de nouveaux territoires, qui conduit inévitablement à un appauvrissement de la diversité génétique et qui menace la pérennité de ces populations.

L'épiderme semi-perméable des amphibiens et leur cycle de vie alternant phase terrestre et aquatique les rendent vulnérables aux **pollutions** d'origine anthropique. Certains polluants jouent un rôle direct sur la mortalité des amphibiens tandis que d'autres ont des effets comportementaux. Ces polluants sont en majeure partie issus de l'agriculture, mais également des rejets liés aux infrastructures de transport.

Les **maladies** sont une cause de mortalité massive d'amphibiens à travers le monde, comme des infections au *Ranavirus*, saprolégnoses, *Ribeiroia* et chytrides. Ces derniers peuvent causer jusqu'à 90 à 100% de mortalité au stade post-métamorphique¹ chez certaines espèces d'amphibiens (Daszak et al., 2004). En 2010 aux Pays-Bas a été signalé pour la première fois le chytride *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal), un champignon tueur de salamandres. Trois ans plus tard il ne restait plus que 4% de la population initiale de salamandre tachetée terrestre (*Salamandra s. terrestris*), et 1% en 2019 (Serre Collet, 2019).

L'introduction **d'espèces exotiques envahissantes** menace également les populations d'amphibiens. Les effets sont directs comme la prédation ou la compétition par des crustacés et salmonidés par exemple ; ou indirects avec la transmission d'infections ou de parasites par la Grenouille taureau (*Lithobates catesbeianus*) ou le Xénope lisse (*Xenopus laevis*) par exemple.

Ectothermes, les amphibiens sont directement dépendants de la température ambiante et donc très vulnérables au **changement climatique**. « Une augmentation de la température moyenne de 1°C est susceptible d'augmenter les dépenses métaboliques des ectothermes d'au moins 10 à 30% » (Lescure & de Massary, 2012). La survie de ces espèces dépend donc, d'une part, de leur capacité d'adaptation

¹ La métamorphose chez les amphibiens est le passage de l'état de larve, exclusivement aquatique, à l'adulte, capable de vivre en milieu terrestre et aquatique.

aux modifications environnementales, et, d'autre part, de leur capacité de dispersion vers des milieux adéquats (plus en altitude ou vers les pôles).

b. Des impacts spécifiques liés aux ITT

La densification du réseau de transport terrestre en France est une grande menace pour les amphibiens. Déjà soumis à de fortes pressions, ils doivent également survivre aux impacts directs et indirects des infrastructures de transport terrestre (ITT). Celles-ci entraînent la destruction, la fragmentation et la détérioration des habitats, tout en ayant également un impact direct sur le déclin de certaines populations. L'équipe biodiversité du Cerema est spécialisée sur les relations entre infrastructures de transport terrestre et biodiversité. Dans cette section, nous examinerons plus particulièrement les effets spécifiques des ITT sur les amphibiens.

Des impacts indirects

Les infrastructures de transport terrestre représentent une source de pollutions diverses qui ont des effets indirects sur la faune. Parmi ces pollutions, les effluents provenant des routes peuvent contaminer les mares utilisées par les amphibiens pour leur reproduction, altérant ainsi la qualité de ces habitats cruciaux. De plus, les ITT sont responsables d'autres pollutions, notamment sonores, lumineuses et thermiques. Les bruits provenant du trafic routier, l'éclairage artificiel et le dégagement de chaleur par les infrastructures peuvent avoir des impacts négatifs sur les amphibiens et perturber leur comportement naturel. En outre, les vibrations générées par le passage des véhicules sur les routes peuvent également perturber les amphibiens dans leur environnement, entraînant des conséquences potentiellement néfastes sur leur santé et leur capacité à se reproduire et à survivre.

Des impacts directs

Outre la destruction et fragmentation du territoire qui entraînent le morcellement des habitats et l'isolement des populations, les infrastructures de transport terrestre constituent une menace sérieuse pour les amphibiens en raison des **collisions avec les véhicules**. La vulnérabilité des amphibiens face au trafic routier est telle qu'une population entière peut-être décimée (Serre Collet, 2019). Des études ont montré que sur autoroute, entre 89 et 98% des amphibiens qui tentent de traverser sont tués (Elzanowski et al., 2009; Hels & Buchwald, 2001). Pendant la période de migration pré-nuptiale, au cours de laquelle les amphibiens se dirigent massivement vers leurs lieux de reproduction, on peut assister à de véritables hécatombes sur certaines routes, entraînant la mort de milliers d'individus en un court laps de temps. La migration post-nuptiale, bien qu'elle soit plus étalée dans le temps, représente également une période de forte mortalité chez les amphibiens.

II. Mesures et dispositifs de franchissement des ITT

Pour limiter l'impact des collisions routières sur les populations d'amphibiens, certaines mesures, temporaires ou pérennes existent.

La **fermeture temporaire des routes pendant la période de migration** en est un exemple. Elle peut être mise en place lorsqu'il existe une déviation possible pour les automobilistes. Lorsque la route ne peut être fermée on observe parfois des **panneaux d'informations** qui préviennent de la présence d'amphibiens et incitent les automobilistes à ralentir.

Sur les tronçons de route avec une forte mortalité d'amphibiens, des dispositifs temporaires tels que des **crapaudromes** peuvent être mis en place pendant la période de migration. Des bâches en plastique rigide sont disposées le long de la voie de circulation et empêchent les amphibiens de traverser. Ceux-ci tombent dans des seaux enterrés et relevés deux à trois fois par jour, souvent par des bénévoles, qui les font traverser. Nécessitant une présence humaine tous les jours, ceux-ci sont généralement installés pendant deux mois maximum (Serre Collet, 2019).

Un crapaudrome peut précéder la création d'un ouvrage pérenne tel qu'un **crapauduc** (ou batrachoduc). Ce type d'installation repose sur le même principe puisqu'il s'agit d'empêcher les amphibiens de traverser et de les guider non pas vers des seaux mais vers un passage souterrain où ils pourront traverser en sécurité.

- Pour la **voirie déjà existante**, la création de tels ouvrages s'inscrit souvent dans le cadre de Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE) qui visent à identifier, préserver et remettre en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques (Serre Collet, 2019).
- Pour les **nouveaux projets**, la création de crapauducs est proposée comme mesure de réduction d'impact (Cerema, 2019). En France, la loi protège toutes les espèces d'amphibiens présentes sur le territoire, ainsi que leurs habitats, en vertu de l'article L.411-1 du Code de l'Environnement et de l'arrêté du 8 janvier 2021 qui fixe la liste des amphibiens et reptiles protégés. Par conséquent, toute perturbation, altération ou destruction d'individus ou de leur habitat est interdite. Cependant, il existe des dérogations à cette loi dans le cadre d'un aménagement déclaré d'intérêt public. Selon l'article L.411-2 du Code de l'Environnement, le Préfet peut accorder une dérogation si l'aménageur s'engage à éviter, réduire et compenser l'impact du projet sur les espèces concernées. Cela signifie que l'aménageur doit mettre en œuvre des mesures pour minimiser l'impact sur les amphibiens, notamment en assurant la continuité de leur déplacement et en protégeant leurs habitats. Si la construction de la voirie empêche le déplacement des amphibiens, la création de crapauducs est l'une des mesures qui peuvent être mises en place dans le cadre de la séquence ERC (Éviter, Réduire, Compenser) pour permettre aux amphibiens de traverser en toute sécurité et éviter les collisions avec les véhicules.

Que ce soit dans le cadre de la restauration des continuités écologiques au niveau de la voirie déjà existante ou dans le cadre des mesures ERC pour les nouvelles ITT, de plus en plus de crapauducs voient le jour en France.

Certains ouvrages ne sont pas spécifiquement conçus pour faciliter le passage des amphibiens, mais ils peuvent néanmoins être bénéfiques pour eux. On parlera d'"**ouvrages non dédiés**". Par exemple, les passages à petite et grande faune, conçus pour permettre le déplacement de différentes espèces animales, peuvent également être utilisés par les amphibiens, même si leur emplacement et leur configuration n'ont pas été spécifiquement pensés pour ce groupe taxonomique. De même, d'autres passages conçus pour rétablir la circulation pour des activités humaines telles que l'agriculture ou la randonnée, ou pour permettre le passage de l'eau, comme les passages hydrauliques, peuvent également être empruntés par les amphibiens. Cependant, très peu d'études ont été menées spécifiquement sur l'utilisation de ces ouvrages par les amphibiens. Le Cerema fait exception en ayant étudié l'utilisation d'un tel passage par la faune en 2018, dans la forêt de Raismes-Saint-Amand-Wallers. Les constats issus de cette étude ont été à l'origine du projet Amphilapse, sur lequel j'ai effectué mon stage. Ce projet a pour objectif de développer des méthodes de suivi spécifiques pour les amphibiens dans les ouvrages d'art, qu'ils soient spécialement conçus pour eux ou non dédiés à leur passage.

III. Contexte de l'étude Amphilapse

En 2018, le Cerema a travaillé sur la restauration des continuités écologiques du passage de la drève de Bassy en forêt domaniale de Raismes-Saint-Amand-Wallers. Il s'agit d'un passage inférieur aménagé sous l'autoroute A23 et reliant les communes de Hasnon et Raismes (Figure 3).

La construction de l'autoroute, finalisée en 1978, est antérieure aux réglementations sur la destruction d'espèces protégées et n'a pas fait l'objet de mesures ERC. Reliant Lesquin à Valenciennes, elle a créé une forte rupture de continuité écologique dans le massif forestier de Raismes-Saint-Amand-Wallers (Figure 4). Un trafic très important (>10 000 véhicules par jour) et la présence d'une clôture de part et d'autre des voies de circulation rendent impossible le passage de la faune.



Figure 3 : Passage inférieur de la drève de Bassy, vu en direction du nord. (Cerema, 2018)

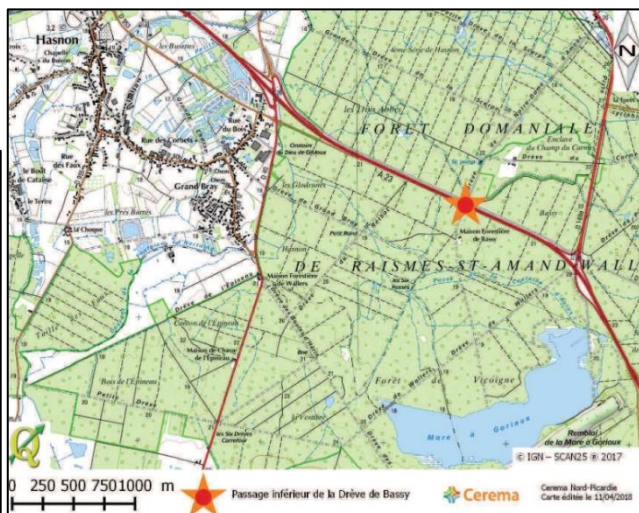


Figure 4 : Localisation du passage inférieur de la drève de Bassy. (Cerema, 2018)

Dans un objectif de restauration des continuités écologiques dans le massif forestier, le potentiel de cet ouvrage a été étudié. L'étude a débuté par un recensement de la faune et de la flore présentes dans le massif, suivi d'un inventaire de la faune utilisant le passage inférieur grâce à des dispositifs de piégeage photographique.

Concernant les amphibiens, les inventaires dans le passage ont permis de mettre en évidence que :

- Malgré l'absence de structure dédiée, les amphibiens traversent l'ouvrage.
- « Les protocoles d'inventaires des amphibiens sont adaptés à leur milieu de reproduction mais très peu à l'étude de leurs déplacements, encore moins en conditions difficiles (absence de structure dédiée et/ou adaptée) » (Cerema, 2021).

Il existe peu d'études sur les franchissements d'ouvrages dédiés et non dédiés aux amphibiens. Pourtant, pour mettre en place des solutions de restauration des milieux les plus adaptées, ces déplacements doivent être étudiés.

Sur la base de ces observations, le Cerema Hauts-de-France a soumis à subvention en 2020 un projet d'étude sur les déplacements des amphibiens en conditions difficiles. L'étude, démarrée en 2022, est subventionnée à hauteur de 50% par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie.

L'objet de cette étude, nommée Amphilapse, est de comparer différentes méthodes de détection des amphibiens en déplacement dans des ouvrages d'art et de proposer un protocole opérationnel, à destination des gestionnaires d'infrastructures, qui soit adapté au suivi de cette faune au niveau des ouvrages qui leur sont dédiés et non.

IV. Démarrage en 2022 et résultats

a. Modes de collecte de données

L'étude a commencé par une phase bibliographique permettant de dresser un état des lieux des méthodes de suivi d'amphibiens en déplacement connues à ce jour. Une rapide synthèse de ces recherches permet notamment de présenter les différentes techniques testées en 2022 et celles mises en œuvre pendant mon stage.

i. Les suivis classiques

Les **relevés de cadavres** sur les routes permettent de constater à quel endroit les collisions d'amphibiens sont les plus importantes. Cette méthode est aussi utilisée pour évaluer l'efficacité de la création de passages à faune. « [Elle] nécessite néanmoins un fort investissement humain, et ne

permet pas de quantifier le taux d'utilisation du passage, ou encore le comportement des espèces à son niveau (refus d'utilisation, sens de traversée...). » (Teillagorry, 2022a).

Les **pitfalls**. Des seaux sont enterrés de part et d'autre du passage et récupèrent tous les amphibiens ayant essayé de traverser. Cette méthode permet de quantifier précisément l'utilisation des crapauds par les amphibiens et d'identifier l'espèce, le sexe et la classe d'âge des individus. Toutefois, elle demande un fort investissement humain puisque les seaux doivent être relevés deux fois par jour pour relâcher les animaux capturés. D'autre part, selon la nature du substrat il n'est pas toujours possible d'enterrer les seaux. Enfin, elle ne permet pas de faire la différence entre les animaux qui auraient traversé complètement l'ouvrage et ceux qui auraient pu faire demi-tour.

ii. Les technologies de suivis automatisés

L'utilisation de pièges photographiques (PP) ou de caméras en enregistrement continu constitue une approche prometteuse pour réaliser ce type de suivi. Bien qu'elles puissent ne pas fournir des résultats aussi précis que la méthode des pitfalls sur les individus, ces technologies permettraient en revanche d'obtenir des informations sur le comportement des amphibiens, de distinguer ceux qui ont traversé l'ouvrage de ceux qui ont fait demi-tour. De plus, l'utilisation de ces technologies permettrait de réduire considérablement le temps passé sur le terrain.

Les pièges photographiques à infrarouge passif (Passive Infra Red ou PIR) ou détection de mouvement (mode motion) sont un moyen efficace de réaliser des suivis de populations et de déplacements de mammifères notamment. Le mode détection de mouvement permet de déclencher la prise d'une photo lorsqu'un animal passe devant l'objectif. Cette technologie repose sur une différence de température minimale (environ 2,5°C) entre l'arrière-plan (environnement) et un objet en mouvement. Ainsi si un animal homéotherme² passe devant le piège, un mammifère par exemple, la différence de température entre l'arrière-plan et l'animal sera suffisante pour déclencher la prise d'une photo. Cependant, les amphibiens sont des animaux poïkilothermes ectothermes, c'est-à-dire que leur température varie avec celle de leur environnement. Ces animaux ne peuvent donc pas être détectés par les pièges photographiques en mode détection de mouvement. Leur petite taille est également une difficulté supplémentaire qui pourrait ne pas déclencher la prise de photo.

Des études ont été menées sur l'utilisation du mode **time-lapse** (TL) pour la détection d'animaux. Ce mode prend des photos à cadence régulière, 10s, 30s, 1min, 5min par exemple. Il est possible de choisir la période de fonctionnement du piège (seulement la nuit par exemple pour les animaux plus actifs à cette période, comme les amphibiens), ainsi que le nombre de photos prises à chaque intervalle.

En 2022, trois cadences de time-lapse ont été comparées : 15, 30 et 60s (nommées par la suite TL15, TL30 et TL60). En considérant que le TL15 est le témoin ayant détecté 100% des événements d'amphibiens³, alors le TL30 a détecté 80% de ces événements et le TL60 63%. Le mode motion (détecteur de mouvement, PIR) était également enclenché sur l'un des pièges, celui-ci n'a permis de détecter aucun événement d'amphibiens.

A chaque déclenchement les pièges ont été réglés pour prendre trois photos d'affilée. Cela permet d'avoir une idée du mouvement de l'individu et d'étudier son comportement à l'entrée du passage (traversée ou refus). Cette information est essentielle dans le cadre du suivi d'un ouvrage pour évaluer le taux d'utilisation du passage (nombre d'amphibiens traversant le crapauduc sur le nombre

² Homéotherme : être vivant dont la température moyenne, constante, est indépendante du milieu ambiant (syn. courant animal à sang chaud). (Le Robert, s. d.)

³ Au vu de la vitesse de déplacement des amphibiens, il a été choisi de discriminer deux individus au-delà de 2min entre deux événements. Par souci de clarté, on parlera par la suite du nombre d'individus, bien qu'il s'agisse plus justement du nombre d'événements car rien ne nous assure à 100% qu'au-delà de 2min il s'agisse effectivement d'un nouvel individu.

d'amphibiens total détectés par le PP). L'analyse du comportement des amphibiens a permis de mettre en évidence que les individus ayant traversé le passage sont bien détectés par l'ensemble des modes de time-lapse (excepté 2 pour le TL60). En revanche, le nombre d'individus ne traversant pas le crapauduc (refus d'entrer ou demi-tour) est sous-estimé par le TL30 et le TL60 (Tableau 1).

Tableau 1 : Nombre d'amphibiens détectés traversant avec succès ou pas le crapauduc en fonction des modes de détection. Résultats de la première phase d'étude. (Teillagorry, 2022c)

Mode de détection	Traverse	Ne traverse pas	NA
TL 15	28	85	1
TL 30	28	63	0
TL 60	26	38	8

En différenciant les anoures⁴ (*Anura*) des urodèles⁵ (*Caudata*), on obtient les résultats présentés dans le Tableau 2. Le taux d'utilisation du crapauduc est ainsi évalué à 24.6% avec le témoin TL15, 30.8% avec le TL30 et 36.1% avec le TL60.

Tableau 2 : Nombre d'amphibiens traversant avec succès ou pas le crapauduc en fonction des modes, et discriminés par ordre. Le taux d'utilisation du crapauduc a ainsi pu être calculé à chaque fois. Résultats de la première phase d'étude. (Teillagorry, 2022c)

Mode de détection	Traverse	Ne traverse pas	NA	Taux d'utilisation du crapauduc (%)
TL 15	28	85	1	24.6
Anura	22	35	1	37.9
Caudata	6	50		10.7
TL 30	28	63		30.8
Anura	22	26		45.8
Caudata	6	37		14
TL 60	26	38	8	36.1
Anura	20	9	8	54.1
Caudata	6	29		17.1

D'après ces résultats, et en prenant en compte le temps traitement d'images qui augmente avec le nombre de photos, c'est le TL30 qui semble être le meilleur compromis entre le nombre de données récoltées et le temps d'analyse des photos. L'intervalle est suffisamment resserré pour pouvoir étudier le comportement des amphibiens (contrairement au TL60), tout en limitant le nombre de données « vides » à trier. Il est bien précisé l'importance de prendre trois photos à chaque fois pour obtenir plus d'informations sur le comportement des individus, d'autant plus que certains n'auraient pas été détectés si une seule photo avait été prise à chaque fois.

Pour finir, cette première partie de l'étude a permis de mettre en lumière les avantages et les inconvénients du time-lapse, qui sont détaillés dans le Tableau 3.

⁴ Les Anoures (*Anura*) forment l'ordre des amphibiens sans queue.

⁵ Les Urodèles (*Caudata*) forment l'ordre des amphibiens qui gardent leur queue à l'état adulte et dont la forme du corps est allongée, tels que les tritons et salamandres.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients du time-lapse et solutions envisageables, d'après Teillagorry, 2022c.

Avantages du TL	Inconvénients du TL	Solutions envisageables
Diminution du temps humain sur le terrain.	Consommation rapide de la batterie, et nécessité de changer les piles régulièrement.	Il existe des systèmes permettant de relier la batterie des pièges photographiques à des panneaux solaires, afin de l'alimenter en continu.
Observation des comportements des amphibiens.	Carte mémoire rapidement saturée en fonction de sa capacité.	Investir sur des cartes mémoires à grande capacité de stockage.
Évaluation d'un réel taux d'utilisation du passage à faune.	Temps de traitement manuel important des photos.	Des logiciels de traitement semi-automatique permettent de séparer les photos vides des photos contenant un individu.
	Impossibilité d'identifier systématiquement les individus à l'espèce en raison de la qualité photo.	Possibilité de remplacer les pièges photographiques par des boîtiers reflex. Ces derniers peuvent aussi être associés à des mécanismes de déclenchement extérieurs ou fonctionner en mode time-lapse.

D'autres mécanismes de déclenchement photo, actifs, peuvent offrir une solution moins gourmande en stockage de données, en énergie et en temps de traitement. Par exemple les plaques à pression et l'infrarouge actif (Active Infra Red AIR).

Les **plaques à pressions** (ou plaques à vibrations) sont reliées à un piège photographique (Figure 5). Lors du passage d'un animal, si la pression exercée sur la plaque est suffisante, le piège photographique se déclenche. Ce type de matériel a rarement été documenté et a surtout été utilisé pour le suivi de mammifères semi-aquatiques (Lerone et al., 2015) ou de tortues (Boglioli et al., 2003; Johnson et al., 2007; Maier et al., 2002). Ce type de déclenchement a été plus récemment utilisé pour les amphibiens par Fagart et al., 2016. Les plaques telles qu'elles sont aujourd'hui commercialisées n'existaient pas encore sur le marché et ils ont fabriqué les pièges eux-mêmes. L'efficacité des plaques commercialisées pour le suivi des amphibiens n'étant pas connue, ce mécanisme sera testé en conditions réelles lors de mon stage.



Figure 5 : Plaque à pressions. (M. Olivier)

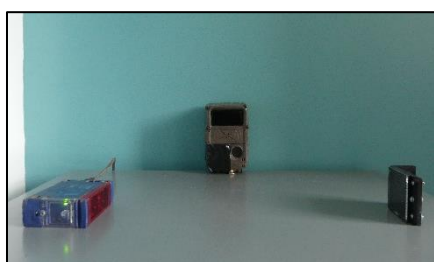


Figure 6 : Barrière infrarouge (M. Olivier)

Il existe également les capteurs à infrarouge actif (AIR). Une **barrière infrarouge** (Figure 6), équipée d'un émetteur et d'un récepteur de rayon IR déclenche la prise de photo lorsque le rayon est interrompu. Ce type de technologie est généralement utilisé pour le suivi de grands mammifères (Clevenger et al., 2009; Huijser et al., 2009), souvent cryptiques (Jackson et al., 2005; Karanth & Nichols, 1998). Ce matériel a été utilisé pour le suivi d'un terrier de Salamandres tachetées (*Salamandra salamandra*) en Autriche par Leeb et al., 2013. La barrière était placée à l'entrée du terrier et reliée à un appareil photo type reflex. Un piège photographique classique en mode PIR était également installé afin de comparer le taux de détection des deux matériels. Le mode PIR n'a détecté de 18% des salamandres prises en photo par le système de barrière AIR (appelée BIR dans la suite de ce rapport).

Ces deux méthodes pourraient à priori être utilisées pour le suivi des amphibiens en déplacement, notamment dans des passages inférieurs. En effet, une forte pluie ou un vent violent peuvent générer

de nombreux faux positifs en exerçant une pression suffisante sur la plaque ou en interrompant le rayon IR. Ces deux méthodes seront testées pendant mon stage afin de déterminer leur efficacité pour le suivi des amphibiens en déplacement.

b. Traitement des photos et/ou vidéos issues du piégeage photographique

La phase bibliographique a également donné lieu à un rapport sur les méthodes de traitement des photos et vidéos. Les éléments essentiels de ce rapport sont repris ci-dessous et permettent de d'introduire des logiciels / programmes de traitement que j'ai utilisés pendant mon stage.

i. Traitement manuel

Lors d'une **étude ponctuelle** avec un nombre fini d'image, ce sont souvent **les chargés de l'étude** qui s'occupent du traitement des données. Ils utilisent des outils qui permettent « d'étiqueter (ou « taguer ») les photos/vidéos, c'est-à-dire d'assigner des mots décrivant l'image ou la vidéo sous forme de métadonnées EXIF (Exchangeable image file format) » (Teillagorry, 2022b). Il existe des programmes, sites internet ou logiciels qui ont été pensés spécifiquement pour la caractérisation de données issues de pièges photographiques. Le rapport de 2022 comprend une liste non exhaustive de ceux-ci avec leurs propriétés et leurs limites.

Dans le cas d'un projet avec une **pose pérenne de pièges photographiques**, générant un nombre infini d'images, les **sciences participatives** sont généralement plus adaptées. Elles sont définies comme des activités scientifiques dans lesquelles des non-scientifiques sont impliqués pour l'acquisition, le traitement ou l'analyse de données (Haklay, 2013). Les photos/vidéos sont chargées sur des sites internet sur lesquels les citoyens désirant participer à un projet de recherche peuvent traiter des images.

ii. Traitement semi-automatique

Un traitement semi-automatique permet de trier automatiquement les images et de séparer les photos vides (sans animal) de celles pleines (avec un animal). Cela est très intéressant dans le cas du mode time-lapse par exemple, où la majorité des données sont vides. Cela permet également d'éviter plusieurs biais inhérents à l'être humain comme la fatigue ou la variation entre observateurs. Cependant, les logiciels de traitement automatisés peuvent commettre deux types d'erreur :

- Les erreurs de type I (ou **faux positifs**) : une image sans animal est identifiée comme positive
- Les erreurs de type II (ou **faux négatifs**) : une image avec animal n'est pas identifiée par le logiciel

Les erreurs de type I peuvent être corrigées par un traitement manuel qui permet de les supprimer. Les erreurs de type II quant à elles sont plus problématiques et sont à minimiser absolument.

Plusieurs programmes de ce type existent aujourd'hui mais la majorité sont uniquement capables de détecter la présence de moyenne à grande faune comme AnimalFinder et Zilong par exemple. Ainsi ils ne sont pas adaptés pour le traitement d'images issues d'un suivi d'amphibiens.

MotionMeerkat en revanche est un programme qui scanne les images d'une vidéo une par une et détecte les mouvements après soustraction de l'arrière-plan. Lors de l'utilisation du logiciel, il est possible d'ajuster différents paramètres tels que l'intensité du mouvement de l'arrière-plan, la vitesse de l'animal ciblé, la taille du mouvement à détecter, etc. Le programme peut également encadrer le mouvement détecté d'un rectangle rouge. Son efficacité a été évaluée pour détecter les mouvements de pics (*Picidae*) par Marcot et al en 2019. Ils ont obtenu 35% d'erreur de type I et 10% d'erreurs de type II, des résultats encourageants, d'autant plus que ce programme permet d'économiser plus de 90% du temps d'évaluation et d'éradiquer les biais humains. Ce logiciel sera testé sur les données collectées pendant mon stage afin d'étudier son efficacité pour la détection des amphibiens.

iii. Traitement automatique

Le but du traitement automatique est de pouvoir extraire les informations contenues dans une photo, comme l'espèce ou le nombre d'individus. Ce type de traitement est en plein essor ces dernières années avec le développement des intelligences artificielles. Les programmes s'améliorent au fur et à mesure de leur utilisation, on parle d'apprentissage profond (« deep learning »).

Plusieurs algorithmes de reconnaissance d'espèce ont fait l'objet de publications, notamment sur la faune africaine. Ils ne sont donc pas utilisables en France. Mais, plus récemment, une équipe française a développé un algorithme de reconnaissance d'espèces européennes : **Deepfaune**. Celui-ci fonctionne en deux étapes, d'abord il détecte les animaux, personnes et véhicules dans les images et discrimine les images vides, puis, il identifie l'espèce détectée. « [Deepfaune] permet de reconnaître un certain nombre de mammifères européens, ainsi que les animaux domestiques (chats/chiens) et certains groupes taxonomiques (oiseaux, lagomorphes, micromammifères, mustélidés), avec en moyenne un taux de précision de 92% » (Teillagorry, 2022b). Bien que ce logiciel ne soit pas créé pour la reconnaissance des amphibiens, il est en constante évolution. C'est pourquoi, un essai a été réalisé en 2022 sur les données issues du TL60. Les résultats indiquent que le logiciel ne détecte que 12% des amphibiens. Un deuxième essai sera réalisé en 2023 avec les données de l'année.

V. Mes missions de stage en 2023

Le but de mon stage est de poursuivre l'étude Amphilapse en comparant les méthodes décrites lors de la recherche bibliographique et de répondre à la problématique suivante : **Quelle est la méthode la plus opérationnelle pour suivre la fréquentation d'ouvrages d'art par les amphibiens ?**

Mon stage a ainsi commencé par **une phase de terrain** en mars/avril, pendant laquelle j'ai installé les différentes méthodes de détection à comparer. Le TL30 a été pris comme témoin pour la comparaison des méthodes. La plaque à pressions et la barrière IR ont été testées, de même que deux dispositifs de capture vidéo : une caméra thermique et une caméra infrarouge filmant en continu. Le fonctionnement de chacune de ces méthodes sera expliqué par la suite.

Une fois collectées j'ai réalisé le **traitement des données**. Toutes les images ont été triées manuellement pour déterminer le taux de détection de chaque méthode. Puis deux logiciels de traitement semi-automatique et automatique ont été comparés : **MotionMeerkat** et **Deepfaune**. Ce traitement automatisé, s'il est efficace, présente l'avantage de réduire considérablement le temps humain dédié au traitement des images et de s'affranchir du biais observateur.

L'analyse des données issues du traitement a permis d'obtenir des résultats quant à l'efficacité des méthodes de détection et des logiciels de traitement automatisés.

Ce travail a donné lieu à la rédaction de **fiches méthode** pour l'installation, l'utilisation et la maintenance du matériel testé ainsi que l'utilisation des logiciels. Le **présent rapport** reprend les étapes de la démarche et présente les résultats obtenus pendant la période du stage. Il comporte également une section « Perspectives » où sont proposées des pistes pour la poursuite de l'étude. Ces résultats ont permis de rédiger un **protocole** reprenant la méthode la plus optimale à ce jour pour le suivi automatisé des amphibiens en déplacement dans les ouvrages d'arts. Un **poster** de présentation de l'étude et des principaux résultats a été réalisé pour le congrès annuel de la Société Herpétologique de France qui se tiendra du 11 au 14 octobre 2023 à Erquy, dans les Côtes-d'Armor.

Ce stage a également été l'occasion pour moi de réaliser des **missions ponctuelles** en dehors d'Amphilapse. Par exemple, la réalisation d'inventaires amphibiens, la participation à un inventaire flore avant fauche avec export, au suivi de l'efficacité du pâturage caprin sur les renouées asiatiques ou encore la pose de pièges photographiques dans le cadre d'un suivi de grands passages à faune.

VI. Synthèse

La Figure 7 reprend la chronologie de l'étude Amphilapse avec les étapes que j'ai réalisées (en orange).

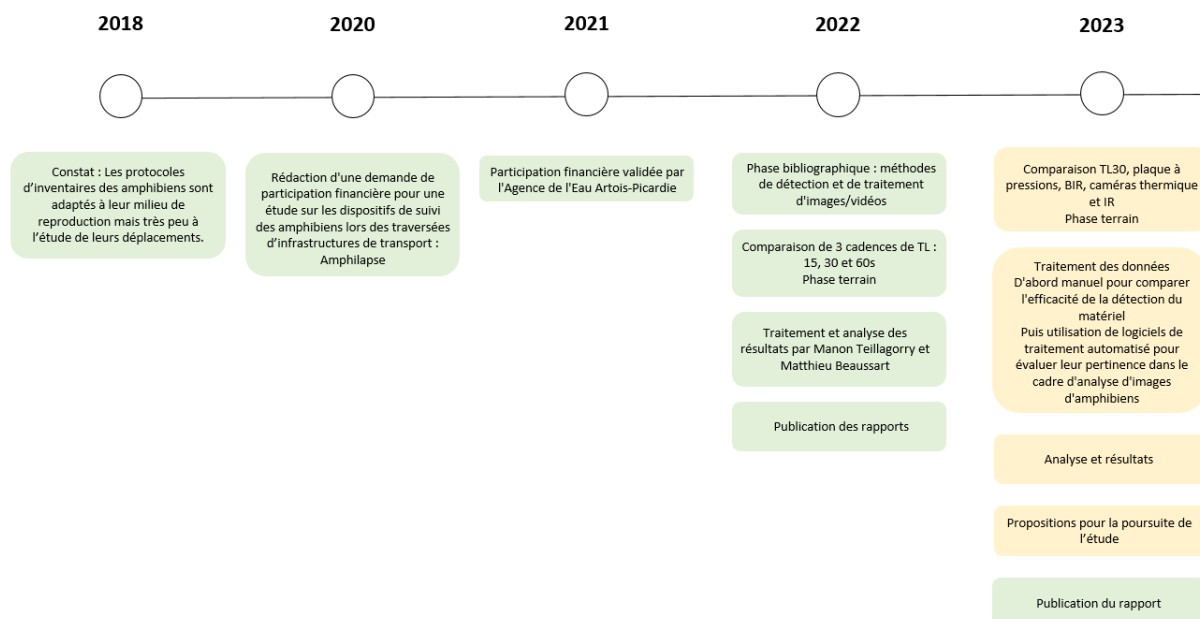


Figure 7 : Chronologie de l'étude Amphilapse. En orange, les étapes réalisées pendant le stage. En vert, celles réalisées par les chargées d'études et le précédent stagiaire.

La Figure 8 schématise la réflexion qui a guidé l'étude avec les étapes auxquelles j'ai participé encadrées en pointillés orange.

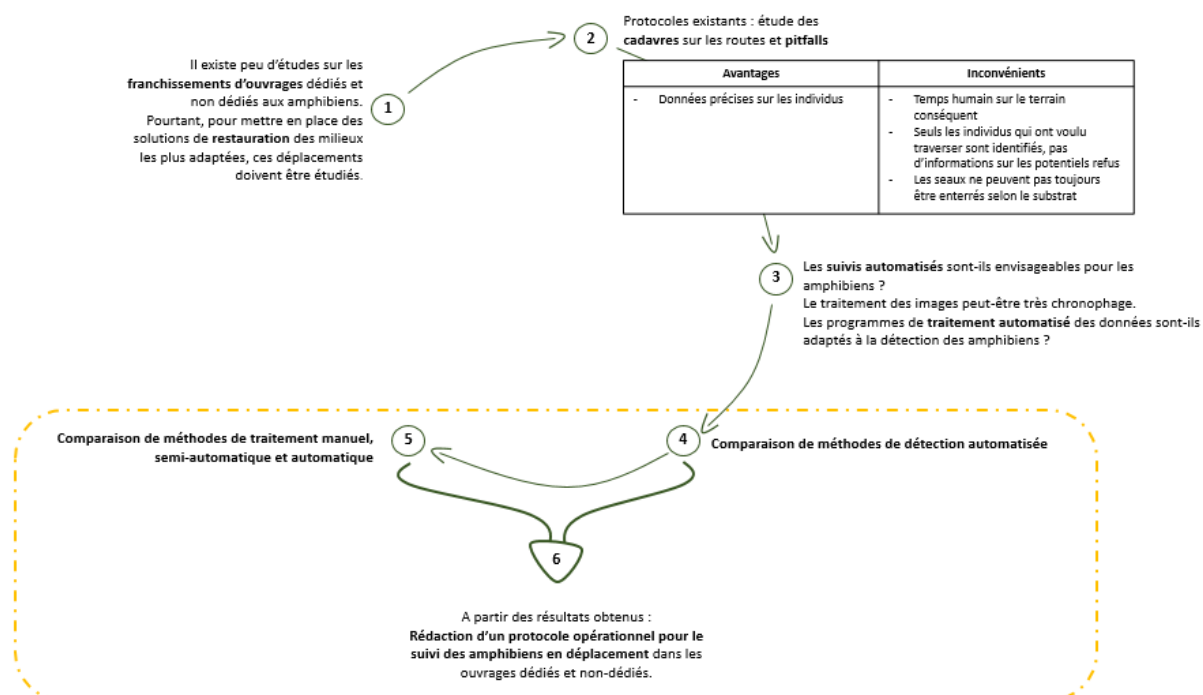


Figure 8 : Démarche et objectif de l'étude. Dans l'encadré orange, les étapes auxquelles j'ai participé.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Phase de terrain

a. Choix des sites d'étude

Il est essentiel que des amphibiens traversent l'ouvrage sélectionné pour comparer l'efficacité de détection du matériel. Sans cette présence d'amphibiens, une comparaison n'est pas possible. Cependant, cette étude a été initiée en raison du manque de données sur la fréquentation des passages par cette faune. Ainsi, la présence d'amphibiens au niveau du passage a été déduite à partir de l'emplacement du site d'étude potentiel (proximité d'une mare) et des données d'observations d'amphibiens.

En outre, la localisation de l'ouvrage par rapport aux locaux du Cerema, situés dans le centre de Lille, représente une contrainte supplémentaire. En effet, celui-ci doit être relativement proche car le matériel est placé pendant la période de migration prénuptiale et nécessite une vérification régulière, plusieurs fois par semaine. Le temps de trajet maximum accepté pour se rendre sur place est de 1h30 de route aller.

i. Le crapauduc d'Hachette – RD32

Fortuitement, un crapauduc localisé dans le Parc naturel régional (PNR) de l'Avesnois, en lisière de la forêt de Mormal, répond parfaitement à ces principales contraintes. Il s'agit d'un ouvrage finalisé en 2012 et réalisé à la suite d'un signalement de mortalité routière importante de Salamandres tachetées en 2005 (Charlet, 2014). Cet ouvrage permet aux amphibiens de traverser en sécurité la route départementale RD32. Cette route sépare la forêt des mares prairiales de la vallée de la Sambre où viennent se reproduire les amphibiens (Figure 9). Le passage inférieur est équipé d'une fosse de comptage à chacune de ses extrémités pour évaluer son efficacité. Il est accompagné d'un collecteur unilatéral de 60m côté forêt (Figure 10), qui permet de guider les amphibiens vers le passage lors de la migration prénuptiale.



Figure 9 : A gauche, RD32 séparant forêt et mares. A droite, mare sur laquelle donne le crapauduc. (M. Olivier)



Figure 10 : A gauche, entrée du crapauduc côté forêt. A droite, le collecteur qui guide les amphibiens vers le passage. (M. Olivier)

Situé à 80km au sud-est de Lille, le site est accessible en 1h10 de route. Ce passage avait été choisi en 2022 pour réaliser la première phase de l'étude, ce qui a permis de confirmer la présence d'amphibiens aux abords du passage avec des individus qui traversent et d'autres pas. Il a donc également été choisi pour la deuxième phase de l'étude en 2023. Ce site, en plus de répondre aux principales contraintes que sont la présence d'amphibiens et la distance depuis Lille, répond à d'autres critères qui sont à prendre en compte dans le choix du site d'étude, à savoir :

- La possibilité d'y installer du matériel sans déranger les déplacements de la faune
- Un accès facile pour le transport et la mise en place du matériel
- Une faible visibilité du matériel depuis la route (pour éviter le vol ou la dégradation)
- L'autorisation de pose de matériel

Le matériel a été installé côté forêt, en direction du sud pour observer les individus qui se rendent vers leur mare de reproduction.

ii. Le passage hydraulique sous le contournement de Borre-Pradelles – RD642

En 2022, d'autres passages potentiels pour l'étude avaient été envisagés, notamment des passages non dédiés à la faune. Il semblait pertinent de tester les méthodes de détection dans un passage non dédié, car l'objectif est de proposer un protocole adapté aux deux types d'ouvrages.

Le site sélectionné se situe à 40km au nord-ouest de Lille, au niveau du contournement de Borre-Pradelles, sur la route départementale RD642. Sur ce tronçon, quatre passages inférieurs sont conçus pour la circulation de l'eau. Ce réseau hydraulique est artificiel, alimenté par la Plate Becque, un cours d'eau prenant sa source à Pradelles et utilisé pour l'irrigation des cultures.

Le Groupe ornithologique et naturaliste du Nord-Pas-de-Calais (GON) a effectué des inventaires en 2022 dans les fossés connectés à ces passages (Figure 11). Ces inventaires ont révélé la présence d'amphibiens durant la période de reproduction. Toutefois, il reste incertain que ces amphibiens utilisent effectivement ces passages, car qu'ils viennent du nord ou du sud, ils ne sont pas contraints de les traverser pour atteindre un point d'eau.

Malgré cette incertitude, le passage n°1 a été sélectionné pour l'étude (Figure 11). C'est le passage avec le moins de visibilité depuis la route et les chemins (moins de risque de vol), et les talus aux entrées sont les moins pentus, facilitant ainsi l'installation du matériel.

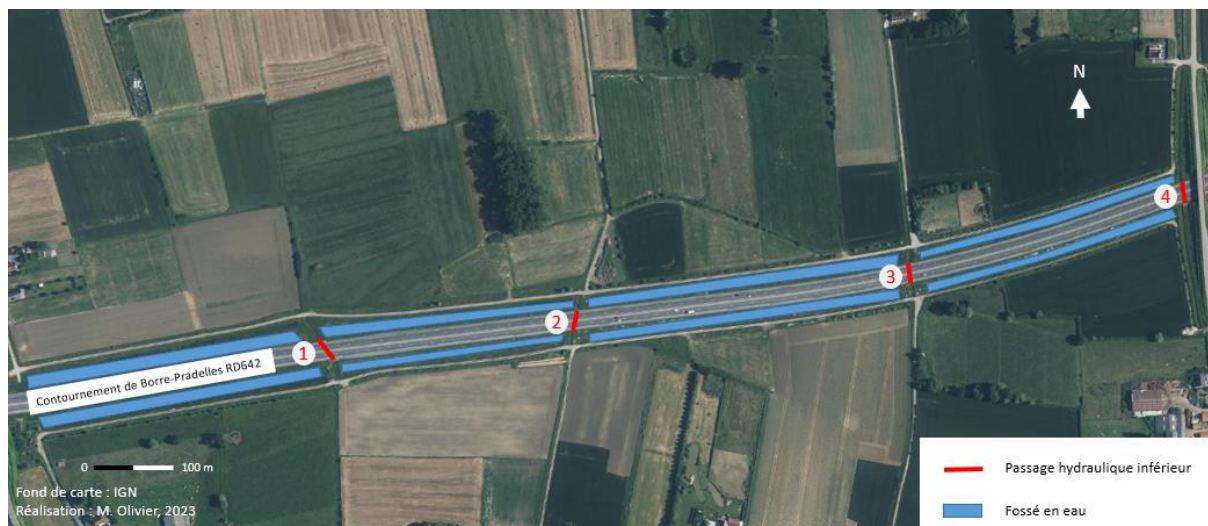


Figure 11 : Position des passages inférieurs et des fossés au niveau du contournement Borre-Pradelles.

Le passage mesure 25m de long et est équipé de deux banquettes qui permettent à la faune de traverser au sec. Ces banquettes, d'un mètre de large environ, sont constituées de gabions⁶ et ont été recouvertes de terre. Avec le temps le revêtement en terre est devenu discontinu et laisse apparaître le grillage (Figure 12).



Figure 12 : En haut, entrée et intérieur du passage, vus depuis le nord. En bas, fossés en eau côté nord et sud.

⁶ Gabion : casier constitué de fils de fer et rempli de pierres (« Gabion », 2022).

La présence de fossés de chaque côté du passage ne permet pas de prédire un sens de traversée des amphibiens. Par conséquent, le matériel a été placé côté sud lors d'une première période de pose, et côté nord lors d'une seconde. Pour chaque période, seule une banquette a été étudiée, ce qui n'est pas un problème puisque l'objectif n'est pas de suivre l'ensemble de la migration, mais de comparer l'efficacité des différents matériels utilisés.

b. Méthodes de détection testées

La référence et le coût de chaque matériel testé est disponible en Annexe 1.

i. Le piège photographique en time-lapse de 30s (TL30)

Le TL30 ayant été sélectionné comme cadence optimale pour la détection des amphibiens en déplacement dans les ouvrages d'art en 2022, il a été utilisé comme référence cette année.

Un piège photographique de la marque Reconyx, modèle Hyperfire 2, a été programmé pour fonctionner de 20h à 7h du matin, car les amphibiens sont plus actifs la nuit. Toutes les 30 secondes, 3 photos ont été prises en mode rafale. Elles permettent d'avoir des informations sur le comportement des individus. Le piège photographique a été fixé sur un support spécialement conçu par le Cerema Risques, Eaux et Mer, Département Prototypes et Projets Numériques, qui permet de sécuriser le matériel contre le vol grâce à des vis de terre (Figure 13).

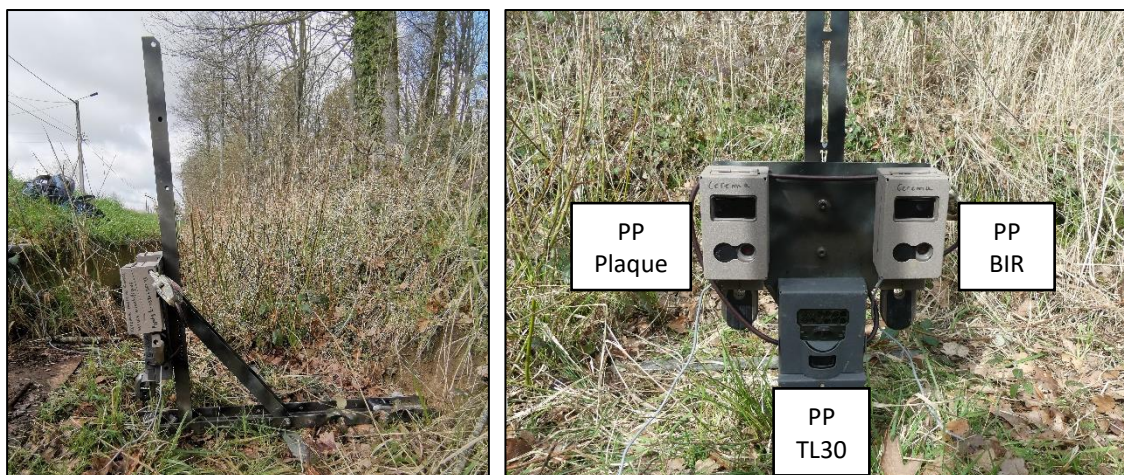


Figure 13 : Support permettant l'installation et la sécurisation de 3 pièges photographiques. (M. Olivier)

ii. La plaque à pressions et la barrière infrarouge

Ces deux méthodes sont dites actives car, à l'inverse de time-lapse, le piège photographique se déclenche uniquement en cas de passage, ce qui permet de limiter le nombre d'images vides.

La **plaque**, sorte de tapis semi-rigide de 1m de côté, est équipée de capteurs de pression et reliée à un piège photographique, ici, un Cudde Back Digital. Lorsqu'un animal marche sur la plaque, si la pression exercée est suffisante, les capteurs la détectent et le piège photographique se déclenche. Toutefois la sensibilité des capteurs nous est inconnue et il n'est pas certain que les amphibiens soient assez lourds (< 50g) pour déclencher le piège photographique. Pour évaluer la sensibilité de la plaque au passage des amphibiens, elle a été installée à l'entrée des deux passages sélectionnés. La plaque a été positionnée à environ 30 cm de l'entrée du passage de manière à ce qu'elle soit protégée des intempéries qui pourraient déclencher le piège photographique (vent violent, averse), mais sans être trop loin pour qu'elle soit visible depuis celui-ci.

L'installation est simple, il suffit de déplier la plaque et de la fixer avec des pierres, des morceaux de bois ou un peu de terre (Figure 14), en essayant de l'aplatir contre le sol pour éviter qu'il y ait un espace

entre la plaque et le sol où des tritons pourraient se retrouver piégés. Les piles du piège photographique servent à alimenter les capteurs de la plaque.

La **barrière infrarouge** (BIR) utilisée pour l'étude est composée d'un émetteur/récepteur relié à un piège photographique Cudde Back Digital et d'un réflecteur. Lorsque quelque chose passe entre l'émetteur/récepteur et le réflecteur, le signal est interrompu, ce qui déclenche le piège photographique. La BIR a été installée devant la plaque, d'une part pour avoir une bonne vue depuis le piège photographique, d'autre part par ce que l'effet de la plaque sur le comportement des amphibiens n'est pas connu. Elle pourrait par exemple être désagréable pour les amphibiens et les encourager à faire demi-tour. La BIR est posée au ras du sol et sur la totalité de la largeur du passage si possible. Selon la nature du substrat, l'émetteur/récepteur et le réflecteur sont simplement posés au sol ou fixés à l'aide d'une tige s'il y a de la terre par exemple (Figure 14). La BIR est alimentée par une batterie de 12V qu'il est nécessaire de changer une à deux fois par semaine, selon la température notamment. Le piège photographique fonctionne avec des piles.

Les deux méthodes ont été testées sur les deux sites d'étude. Comme pour le time-lapse, les pièges photographiques sont programmés pour prendre 3 photos d'affilée à chaque déclenchement. En revanche il n'est pas possible de programmer le fonctionnement sur une plage horaire en particulier pour ce mode. Les photos doivent donc ensuite être triées pour ne garder que celles prises entre 20h et 7h si l'on veut comparer les données avec celles du time-lapse.



Figure 14 : Position du support avec les 3 pièges photographiques à l'entrée du passage et installation de la plaque et de la BIR dans le passage. En haut à Borre-Pradelles (côté sud), en bas, à Hachette (coté forêt). (M. Olivier)

iii. La caméra thermique

Justification de l'utilisation

Les caméras thermiques permettent d'évaluer précisément la température de surface de corps ou d'objets. Dans leur article sur l'utilisation de l'imagerie thermique infrarouge dans les études sur les animaux sauvages, Cilulko et al. (2013) citent des exemples d'utilisation de cette technologie. Par

exemple des caméras thermiques ont été utilisées pour l'étude des processus de reproduction chez les éléphants d'Asie et les rhinocéros noirs. Des études sur la thermorégulation de renards, de loutres, de micromammifères et de chauves-souris, mais également sur les comportements de singes, dauphins et oiseaux ont réalisées avec ce type de matériel. Enfin cette méthode a aussi été utilisée pour la détection et l'estimation de la taille de populations de mammifères terrestres (cerfs de Virginie) et marins (baleines grises). A la lecture de cet article on constate que l'utilisation des caméras thermiques en écologie s'est cantonnée aux espèces homéothermes. Une recherche bibliographique approfondie m'a permis de trouver un article sur l'utilisation de la thermométrie pour les études sur les amphibiens. Dans cette étude (Bikic et al., 2011), les chercheurs utilisent la thermographie pour déterminer la durée d'adaptation de la température corporelle de grenouilles rieuses (*Pelophylax ridibundus*) par rapport à la température de leur environnement. Leur température corporelle a été mesurée lors d'une exposition à 23°C après 30 jours dans un environnement contrôlé à 8°C et dans le noir (sans possibilité de thermo réguler). Juste après cette exposition, leur température corporelle était de 12.4°C en moyenne.

Parmi toutes les recherches que j'ai pu faire, il s'agit de la seule étude avec des données chiffrées de cette différence de température entre le corps d'un amphibien et celle de son environnement. L'utilisation d'une caméra thermique pour détecter des amphibiens en déplacement peut donc se justifier. Toutefois cette différence de 4.4°C a pu être observée dans des conditions de laboratoire parfaitement contrôlées. L'utilisation d'une caméra thermique pour la détection d'amphibiens en extérieur sera donc une première.

L'objectif en 2023 en utilisant cette méthode est avant tout de comprendre son fonctionnement, d'évaluer son niveau de complexité et de maintenance, sa capacité de détection avec le paramétrage choisi et de pressentir si elle pourrait être adaptée au suivi des amphibiens. En effet, à première vue l'utilisation d'une caméra thermique pour la détection d'amphibiens nous laisse perplexe. D'abord, le matériel est très couteux au regard des autres méthodes testées (près de 14 000€ pour l'équipement complet). La caméra utilisée (PI 640) bien que qualifiée d'extrêmement précise, offre une précision de 5°C à 23°C (Optris, s. d.), tandis que celle de la caméra utilisée pour l'expérience sur les grenouilles rieuses était de 0.07°C à 30°C. Puisque l'unique donnée numérique de la variation de température d'amphibiens avec leur environnement est de 4.4°C, une précision de 5°C semble insuffisante. D'autant plus que la température de l'environnement risque elle-même de fluctuer (vent, humidité...).

Installation

La caméra est capable de déclencher un enregistrement lorsque la différence de température entre l'environnement (ici l'intérieur du crapauduc) et un objet ou un corps est supérieure à une température dite « d'alarme » prédéfinie par le chercheur. J'ai dû choisir la température d'alarme en considérant :

- Que plus la valeur choisie est faible, plus la probabilité de détecter un amphibien est grande. En effet, l'expérience citée plus haut nous montre qu'une différence de 4.4°C est possible, toutefois il faut garder en tête que la température des ectothermes reste intimement liée à celle de leur environnement.
- Que tous les éléments du champ de vision de la caméra sont soumis aux variations environnementales. Sur le terrain, une fois la caméra installée j'ai observé que la température des parois du crapauduc ainsi que du substrat devant l'entrée (terre et plaque en métal) fluctuait constamment avec des différences jusqu'à 2°C.

En prenant en compte ces informations j'ai défini la température d'alarme sur 2°C. J'ai supposé que cette température permettrait d'éviter un déclenchement inopportun de la caméra (faux-positifs à trier et déchargement de la batterie) et de détecter les amphibiens (sous l'hypothèse que leur température soit d'au moins 2°C supérieure ou inférieure à celle de l'intérieur du crapauduc).

Pour l'installation sur le terrain, la caméra est fixée au support de fixation des pièges photographiques à l'aide d'un boîtier sécurisé. Elle est reliée à un ordinateur portable et à une batterie de 12V qui sont installés dans un boîtier étanche fermé à clé et déposé à l'arrière du support pour ne pas déranger les déplacements de la faune (Figure 15). Du fait de son installation plus complexe, la caméra a été testée au crapauduc d'Hachette uniquement. Il est important de laisser l'ordinateur allumé et de ne pas mettre l'écran en veille, ce qui a pour conséquence d'éteindre la caméra. Le fonctionnement en continu de l'ordinateur et de la caméra consomme l'énergie de la batterie rapidement. Selon le nombre d'enregistrements déclenchés et la température extérieure, la batterie fonctionne entre 5 heures et 3 nuits.



Figure 15 : Installation de la caméra thermique sur le support à gauche. Batterie et ordinateur stockés dans le boîtier étanche à droite. (M. Olivier)

iv. La caméra infrarouge en continu

La caméra infrarouge présente l'avantage de filmer en continu l'entrée du passage et ainsi d'avoir des données précises sur le nombre et le comportement des individus. La caméra utilisée pour cette étude est la XA50 de chez Canon. Il est possible de programmer des horaires d'enregistrement mais nos conditions matérielles rendent impossible en revanche une fixation sécurisée comme pour les autres dispositifs testés. Au vu du prix (environ 2 000€) de la caméra nous avons décidé de ne pas la laisser plusieurs nuits d'affilée au risque de se la faire voler. Elle a donc été testée la nuit du 13 avril dans une buse qui permet la traversée la route nationale RN31 au niveau de Saint-Martin-le-Nœud. Ce passage fait l'objet d'un suivi par l'équipe biodiversité et se situe à proximité de mares où nous nous sommes rendus pour réaliser un inventaire amphibien. La caméra a donc été installée en début de soirée et retirée lors de notre départ. Elle a également été testée la nuit du 24 avril, au niveau du batrachoduc d'Hachette. Mes collègues et moi-même sommes restées à proximité pour éviter toute tentative de vol, mais suffisamment éloignées pour ne pas déranger les amphibiens.

L'utilisation de la caméra et son installation sont très simples (Figure 16). Il suffit de la fixer sur un trépied, de l'orienter vers l'entrée du passage et d'activer le mode IR, qui permet de voir de nuit. La caméra fonctionne sur batterie, et dispose de deux emplacements carte SD. Les batteries utilisées font 7.4V, 2670Ah et 18.8Wh, ce qui permet une autonomie de 3h10 environ. Les cartes SD utilisées font 256Go et permettent de stocker 3h30 d'enregistrement chacune. Comme à chaque fois, un piège photographique en TL30 est installé en même temps.



Figure 16 : Installation de la caméra IR. Ici, à l'entrée de la buse à Saint-Martin-le-Nœud. (M. Olivier)

c. Période de pose

La migration prénuptiale débute lorsque les nuits sont plus chaudes et humides. Reading, dans son étude sur l'effet de l'hiver sur le moment de l'activité de reproduction chez le crapaud commun (*Bufo bufo*), a mis en évidence que cette espèce est active lorsque les températures ne descendent pas en dessous du seuil de 6°C et que le début de la reproduction est fortement corrélé avec le nombre de jour qui ont été à 6°C ou plus dans les 40 jours précédents la principale arrivée dans les mares. Il a également mis en évidence l'importance de la photopériode dans le démarrage de la migration. Celle-ci ne débiterait pas avant que la durée du jour n'atteigne le seuil de 9 heures (Reading, 1998). Dans son étude sur la grenouille rousse (*Rana temporaria*) et le crapaud commun (*Bufo bufo*), Cooke (1976) a mis en évidence l'existence d'une cline⁷ dans les dates de ponte des amphibiens, qui débutent plus tôt dans le sud-ouest que dans le nord-est du Royaume-Uni. Cette période s'étend généralement de février à fin avril avec un pic de migration qui peut différer selon la zone biogéographique et les conditions météorologiques de l'année. La Figure 17 reprend les différentes périodes d'activité des amphibiens et les périodes de pose en 2022 et 2023. C'est la période de migration prénuptiale qui a été choisie car c'est à ce moment que les amphibiens se dirigent en masse vers leurs mares de reproduction et utilisent donc le plus les ouvrages d'art.

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Activité	Hivernage				Migration prénuptiale			Migration postnuptiale				
Pose du matériel en 2022							05-18 avril					
Pose du matériel en 2023						1 ^{er} mars		02 mai				

Figure 17 : Périodes d'activité des amphibiens et périodes de pose du matériel en 2022 et 2023.

En 2022 les trois cadences de time-lapse ont été comparées sur la période du 5 au 18 avril, avec une interruption entre le 9 et le 11, due à l'arrêt des pièges photographiques (piles HS). Le TL30 avait permis de détecter 48 anoures et 43 urodèles (Teillagorry, 2022c). Cette année la phase de terrain s'est étendue sur deux mois pour plusieurs raisons :

- La volonté de maximiser les données exploitables, avec la pose du matériel sur toute la période de migration
- Deux sites d'étude mais un seul support de fixation des pièges photographiques jusqu'au 12 avril, donc impossibilité de couvrir les deux sites en parallèle jusqu'à cette date
- L'autonomie du matériel plus ou moins aléatoire, ce qui nécessite de prendre des marges sur les durées d'installation du matériel en cas d'arrêt

Les principales contraintes de la phase de terrain sont les suivantes : les conditions météorologiques et l'autonomie du matériel. D'une part, si les conditions climatiques ne sont pas propices au déplacement des amphibiens lors de la période de pose, il sera impossible de comparer l'efficacité de leur détection. D'autre part, l'autonomie du matériel n'est pas tout à fait prévisible, certains matériels pourraient cesser de fonctionner avant mon passage de vérification et rendre ainsi la comparaison impossible sur cette période. Au vu de ces contraintes, chaque fois que le matériel a été installé sur un site, il y est resté pendant environ deux semaines.

⁷ En biologie et climatologie, une cline précise qu'une évolution graduelle d'un caractère biologique d'une espèce a lieu le long d'un axe géographique qui présente des gradients de conditions écologiques. (Cline, s. d.)

Chacune des méthodes testées a été posée avec un piège photographique en TL30 pris comme référence. La Figure 18 présente le planning de pose du matériel. Aucun matériel n'a été posé entre le 14 et le 28 mars car nous attendions les autorisations du PNR de l'Avesnois. Les données exploitables pour comparaison avec le TL30 sont encadrées en gras. Les autres ne sont pas comparables avec le time-lapse, car l'une des deux méthodes ne fonctionnait pas.

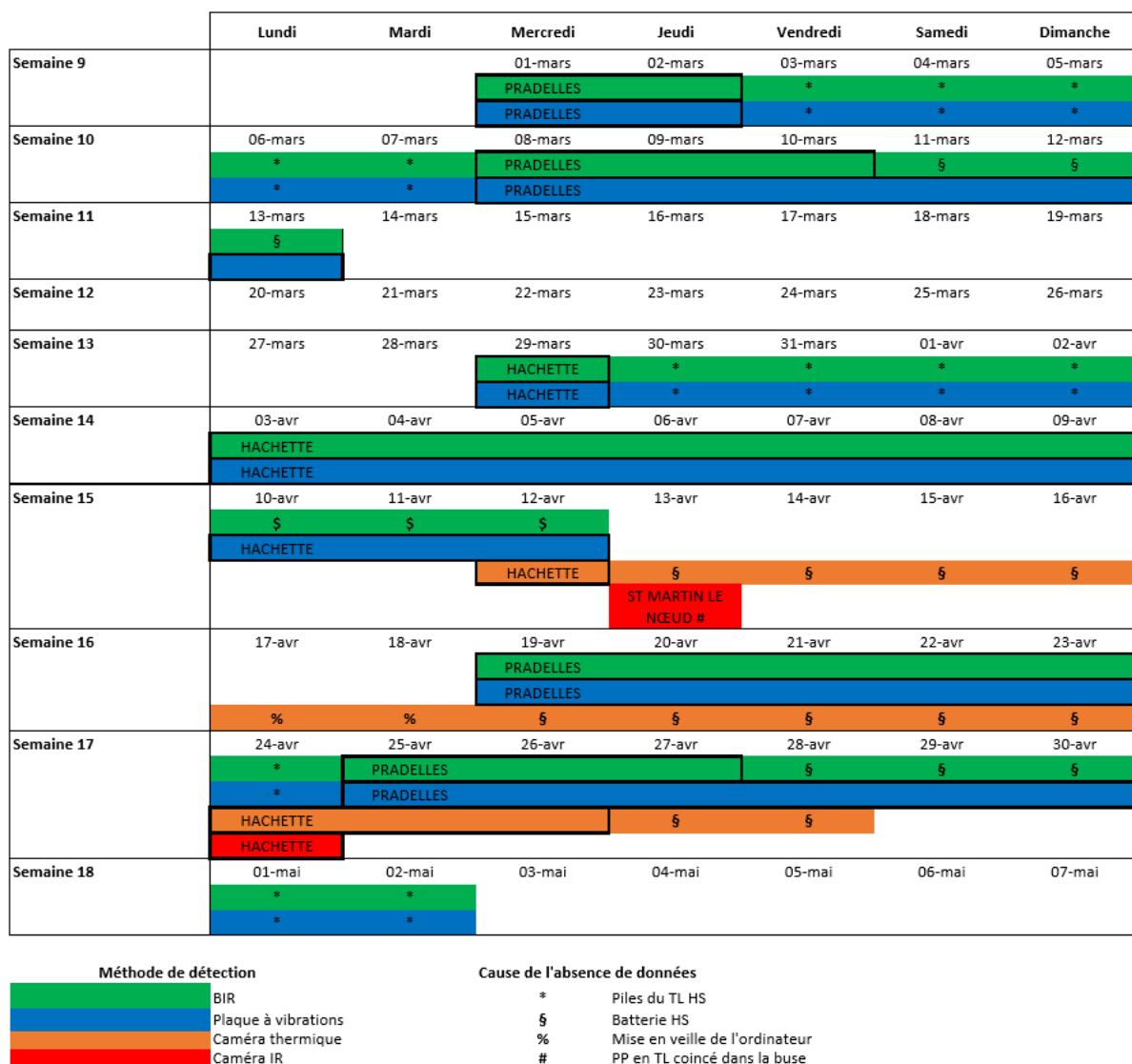


Figure 18 : Planning de pose du matériel sur le terrain en 2023. Sont encadrées en gras les périodes exploitables pour comparaison du matériel avec le TL30.

d. Vérification du matériel

Du 1^{er} mars au 12 avril, j'ai vérifié le matériel une fois par semaine, ce qui n'était pas suffisant car les piles du time-lapse se sont déchargées entre temps. La température joue un rôle important dans l'autonomie des piles. A partir du 3 avril j'ai vérifié le matériel (plaque, BIR et TL) deux fois par semaine ce qui a permis d'avoir des données en continu entre le 3 et le 9 avril.

A partir du 12 avril la caméra thermique a été posée à Hachette. Je suis allée vérifier le matériel un jour sur deux et malgré ça seulement trois nuits sont exploitables car :

- Nous n'avions qu'une seule batterie à disposition donc lorsqu'elle était déchargée il fallait la ramener au bureau pour la charger et la réinstaller deux jours plus tard.

- Pensant économiser de la batterie j'ai fait l'erreur de verrouiller l'ordinateur ce qui a eu pour conséquence d'éteindre la caméra thermique.
- Il est impossible de programmer le fonctionnement de la caméra, ainsi, une fois installée elle fonctionne et peut se décharger avant la nuit.

Entre le 19 avril et le 2 mai il y a de nouveau des discontinuités dans le fonctionnement du matériel à Pradelles. J'ai consacré beaucoup de temps à la maintenance de la caméra thermique, par conséquent je me suis rendue moins souvent à Borre-Pradelles.

II. Phase de traitement des données

Les données à traiter sont les photos et vidéos issues des méthodes de détection testées. Le traitement consiste à visionner ces données et à identifier celles avec présence d'un animal en précisant le groupe auquel il appartient et en apportant des informations supplémentaires lorsqu'il s'agit d'amphibiens.

Avant de réaliser cette étape, un pré-tri des données est nécessaire pour ne garder que celles qui sont comparables. Le traitement des images est très chronophage, il faut donc éviter tout traitement inutile. Par exemple, les pièges photographiques en time-lapse ont été programmés pour fonctionner entre 20h et 7h car c'est la nuit que les amphibiens sont les plus actifs. La plaque, la BIR et la caméra thermique en revanche fonctionnent en continu et ont pu être déclenchées en dehors de ces périodes. La probabilité d'y voir un amphibien étant faible et la comparaison avec le time-lapse impossible, ces données ne sont pas traitées. J'ai n'ai traité que les images et vidéos prises entre 20h et 7h. Les méthodes testées sont à comparer avec la référence, à savoir le TL30. Ainsi seules les périodes où ont fonctionné la méthode testée ET le TL30 ont été traitées (encadrées en gras sur la [Figure 18](#)).

Une fois le pré-tri réalisé et les données correctement organisées dans des dossiers séparés selon la méthode de détection et la période, le traitement peut commencer.

a. Traitement manuel

C'est avec le logiciel ExifPro que j'ai traité les photos issues des pièges photographiques, à savoir celles des time-lapses, de la BIR et de la plaque à pressions. J'ai utilisé une liste de tags qui permet de marquer facilement les images positives avec les informations utiles. J'ai repris les tags utilisés en 2022 pour le traitement des images du time-lapse en modifiant quelques éléments afin de ne garder que ce qui est essentiel. Le [Tableau 4](#) reprend la liste des tags utilisés.

Tableau 4 : Tags utilisés pour le traitement manuel des photos.

Classe	Ordre	Espèce	Comportement	Temps de passage	Température
☐ NA ☐ Amphibien ☐ Micromammifère ☐ Mammifère de plus grande taille	☐ NA ☐ Anoure ☐ Urodèle	☐ NA ☐ Alyte accoucheur ☐ Crapaud calamite ☐ Crapaud commun ☐ Grenouille des champs ☐ Grenouille rousse ☐ Grenouille verte ☐ Pélodyte ponctué ☐ Rainette verte ☐ Sonneur à ventre jaune ☐ Salamandre tachetée ☐ Triton alpestre ☐ Triton crêté ☐ Triton palmé ☐ Triton ponctué	☐ NA ☐ Passage ☐ Passage avec hésitation ☐ Passage puis retour en arrière ☐ Refus	☐ NA ☐ <15 sec ☐ <30 sec ☐ <45 sec ☐ <1 min ☐ <2 min ☐ <3 min ☐ >3 min	☐ <0 ☐ <5 ☐ <10 ☐ <15 ☐ <20 ☐ >20

Toutes les images avec un animal ne sont pas taguées, en effet seules les photos d'amphibiens et de mammifères sont étiquetées. Lorsqu'il existe un doute et qu'il est impossible d'identifier le groupe taxonomique, l'expression NA est utilisée. Une seule image par évènement est étiquetée, car on

cherche surtout à connaître le nombre d'individus détectés. On discrimine deux amphibiens lorsqu'il s'est écoulé plus de 2 minutes entre deux images où un individu apparaît. Les mammifères sont distingués en deux catégories pour évaluer la sensibilité de la plaque et ne sont pas concernés par la suite des tags. Pour les amphibiens, en revanche, toutes les catégories doivent être complétées. Les anoures et les urodèles sont distingués et si possible l'espèce est identifiée (ce qui est rare car les photos sont prises de nuit et la qualité des pièges photographiques ne permet généralement pas ce type d'indentification). Si les photos ont permis d'obtenir des informations sur le comportement des individus, alors la case correspondante a été cochée. Les deux dernières catégories (temps de passage et température) ont été complétées pour les photos du time-lapse seulement, car c'est la seule méthode qui permet d'obtenir ces informations. En effet les individus capturés par la plaque ou la BIR ont traversé l'ouvrage mais il est impossible de connaître la durée de cette traversée. Pour finir, seul le piège photographique Reconyx utilisé pour le time-lapse donne l'information de la température. Une fois toutes les photos visionnées, celles qui ont été étiquetées sont copiées dans un nouveau dossier et les données Exif sont exportées. Ces données sont ensuite mises en forme sous Excel et peuvent être exploitées. Un exemple de ces données est disponible en Annexe 2.

Les vidéos de la caméra thermique ne sont visualisables que par le logiciel Optris Connect. Le format de ces vidéos est spécifique (.wav) car il contient des données de température. Toutes les vidéos ont été traitées et les informations ont été renseignées dans un tableau.

Les vidéos de la caméra infrarouge ont été visionnées avec VLC media player en vitesse 1.5. Chaque évènement a été renseigné dans un tableau.

Un traitement manuel permet donc d'avoir une vision globale des images (car elles sont toutes visionnées) et d'annoter directement dans les données de l'image ce qui est observé avec des étiquettes. Cependant cette technique présente des inconvénients. D'abord elle est très chronophage puisque toutes les images sont visionnées une par une (environ 13 min/1 000 photos dans le cas des PP). De plus, le biais observateur est très variable, en effet toutes les images sont similaires et les amphibiens sont parfois difficiles à repérer (petite taille et peu de mouvements), il n'est donc pas étonnant d'observer une baisse d'attention due à la fatigue lors de sessions de traitement d'images qui peuvent s'étaler sur plusieurs heures voire plusieurs jours. Ajoutons d'ailleurs que le regard a tendance à fixer une zone spécifique de l'image et qu'il peut arriver de manquer certains évènements. Ensuite selon l'observateur les résultats ne seront pas forcément identiques.

b. Traitement automatisé

C'est pourquoi il semble intéressant de se pencher sur des logiciels de traitement automatique d'images qui peuvent permettre d'effectuer un premier tri, à savoir séparer les images « vides » de celles avec individu. Un tri manuel sera ensuite nécessaire sur ces images dites « positives » mais il sera beaucoup plus rapide du fait de l'élimination d'un grand nombre d'images vides. A notre connaissance, il n'existe pas de programme (automatique ou semi-automatique) ayant été développé spécifiquement pour le traitement de photos d'amphibiens (Teillagorry, 2022b). Ce sont donc les logiciels automatique Deepfaune et semi-automatique MotionMeerkat de traitement d'images de faune (plutôt mammifères et oiseaux) qui ont été testés pour évaluer leur efficacité à détecter des amphibiens sur des images.

L'objectif en testant ces logiciels est d'étudier le taux d'erreurs de type I (faux positifs) et de type II (faux négatifs). La méthode sera considérée comme efficace si elle présente un taux d'erreur de type II inférieur à 5%. En effet, l'idée en utilisant un logiciel de traitement automatique est d'éliminer les photos vides et de ne garder que celles qui sont pleines pour le traitement manuel. Il faut donc qu'il y ait le moins de faux-négatifs possible car ces données ne seront pas traitées. Il ne faut pas non plus un

taux trop élevé de faux-positifs, auquel cas le nombre d'images à traiter manuellement sera toujours conséquent.

i. Deepfaune

Le paramétrage du logiciel est simple et rapide. Il faut choisir un seuil de confiance minimum pour lequel le logiciel peut classer une image dans une catégorie (vide, micromammifère, chat, chien, humain...). Si la prédiction du logiciel n'atteint pas ce seuil de confiance, alors, l'image est classée dans indéfini (Chamaillé-Jammes & Miele, 2022). Le seuil choisi est 95%, ainsi seules les images pour lesquelles le logiciel est sûr à au moins 95% qu'elles sont vides seront classées comme telles, les autres seront classées soit dans une catégorie, soit dans indéfini. Comme le logiciel n'est pas entraîné à reconnaître des images d'amphibiens, on peut imaginer qu'il les classera dans indéfini.

Il faut également renseigner le délai maximum par séquence. Par exemple en renseignant un délai maximum par séquence de 20s les images prises à moins de 20 secondes d'intervalle seront dans une même séquence. Le logiciel travaille en deux temps, d'abord il analyse les images et prédit ce qu'il y a dessus. Ensuite il repasse les images et ajuste sa prédiction avec celles des autres images de la même séquence. Si par exemple une photo présente une patte de sanglier floue, la prédiction « sanglier » est faible au premier tour. Si sur les images qui suivent, le sanglier est net et entier, alors elles sont classées comme « Sanglier ». Si ces images ont été prises moins de 20s après la première, alors au deuxième tour, le logiciel prendra en compte cette information et prédira alors « Sanglier » avec un seuil de confiance plus élevé (Chamaillé-Jammes & Miele, 2022). Dans notre cas on peut considérer que les 3 images prises en rafale à chaque déclenchement représentent une séquence. De plus, nous avons discriminé les individus au-delà d'une période de 2 minutes lors du traitement manuel. Un délai de 20s permet donc de regrouper les images d'un même individu dans une même séquence.

En 2022 ces paramètres ont déjà été testés sur le lot d'images du TL60. Le nombre de faux négatifs était de 88% pour les détections d'amphibiens et de 55% pour les détections de micromammifères. Des résultats peu satisfaisants qui montrent que le logiciel n'est pas efficace pour détecter les amphibiens.

Cependant comme le logiciel est en constante évolution et il semble intéressant de réitérer l'opération cette année. En effet entre temps celui-ci a pu être entraîné avec des images d'amphibiens et mis à jour.

Il a donc été testé sur un lot de 10 000 images où ont été identifiés manuellement 99 évènements dont 18 amphibiens et 74 micromammifères répartis sur 3 980 images. Les résultats de ce test sont détaillés dans la partie « Résultats ».

ii. MotionMeerkat

MotionMeerkat est un logiciel gratuit capable de repérer les mouvements de faune dans une vidéo et d'extraire les images positives. Le logiciel est plus complexe d'utilisation que Deepfaune. Il est possible de jouer sur de nombreux paramètres et ainsi d'obtenir de meilleurs résultats. Les fonctions de chaque paramètre sont détaillées par Ben G. Weinstein, l'écologue qui a développé ce programme, dans son article : « MotionMeerkat : integrating motion video detection and ecological monitoring » (Weinstein, 2015). L'utilisation du logiciel peut être facilitée en visionnant les vidéos ou en regardant les conseils publiés sur son site internet : <http://benweinstein.weebly.com/motionmeerkat.html>.

Ben Weinstein a testé son programme pour étudier les interactions entre colibris et plantes dans la Réserve Maquipucuna et Santa Lucia Ecolodge au nord-ouest de l'équateur. Dans son article, il recommande de tester différents paramétrages sur un extrait de vidéo d'environ 2 minutes où un individu de notre taxon d'intérêt entre et sort du champ jusqu'à obtenir un taux de détection satisfaisant.

Le traitement semi-automatique est surtout utile pour traiter les images issues du time-lapse car c'est cette méthode qui en génère le plus. D'autre part, les images issues de méthodes actives comme la plaque ou la BIR ne sont pas prises à intervalle régulier. L'arrière-plan d'une image à l'autre est plus susceptible d'avoir changé qu'avec un time-lapse. J'ai donc appliqué la méthode recommandée par le scientifique sur un lot de 2 000 images issues du time-lapse à Hachette. Sur ce lot, 243 images sont pleines, dont 39 montrent un même urodèle qui s'approche du passage puis fait demi-tour. Le reste sont des images de micromammifères. 88% des photos de ce lot sont vides. Le logiciel SkyStudioPro a permis de fusionner ces images en une vidéo, qui a ensuite été convertie en format exploitable par MotionMeerkat (.avi) avec VirtualDub. Au total j'ai testé 17 configurations différentes (Annexe 3) dont deux ont permis d'obtenir des résultats intéressants. Le paramétrage de ces configurations ainsi que les résultats obtenus sont présentés dans le [Tableau 5](#).

Tableau 5 : Paramétrage des configurations 16 et 17 sur MotionMeerkat.

N° essai	Mvt background	Mvt organism	Min size object	Crop area ?	MOG / Acc	Adapt ?	Nb photos en sortie / 2 000	% abattage	Vrai + / 39 avec amphibien	Taux de détection des images d'amphibiens
16	1	0	0,01	non	MOG	Oui	632	68%	22	56%
17	2	0	0,01	non	MOG	Oui	283	86%	12	31%

La configuration numéro 16 a détecté 56% des images de l'unique amphibien et a permis d'éliminer 68% des images. La configuration 17 a quant à elle détecté 31% des 39 photos d'amphibiens et a permis d'éliminer 86% des images. L'utilisation d'un tel logiciel est envisageable si d'une part elle permet réduire significativement le temps de traitement des images en éliminant un maximum de photos vides et si, d'autre part, elle permet la détection d'au moins 95% des événements d'amphibiens. Les deux configurations ont permis d'identifier l'unique individu d'amphibien présent dans la vidéo. Le paramétrage 17 présente l'avantage de réduire grandement le nombre de photos à trier cependant son taux de détection inférieur à 50% laisse penser qu'un amphibien présent sur quelques images seulement ne serait peut-être pas détecté.

Ces deux configurations ont ensuite été testées sur un lot de 5 640 images où 31 amphibiens ont été identifiés, afin de comparer leur efficacité de détection. Bien que l'ensemble de la documentation présente MotionMeerkat comme un logiciel capable de traiter des vidéos, il est également possible de lui indiquer un répertoire contenant des photos. La création de vidéos à partir des images du time-lapse est une étape chronophage dont nous pouvons nous affranchir. Les résultats de la comparaison de ces deux configurations sur ce lot sont présentés dans la partie « Résultats ».

RÉSULTATS

I. Fréquentation des ouvrages par les amphibiens

Sur l'ensemble de la période de suivi, **49 amphibiens** ont été détectés par le time-lapse de 30 secondes au **crapauduc d'Hachette** avec un premier pic entre le 5 et le 7 avril avec 18 individus détectés et un deuxième entre le 10 et le 12 avril avec 28 individus détectés.

Au niveau du **passage hydraulique de Borre-Pradelles**, seul **un anoure** a été détecté la nuit du 9 au 10 mars. De ce résultat on peut émettre deux hypothèses :

- **Les amphibiens ne traversent pas l'ouvrage**, soit par ce qu'ils n'en ont pas besoin pour accéder à une mare, soit par ce que celui-ci n'est pas adapté à leur traversée. La discontinuité du substrat en terre oblige la faune à marcher à même le grillage. La traversée peut ainsi s'avérer périlleuse et énergivore pour les petits animaux comme les amphibiens qui peuvent tomber à travers les trous du grillage. La position du piège photographique permet uniquement de voir l'intérieur du passage, il nous est donc impossible d'avoir des informations sur la possible présence d'amphibiens aux abords du passage, qui refuseraient de traverser.
- **Les amphibiens traversent l'ouvrage** mais dans l'eau et n'ont pas été détectés par notre matériel. Il se peut aussi que la période de pose du matériel, du 01 au 13 mars et du 19 avril au 2 mai, n'ait pas couvert la période d'utilisation du passage.

Quelle qu'en soit la raison, ce manque de données de nous ne permet pas de comparer le matériel testé au niveau de cet ouvrage. Sauf précision contraire, les résultats présentés par la suite seront donc issus du suivi réalisé au crapauduc d'Hachette.

II. Méthodes de détection

Des exemples d'images générées par les différentes méthodes de détection sont donnés en Annexe 4.

a. Résultats bruts

Le **Tableau 6** présente le nombre d'individus détectés avec chacune des méthodes testées sur l'ensemble des sessions d'Hachette. Le time-lapse (témoin) a été déplacé entre la pose de la plaque à pressions et la barrière infrarouge et l'installation de la caméra thermique et la caméra infrarouge. En effet sur la période de test de la plaque et de la BIR, le time-lapse était positionné de telle manière qu'on voit l'entrée du crapauduc sur environ 1 mètre ainsi que l'intérieur sur les images. En revanche l'installation de la caméra thermique a nécessité l'utilisation d'un autre support de fixation, sur lequel il est impossible de fixer le piège photographique aussi bas. De ce fait, les images issues du time-lapse lors de la pose des caméras thermique et infrarouge ne laissent voir que l'intérieur du crapauduc. Si des amphibiens se sont approchés de l'entrée du crapauduc sans traverser, alors ils n'ont pas été détectés.

Tableau 6 : Nombre d'individus détectés selon le groupe taxonomique et le mode de détection.

Mode de détection	Anoure	Urodèle	Micromammifère	Mammifère de plus grande taille
TL30	15	34	207	2
Plaque à pression	0	0	4	1
TL30	1	19	138	1
Barrière IR	1	0	167	2
TL30	0	0	71	0
Caméra thermique	0	0	8	0
TL30	0	0	10	0
Caméra IR	0	1	13	0

En considérant que le TL30 est le témoin ayant détecté 100% des événements liés aux amphibiens, la plaque à pressions a alors détecté 0% de ces événements et la barrière infrarouge 5%. Ces résultats sont à prendre avec précaution car le time-lapse permet de détecter tous les individus de son champ de vision, ceux qui traversent le passage mais également ceux qui refusent de traverser. La plaque et la barrière infrarouge, positionnées à l'intérieur du crapauduc, détectent uniquement les individus qui traversent. Par la suite sont présentés les résultats en distinguant les individus qui ont traversé de ceux qui n'ont pas traversé.

Pendant le fonctionnement des caméras thermique et infrarouge, aucun amphibien n'a été détecté par le time-lapse. Il est donc impossible d'établir un taux de détection pour ces méthodes. Ces résultats seront tout de même discutés par la suite.

b. Sensibilité de la plaque à pressions

Le [Tableau 7](#) présente le nombre d'individus traversant le crapauduc détectés par le TL30 et la plaque à pressions.

Tableau 7 : Nombre d'individus traversant le crapauduc détectés par le TL30 et la plaque à pressions.

Taxon	TL30	Plaque à pressions
Anoure (10 à 25g)	4	0
Urodèle (1.5 à 7g)	2	0
Micromammifère (40 à 250g selon l'espèce)	48	4
Belette (30 à 250g)	0	1 (en journée)
Chat (4 à 5kg)	0	0
Blaireau (12kg)	0	1

Aucun des 6 amphibiens ayant traversé n'a été détecté par la plaque à pressions. Cette méthode de détection n'est donc pas adaptée au suivi de ce type de faune.

Concernant les micromammifères, le taux de détection de la plaque à pressions est également mauvais. Le nombre de traversées évaluées par le TL30 est de 48. Ce nombre est certainement sous-estimé en raison de la vitesse de déplacement des micromammifères. La plaque à pression n'a détecté que 4 micromammifères. Le taux de détection des micromammifères par la plaque à pressions est donc de 8.3% maximum.

La plaque a détecté une belette en dehors des heures de fonctionnement du time-lapse. Un blaireau a été détecté par la plaque mais pas par le time-lapse car il traversé l'ouvrage en moins de 30 secondes.

Pour conclure, la plaque n'est pas une méthode de détection efficace pour les amphibiens. Elle peut se révéler intéressante et présenter certains avantages pour le suivi d'un autre type de faune, de plus grande taille. Elle est très simple d'utilisation, dispose d'une grande autonomie (13 jours de fonctionnement sans interruption) et présente un faible taux de faux-positifs. Toutefois, cette méthode ne permet pas d'étudier le comportement des individus.

c. Détection des traversées par la BIR

Le [Tableau 8](#) présente le nombre d'individus traversant l'ouvrage détectés par le TL30 et la barrière infrarouge. L'amphibien détecté à Borre-Pradelles est également pris en compte.

Tableau 8 : Nombre d'individus traversant l'ouvrage détectés par le TL30 et la BIR.

Taxon	TL30	BIR
Anoure à Borre-Pradelles	1	1
Anoure à Hachette	1	1
Urodèle à Hachette	1	0
Micromammifère	26	167
Mammifère de plus grande taille	1	2

Le seul amphibien détecté à Borre-Pradelles est un crapaud commun (*Bufo Bufo*). Le TL30 comme la barrière infrarouge l'ont capturé. Sur la période de fonctionnement de la BIR au crapauduc d'Hachette (le 29 mars et du 03 au 09 avril), 2 amphibiens seulement ont traversé l'ouvrage. L'anoure a été détecté par la BIR, en revanche, l'urodèle est passé juste derrière le réflecteur, sur la paroi de l'ouvrage, et n'a pas été détecté par celle-ci. Les mammifères qui ont traversé le crapauduc ont été mieux détectés par la BIR que par le time-lapse.

Ainsi, au vu des résultats obtenus, la barrière infrarouge se révèle efficace pour la détection de tout type de faune. Malgré leur petite taille, si la BIR est bien installée au ras du sol et sur la totalité de la largeur du passage, ils sont détectés de manière efficace. Cette affirmation est toutefois à nuancer par la faible quantité de données récoltée qui ne nous permet pas de faire d'analyse statistique pour vérifier la significativité des résultats. Pour les espèces plus rapides, le taux de détection de la BIR est meilleur que celui du time-lapse de 30 secondes. Par exemple, le TL30 a permis de détecter 138 micromammifères dont 26 au moins ont traversé l'ouvrage. La BIR, quant à elle, a détecté 167 individus ayant traversé. Tout comme la plaque à pressions, cette méthode ne permet pas d'étudier le comportement des individus lents, contrairement au TL30. En revanche elle est bien plus sélective que le time-lapse et présente beaucoup moins de photos vides. Le Tableau 9 permet de comparer les données collectées par les deux méthodes.

Tableau 9 : Synthèse des données du TL30 et de la barrière infrarouge.

Méthode de détection	Nombre total d'images	% de négatifs (photos vides + doublons d'un même individu)	Nombre d'amphibiens détectés	Temps de traitement
TL30	23 701	99.3	20	5h08
BIR	831	77.5	1	11 min

Le TL30 a généré une très grande quantité d'images, 28 fois plus que la barrière infrarouge. Cette méthode a permis de détecter 20 amphibiens, dont la majorité (90%) n'a pas traversé l'ouvrage. A raison d'un traitement manuel de l'ordre de 13 min/1 000 photos, le temps qui a été consacré au traitement de ces images s'élève à 5h08. La barrière infrarouge a généré beaucoup moins d'images mais n'a détecté qu'un seul amphibien. Le temps consacré au traitement de ces images est de 11 min.

Pour conclure, la BIR permet de détecter efficacement les amphibiens qui traversent un ouvrage. Ce matériel est facile à prendre en main et à installer sur le terrain et il est accessible à un prix abordable (660€ pour l'ensemble du dispositif). Son utilisation nécessite tout de même la présence d'un agent une à deux fois par semaine lorsqu'elle est alimentée par une batterie de 12V. Il est préférable de disposer de plusieurs batteries afin de pouvoir remplacer celle du terrain régulièrement.

Enfin, cette méthode de détection ne permet pas d'analyser le comportement des individus et de dénombrer ceux qui refusent de traverser. On recommandera donc l'utilisation d'une barrière infrarouge lorsque l'objectif de l'étude est de compter le nombre d'amphibiens utilisant le passage, à l'image des pitfalls. La préparation du terrain est moins contraignante avec l'utilisation d'une barrière infrarouge, de même que l'implication humaine pendant l'étude. Les animaux ne sont pas manipulés

et ne subissent pas un stress comme c'est le cas avec les méthodes de détection classiques. Cette méthode ne permet en revanche pas de récolter autant d'informations sur les individus que les pitfalls, notamment l'espèce. En effet la qualité des pièges photographiques ne permet pas, dans la majorité des cas, une identification à l'espèce (Figure 19). Afin d'identifier plus facilement la petite faune qui traverse l'ouvrage, il peut être envisageable de fixer le piège photographique au plafond de l'ouvrage de manière à photographier les individus par le haut ou de remplacer le boîtier photo (avec un boîtier type Reflex par exemple).



Figure 19 : Anoure détecté par la BIR. La qualité de l'image ne permet l'identification à l'espèce.

c. Efficacité de détection de la caméra thermique

La caméra thermique a été configurée de façon à détecter les individus à l'intérieur du crapauduc seulement. L'entrée du crapauduc a été mise en zone d'exclusion (température de cette zone non prise en compte pour le déclenchement des alarmes) car la plaque en métal (couverture de la fosse de comptage) induisait de fortes variations de température (Figure 20). Le coin supérieur gauche de l'entrée du crapauduc (zone 5) et la végétation sur la droite (zone 6) ont également été mises en exclusion car elles sont plus fraîches que l'intérieur du crapauduc. Cela permet de limiter le nombre d'enregistrements vides et d'économiser la batterie de la caméra. Cependant, un individu présent à l'entrée du crapauduc n'est par conséquent pas détecté, comme le micromammifère sur la Figure 20. La zone 1 est la plus chaude de l'image et la zone 2 la plus froide, ces zones se déplacent. Quand la température de l'une des deux présente une différence de plus de deux degrés avec celle de la température ambiante, la caméra enregistre une vidéo. Ici, c'est la végétation qui a déclenché l'enregistrement.

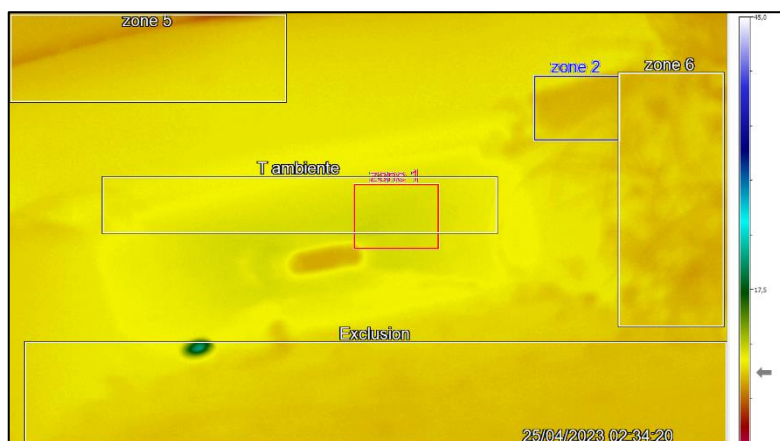


Figure 20 : Capture d'écran d'une vidéo générée par la caméra thermique.

Le Tableau 10 présente le nombre d'amphibiens et de micromammifères détectés par le TL30 et la caméra thermique au crapauduc d'Hachette. Le piège photographique du time-lapse était positionné de telle manière que seul l'intérieur du crapauduc est visible sur les images, ce qui peut expliquer qu'aucun individu n'ai été détecté (du 3 au 9 avril, seuls 10% des individus détectés ont traversé l'ouvrage).

Tableau 10 : Nombre d'individus traversant l'ouvrage détectés par le TL30 et la caméra thermique.

Taxon	TL30	Caméra thermique
Amphibien	0	0
Micromammifère	71	8
NA	10	1

Aucun amphibien n'a été détecté à l'intérieur du crapauduc par le TL30 ni par la caméra thermique. La caméra infrarouge en revanche a permis de détecter un urodèle à l'entrée de l'ouvrage le 25/04 à 00h38 (voir partie suivante). Sur la vidéo on voit que l'urodèle se déplace sur la plaque métallique à l'entrée du crapauduc, zone mise en exclusion. Il n'a donc pas été détecté par la caméra thermique et il est impossible de savoir s'il aurait été détecté sans l'exclusion de la zone. Le taux de détection des micromammifères avec la caméra thermique est de 11% seulement par rapport au TL30.

Les données collectées ne permettent pas de déterminer le taux de détection des amphibiens par la caméra thermique. Toutefois les contraintes rencontrées lors de la mise en œuvre de cette méthode sur le terrain nous encouragent à l'écarter pour la détection automatisée des amphibiens. Son utilisation est complexe (trois jours de prise en main du logiciel, création de zones d'exclusion, matériel énergivore et autonomie de la batterie difficile à anticiper) de même que le traitement des vidéos (visionnage avec le logiciel Optris Connect uniquement et images thermiques rendant difficile l'identification des événements). L'obstacle majeur de son utilisation est la définition de la température d'alarme. Le caractère ectotherme des amphibiens nécessite un matériel capable de détecter de faibles variations de température mais les conditions environnementales induisent une variabilité constante de la température. A ce jour, il semble que ce matériel ne soit pas adapté pour la détection de ce type de faune en milieu non contrôlé.

d. Efficacité de détection de la caméra IR

La nuit du 13 au 14 avril, la caméra infrarouge installée à Saint-Martin-le-Noëud a permis de détecter un triton allant se réfugier dans une anfractuosité de la paroi de la buse. Le TL30, fixé au plafond de la buse est resté coincé et les données n'ont pas pu être récupérées. Toutefois, si le time-lapse avait été positionné de façon à voir l'entrée de la buse, le triton aurait été détecté car il est resté 2 min 30 à l'entrée.

Le [Tableau 11](#) présente le nombre d'individus détectés par le TL30 et la caméra IR entre 22h04 et 00h51 la nuit du 24 au 25 avril au crapauduc d'Hachette.

Tableau 11 : Nombre d'individus détectés par le TL30 et la caméra IR la nuit du 24 au 25 avril au crapauduc d'Hachette.

Taxon	TL30	Caméra IR
Anoure	0	0
Urodèle	0	1
Micromammifère	11	13

La position du piège photographique en time-lapse ne permet pas de voir l'entrée du crapauduc, c'est pourquoi l'urodèle détecté par la caméra IR n'a pas été détecté par le TL30. L'amphibien est resté devant l'entrée de l'ouvrage 8 minutes, il aurait donc été détecté par le TL30 si celui-ci avait été installé de façon à voir l'entrée du passage.

L'avantage de l'utilisation de la caméra pour la détection d'amphibiens est qu'elle permet d'étudier le comportement des individus en continu et si la qualité d'image est bonne, de détecter 100% des événements. Toutefois ce matériel est environ deux fois plus coûteux qu'un piège photographique classique, présente une moins bonne autonomie (3h contre 5 jours en TL30) et demande une grande capacité de stockage. Concernant le temps de traitement, les 2h47 de vidéo enregistrées par la caméra thermique ont nécessité 1h51 de visionnage en vitesse 1.5 tandis que les photos du TL30 prises sur cette durée ont été traitées en 13 minutes. Il faudrait visionner les vidéos de la caméra IR en vitesse 12.8 pour être aussi efficace que pour le traitement du TL30 mais il y aurait alors un gros risque de manquer des informations.

Au vu du temps d'apparition des amphibiens dans le champ de la caméra à St-Martin-le-Nœud comme à Hachette, le TL30 aurait été capable de détecter les individus. De plus, l'utilisation de cette méthode nécessite un temps de traitement supérieur à celui du TL30. Le traitement des données de plusieurs nuits d'enregistrement se révélerait très chronophage. Par exemple, le traitement manuel de 10 nuits d'enregistrement représenterait quasiment 128h avec un visionnage à vitesse 1.5 et en prenant en compte le temps d'identification des individus. Le pré-traitement automatisé de ces données pourrait permettre de réduire considérablement le temps dédié au traitement des vidéos. Le logiciel MotionMeerkat a été testé sur les vidéos de la caméra infrarouge et les résultats sont présentés dans la suite de ce rapport.

Une alternative à l'utilisation d'une caméra type caméscope, onéreuse et difficilement sécurisable sur le terrain a été proposée par l'équipe biodiversité en 2022 : le Raspberry Pi. Un Raspberry Pi est un micro-ordinateur programmable en langage Python. Des modules peuvent y être ajoutés comme une petite caméra infrarouge. En théorie, cette technologie pourrait être utilisée pour la détection des amphibiens car elle présente l'avantage d'être abordable (moins de 400€) et elle est compacte et facile à installer sur le terrain. En théorie il doit être possible de programmer l'enregistrement de vidéos sur une plage horaire spécifique, ce qui permettrait d'optimiser la batterie et l'espace de stockage. Lors de mon stage j'ai eu l'occasion de manipuler un Raspberry Pi et de comprendre le principe de son utilisation. Par manque de temps et de compétences en codage informatique, je n'ai pas essayé ce matériel sur le terrain. Pour autant, il semble que ce soit une piste très intéressante à approfondir. Si l'utilisation de ce type de matériel est accessible à tous, que la qualité de la vidéo permet d'identifier correctement les événements et qu'il est possible d'optimiser la batterie et l'espace de stockage, alors cette méthode pourrait être pertinente pour la détection des amphibiens en déplacement.

e. Détection par le TL30 et taux d'utilisation du crapauduc d'Hachette

Le piège photographique en time-lapse de 30 secondes a été pris comme référence pour chaque comparaison de matériel. Cette méthode est plus efficace que la plaque à pression pour détecter les amphibiens. Elle est plus simple d'utilisation et plus adaptée aux contraintes du terrain que la caméra thermique. Elle peut-être moins précise que la barrière infrarouge pour détecter les individus qui traversent l'ouvrage mais permet de détecter les individus qui se présentent à l'entrée du passage sans traverser et d'analyser leur comportement. Sur ces deux derniers points le TL30 semble néanmoins moins précis que la caméra infrarouge.

La caméra IR et le time-lapse sont donc les seules méthodes qui permettent d'étudier le comportement des amphibiens et de calculer de taux d'utilisation d'un ouvrage (nombre d'amphibiens traversant l'ouvrage sur le nombre total d'amphibiens détectés). Ce genre d'information est essentiel pour évaluer la fonctionnalité d'un ouvrage. Les résultats obtenus peuvent permettre de mieux comprendre les besoins des amphibiens, de chercher et solutionner les causes des potentiels refus d'utilisation de l'ouvrage par ceux-ci.

Le taux d'utilisation du crapauduc d'Hachette par les amphibiens en 2023 est de 12% seulement (26.7% pour les anoues et 5.7% pour les urodèles). La nature du substrat (béton), la présence de prédateurs (rats) et les pollutions sonore et lumineuse induites par la route peuvent expliquer le refus d'utilisation du crapauduc par les amphibiens. L'ajout d'un substrat naturel comme de la terre végétale et la suppression de l'éclairage nocturne sur une portion de route pendant la période de reproduction sont des exemples d'actions qu'il est possible de réaliser pour favoriser le passage des amphibiens dans l'ouvrage.

f. Synthèse de la comparaison des méthodes de détection

Le [Tableau 12](#) synthétise les éléments détaillés ci-dessus.

Tableau 12 : Position des méthodes de détection par rapport aux principaux critères de comparaison.

Critère / Méthode de détection	Plaque à pressions	Barrière infrarouge	Caméra thermique	Caméra infrarouge	TL30	Pitfalls
Risque pour la faune				?		
Mise en place						
Effort de maintenance						
Détection des amphibiens traversant l'ouvrage			NA			
Évaluation du taux d'utilisation de l'ouvrage			NA			
Temps nécessaire au traitement des données						
Informations sur les individus						
Coût financier						

Très négatif	Négatif	Moyen	Positif	Très positif
--------------	---------	-------	---------	--------------

De manière générale, les méthodes de détection automatisées sont moins intrusives que les approches de suivi traditionnelles. La méthode des pitfalls induit un fort stress chez les animaux et peut parfois entraîner la mort d'individus. A ma connaissance et celle de mes collègues, les effets de la lumière infrarouge sur la faune n'ont pas été étudiés mais il est pertinent de se questionner sur son impact éventuel. L'utilisation de méthodes de suivi automatisées contribue également à réduire la charge de travail sur le terrain, à l'exception notamment de la caméra infrarouge en continu, qui présente une autonomie limitée. Cependant, il convient de noter que les informations recueillies à l'aide de méthodes automatisées sont généralement de moindre qualité par rapport aux approches de suivi classiques. Dans la plupart des cas, l'identification des amphibiens se limite à leur ordre. Les images de qualité insuffisante ne permettent pas d'identifier chaque individu distinctement⁸. Ainsi, le traitement automatisé se révèle peu adapté pour un suivi précis des espèces. De plus, un même individu peut être comptabilisé à plusieurs reprises s'il sort temporairement du champ de l'image et y revient après une période de plus de deux minutes.

Le time-lapse de 30 secondes et la caméra infrarouge offrent la possibilité d'évaluer le taux d'utilisation d'un ouvrage. Toutefois, la contrainte majeure réside dans le temps requis pour traiter les données. Le traitement automatisé peut permettre d'optimiser cette étape. Les résultats de la comparaison de trois méthodes de traitement (manuelle, automatique et semi-automatique) sont détaillés dans la partie suivante.

III. Logiciels de traitement des données

a. Traitement manuel

Le Tableau 13 reprend le nombre d'images prises par le TL30 entre le 03 et le 12 avril à Hachette ainsi que le temps dédié au traitement manuel. Il reprend également la durée de vidéo enregistrée par la caméra infrarouge la nuit du 24 au 25 avril et le temps de traitement qui a été nécessaire (visionnage en vitesse 1.5 et identification des évènements).

⁸ Il est aujourd'hui possible de remplacer les pièges photographiques par des boîtiers reflex. Ces derniers peuvent être associés à des mécanismes de déclenchement extérieurs, tout comme les pièges photographiques, et ils peuvent être réglés pour fonctionner en mode time-lapse (Teillagorry, 2022c).

Tableau 13 : Quantité de données collectées par le TL30 et la caméra IR et temps dédié au traitement manuel.

Méthode de détection	Plage de temps couverte	Quantité de données	Temps de traitement manuel
TL30	9 nuits	35 640 photos	7h43
Caméra IR	2h47	2h47 de vidéos	3h14

b. Deepfaune

Comme expliqué dans la partie « Matériels et Méthodes », le logiciel Deepfaune a été testé sur un lot de 10 000 images du TL30. Sur ces 10 000 images, 3 980 sont pleines (avec un animal) dont 213 sont des images d'amphibiens. Sur ces 213 images seulement 3 ont été classées dans « indéfini », toutes les autres ont été classées dans « vide » avec un seuil confiance supérieur à 95%. Les résultats sont présentés dans le [Tableau 14](#).

Tableau 14 : Résultats du traitement de 10 000 images du TL30 par Deepfaune.

	Amphibiens	%	Micromammifères	%
Vrais positifs	3	1.4	171	66.5
Faux négatifs (Erreurs de type II)	210	98.6	86	33.5
Total positifs manuel	213		256	

Avec 98.6% de faux négatifs (images classées dans « vide » à tort) le logiciel Deepfaune ne s'est pas amélioré depuis 2022 pour la détection des amphibiens. Pour les micromammifères, les résultats sont plus encourageants avec 33.5% de faux négatifs en 2023 contre 55% en 2022. A l'heure actuelle le logiciel n'a pas été entraîné à reconnaître les amphibiens sur des images. Pour l'entraîner, il est nécessaire de fournir des milliers d'images dans des contextes variés avec un amphibien dessus. On peut imaginer qu'une fois entraîné, le logiciel serait un bon outil pour trier les images d'amphibiens.

c. MotionMeerkat

i. Pré-traitement des données du time-lapse

Un lot de 5 640 images, avec des amphibiens a été pré-traité avec MotionMeerkat. Les configurations 16 et 17 ([Tableau 5](#)) ont été comparées. Les résultats sont présentés dans le [Tableau 15](#).

Tableau 15 : Résultats de la comparaison des configurations 16 et 17 sur 5 640 images.

Anoures	Urodèles	Taux de détection des amphibiens (%)	
		Configuration 16	Configuration 17
14	17	100	96.8

Sur les 31 amphibiens présents sur les 5 640 images traitées, les deux configurations présentent des résultats satisfaisants avec un taux de détection des individus supérieur à 95%. La configuration 16 permet un meilleur taux de détection mais nécessite un temps de traitement manuel postérieur plus conséquent.

Le temps consacré au pré-traitement de 2 000 images par MotionMeerkat est de 4 minutes en moyenne (copie des données en local + traitement). La comparaison des temps de pré-traitement sur 10 nuits avec les configurations 16 et 17 de MotionMeerkat est présentée dans le [Tableau 16](#).

Tableau 16 : Temps dédié au traitement des images de 10 nuits d'enregistrement en TL30, avec MotionMeerkat et manuellement.

10 nuits	Configuration 16	Configuration 17	Sans MotionMeerkat
Préparation et pré-traitement avec MotionMeerkat	1h19	1h19	0
Traitement manuel	2h21	1h22	8h35
Temps de traitement global	3h40	2h41	8h35

La configuration 16 permet donc de détecter 100% des amphibiens et de réduire de 72.7% le temps humain nécessaire au traitement des images. La configuration 17 permet de détecter 96.8% des amphibiens et réduit de 84.1% le temps de traitement manuel. L'utilisation de MotionMeerkat semble donc prometteuse pour la détection d'amphibiens dans des images de time-lapse. Notamment la configuration 16 qui permet de détecter tous les individus, c'est-à-dire aussi précisément qu'un observateur. Le logiciel est capable d'encadrer les mouvements qu'il identifie, ce qui facilite grandement le repérage lors du traitement manuel (Figure 21).



Figure 21 : Exemple de détection d'un triton par MotionMeerkat.

Néanmoins, il est essentiel de préciser que ce paramétrage optimal a été défini pour la détection des amphibiens au crapauduc d'Hachette. Les résultats ne seront pas forcément aussi pertinents pour un autre site. En effet, selon l'environnement dans lequel ont été prises les photos, il pourrait être nécessaire d'ajuster certains paramètres, en particulier l'indice de mouvement de l'arrière-plan. Par conséquent, il est important de tenir compte également du temps investi dans la recherche de la configuration optimale.

ii. Pré-traitement des données de la caméra infrarouge

Les paramétrages utilisés pour les images du TL30 ont été testés sur les enregistrements de la caméra IR la nuit du 24 au 25 avril. Les deux configurations ont permis d'identifier l'urodèle. Au total, il a fallu 6h22 de traitement à MotionMeerkat pour traiter les 2h47 d'enregistrement de la caméra infrarouge. Le traitement manuel de ces vidéos a nécessité 3h14 (visionnage en vitesse 1.5 et indentation des événements). MotionMeerkat extrait les images de la vidéo sur lesquelles il identifie un mouvement. Le traitement manuel des images restantes se fait donc avec un logiciel de traitement de photos comme ExifPro. Avec la configuration 16, le temps de traitement manuel restant est de 1h03 et il est de 58 minutes avec la configuration 17. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les résultats obtenus pour le traitement de 10 nuits d'enregistrement.

Tableau 17 : Temps de traitement nécessaire pour 10 nuits d'enregistrement avec la caméra IR.

10 nuits (110h)	Configuration 16	Configuration 17	Sans MotionMeerkat
Préparation et pré-traitement avec MotionMeerkat	251h37	251h37	0
Traitement manuel	41h31	38h12	127h47
Temps de traitement global	293h08	289h49	127h47

Les vidéos de la caméra infrarouge contiennent beaucoup plus d'images que celles créées à partir du time-lapse, c'est pourquoi elles sont beaucoup plus longues à traiter par MotionMeerkat. Ce temps ne nécessite pas la présence d'un opérateur contrairement au traitement manuel. Ce dernier est d'ailleurs réduit de 67.5% avec la configuration 16 et de 70.1% avec la configuration 17. Malgré cette réduction

permise grâce au pré-traitement automatisé par MotionMeerkat, le traitement manuel des données restantes est 17.7 à 28 fois plus long pour la caméra IR que pour le TL30.

En conclusion, l'avantage de la caméra infrarouge réside dans sa capacité à enregistrer de manière continue, permettant ainsi l'observation des comportements individuels et la mesure précise de l'utilisation d'un passage sur une période donnée. Cependant, cette méthode engendre une énorme quantité de données et le temps requis pour leur traitement, même en partie automatisé, est considérable. En conséquence, l'emploi d'une caméra infrarouge ne se révèle pas approprié pour un suivi dans le temps de l'utilisation d'un ouvrage par les amphibiens. Néanmoins, elle peut être employée de façon plus ponctuelle afin d'obtenir des informations précises sur les comportements individuels si nécessaire.

Le TL30 produit des résultats pertinents lorsqu'il est positionné à une distance d'environ un mètre de l'entrée du passage, car il parvient à détecter la majorité des amphibiens (80% de ceux détectés par le TL15 (Teillagorry, 2022c)). Cette méthode permet également d'étudier le comportement des individus et ainsi de calculer le taux d'utilisation du passage.

L'utilisation d'un logiciel de pré-traitement automatisé des données contribue à réduire significativement le temps nécessaire au traitement manuel des images (jusqu'à 84.1%). Cependant, il est essentiel d'effectuer au préalable des tests afin de configurer les paramètres du logiciel MotionMeerkat. La configuration obtenue se révèle adéquate pour le passage étudié à une période précise. Cependant, cette configuration peut ne pas demeurer pertinente si le contexte environnemental évolue autour du passage (par exemple, en raison de la croissance de la végétation) ou pour un autre site.

d. Synthèse de la comparaison des logiciels de traitement de données

Le [Tableau 18](#) synthétise les avantages et les inconvénients des logiciels de traitement comparés.

Tableau 18 : Synthèse des avantages et inconvénients des méthodes de traitement testées.

	Traitement manuel avec ExifPro	Traitement automatique avec Deepfaune	Pré-traitement semi- automatique avec MotionMeerkat
Avantages	Taux de détection	Identification de certains taxons	Taux de détection Optimise le temps de traitement Pas de biais observateur
Inconvénients	Temps de traitement Biais observateur	Ne détecte pas les amphibiens	Configuration propre à un site et à une période donnée

CONCLUSION

L'objectif de l'étude Amphilapse est de proposer un **protocole opérationnel** à destination des **gestionnaires d'infrastructures de transport**. A l'issue des campagnes de comparaison de méthodes de détection automatisées de 2022 et 2023, plusieurs protocoles peuvent être retenus selon les objectifs de l'étude menée sur l'ouvrage. Ils sont détaillés ci-après.

- Pour un suivi dans le temps de la **fonctionnalité d'un ouvrage**, l'utilisation d'un piège photographique en **time-lapse de 30 secondes**, couplé avec un **pré-traitement avec MotionMeerkat** semble la meilleure solution. Dans ce cas, on souhaite connaître le nombre d'amphibiens qui traversent et qui ne traversent pas, pour essayer de comprendre leurs besoins. Le piège photographique sera posé pendant la toute la période de migration prénuptiale et sera orienté de manière à voir l'intérieur et l'entrée de l'ouvrage.
- Pour une **étude ponctuelle des comportements des amphibiens** aux abords d'un ouvrage, on pourra utiliser une **caméra infrarouge en continu**. Un **traitement manuel** des vidéos permettra d'identifier précisément le comportement des amphibiens. La caméra sera installée quelques nuits pendant la période de migration et orientée de manière à voir l'intérieur et l'entrée de l'ouvrage.
- Pour **quantifier les traversées** d'un ouvrage par les amphibiens, on pourra installer une **barrière infrarouge** à chaque extrémité de l'ouvrage. Cela permettra de différencier les amphibiens qui ont totalement traversé l'ouvrage de ceux qui ont fait demi-tour. Les photos pourront être **traitées manuellement**. La barrière-infrarouge sera installée pendant toute la période de migration prénuptiale.

PERSPECTIVES

Toutefois on peut imaginer une suite à l'étude Amphilapse. Les observations qui ont été faites tout au long de sa mise en œuvre m'ont permis de dégager quelques perspectives intéressantes pour sa poursuite. Toujours dans un objectif de proposer une solution la plus opérationnelle en réponse aux contraintes des gestionnaires, je propose pour 2024 :

- De tester les méthodes de détection sélectionnées sur d'autres ouvrages dédiés et non dédiés afin de mettre en lumière les spécificités de terrain qui peuvent être rencontrées selon le type d'ouvrage.
- De tester l'utilisation des Raspberry Pi sur le terrain. Si la qualité d'image et l'autonomie sont suffisantes, ils pourraient être une bonne alternative à la caméra infrarouge classique. Toutefois il sera nécessaire de se renseigner sur les potentiels effets néfastes des rayons infrarouges sur la faune.
- D'envoyer nos données photos d'amphibiens au CNRS pour contribuer à l'entraînement du logiciel. C'est avec la participation de nombreux acteurs que le logiciel s'améliore et sera peut-être capable d'identifier les amphibiens sur des images de pièges photographiques. Une fois entraîné, le logiciel pourra de nouveau être testé pour l'identification des amphibiens.

Mes recherches bibliographiques m'ont également permis d'entrevoir deux autres perspectives :

- Le liège est un matériau isolant dont la température ne varie quasiment pas. Plusieurs études ont été réalisées sur l'utilisation de plaques de lièges pour la détection de la faune, notamment des squamates comme celle de Welbourne et al. (2017). Il est envisageable d'utiliser ce

matériel pour la détection des amphibiens, avec un piège photographique en mode PIR comme dans l'étude de Welbourne et al. (2017), ou en utilisant la caméra thermique.

- L'écologue à l'origine de MotionMeerkat a récemment développé un autre programme : DeepMeerkat. D'après mes brèves recherches, celui-ci serait capable d'identifier certains taxons, à l'image de Deepfaune. Il serait intéressant de tester ce logiciel également.

APPORTS PERSONNELS DU STAGE

Ce stage de fin d'études au sein du groupe Risques, Eau et Biodiversité du département Territoire, Écologie, Énergie et Risques du Cerema Hauts-de-France a été une immersion complète dans le métier de chargée d'études en biodiversité et aménagement du territoire. Mon stage de quatrième année en bureau d'étude naturalise au pôle Écologie, Restauration et Conservation des Écosystèmes m'avait permis d'acquérir des compétences variées notamment dans le domaine de l'assistance à maîtrise d'ouvrage (études d'impacts, mesures ERC) mais aussi en tant que naturaliste. J'avais lors de ce stage développé un intérêt pour l'herpétologie et participé à plusieurs inventaires de reptiles. Cet intérêt a motivé ma candidature pour ce stage de dernière année visant à optimiser les méthodes de détection des amphibiens en déplacement.

Durant ce stage j'ai développé mes connaissances sur l'écologie des amphibiens et sur les méthodes d'inventaires et mesuré les impacts de l'aménagement du territoire sur la biodiversité. Bien que déjà sensibilisée à ce sujet j'évalue désormais mieux les enjeux de la conservation et du développement durable. J'ai également acquis des compétences en gestion de projet. J'ai bénéficié d'une confiance totale de la part de mon encadrante, ce qui a grandement contribué à mon investissement et à mon épanouissement dans le projet. J'ai pu gérer mon travail de façon autonome, tout en lui rendant compte de mon avancement tout au long de mon stage. Les discussions d'équipe ont été des moments d'échange riches m'ont permis d'avancer et de solutionner certaines difficultés. A la fin de mon stage j'ai également eu l'occasion de réaliser une présentation orale de mon travail auprès de mes collègues. Je leur ai également proposé une rapide formation à l'utilisation des logiciels Deepfaune et MotionMeerkat que j'ai manipulés lors de mon stage.

Les différentes phases de mon stage m'ont permis de mobiliser des compétences variées avec et la mise en œuvre des protocoles, la planification des sorties et la mise en place du matériel sur le terrain, le traitement des données, l'analyse critique des résultats et la rédaction du compte rendu.

En somme, mon stage en immersion dans le métier de chargée d'étude en aménagement et biodiversité a été une expérience formatrice et inspirante. Les activités auxquelles j'ai participé m'ont enthousiasmée et ont renforcé mon désir de poursuivre une carrière dans ce domaine. Je suis déterminée à rechercher des opportunités similaires au sein de structures publiques, dans le but de contribuer davantage à la préservation de l'environnement et au développement durable.

BIBLIOGRAPHIE

- Bikic, D., Darko, K., Benkovic, V., Horvat Knežević, A., Tadic, Z., Skolnik-Gadanac, K., & Orsolic, N. (2011). Use of thermography in studies of thermodynamics in frogs exposed to different ambiental temperatures. *Proceedings Elmar - International Symposium Electronics in Marine*.
- Boglioli, M. D., Guyer, C., & Michener, W. K. (2003). Mating Opportunities of Female Gopher Tortoises, *Gopherus polyphemus*, in Relation to Spatial Isolation of Females and Their Burrows. *Copeia*, 2003(4), 846-850. <https://doi.org/10.1643/h202-009.1>
- Cerema. (2019). *Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre*. Cerema. <http://www.cerema.fr/fr/actualites/amphibiens-dispositifs-franchissement-infrastructures>
- Cerema. (2021). *Demande de Participation Financière—Étude sur les dispositifs de suivi des amphibiens lors des traversées d'infrastructures de transport*.
- Cerema.fr. (s. d.). Cerema. Consulté 7 août 2023, à l'adresse <http://www.cerema.fr/fr/cerema>
- Chamaillé-Jammes, S., & Miele, V. (2022). *Manuel d'utilisation du logiciel Deepfaune*.
- Charlet, F. (2014). *Retour d'expérience d'une opération de sauvegarde des amphibiens en Avesnois*.
- Cilulko, J., Janiszewski, P., Bogdaszewski, M., & Szczygielska, E. (2013). Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research*, 59(1), 17-23. <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0688-1>
- Clevenger, A. P., Ford, A. T., & Sawaya, M. A. (2009). *Banff Wildlife Crossings Project : Integrating science and education in restoring population connectivity across transportation corridors Clevenger-et-al-2009-Banff-wildlife-crossings-project.pdf*. 166.
- Cline : *Définition et explications*. (s. d.). AquaPortail. Consulté 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.aquaportail.com/definition-11344-cline.html>
- Cooke, A. (1976). Spawning dates of the frog (*Rana temporaria*) and the toad (*Bufo bufo*) in Britain. *Br J Herpetol*, 5, 585-589.

- Daszak, P., Strieby, A., Cunningham, A. A., Longcore, J. E., & Porter, C. C. B. A. D. (2004). Experimental evidence that the bullfrog (*Rana catesbeiana*) is a potential carrier of chytridiomycosis, an emerging fungal disease of amphibians. *Herpetological Journal*, 14(4), 201-207.
- Elzanowski, A., Ciesiołkiewicz, J., Kaczor, M., Radwańska, J., & Urban, R. (2009). Amphibian road mortality in Europe : A meta-analysis with new data from Poland. *European Journal of Wildlife Research*, 55(1), 33-43. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0211-x>
- Fagart, S., Quaintenne, G., Chavaren, P., & Heurtebise, C. (2016). *Retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroute*. https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/rapport_rex_fr-vinci_web.pdf
- Gabion. (2022). In *Wikipédia*. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Gabion&oldid=198050767>
- Haklay, M. (2013). Citizen Science and Volunteered Geographic Information : Overview and Typology of Participation. In D. Sui, S. Elwood, & M. Goodchild (Éds.), *Crowdsourcing Geographic Knowledge : Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice* (p. 105-122). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_7
- Hels, T., & Buchwald, E. (2001). The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, 99(3), 331-340. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00215-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00215-9)
- Huijser, M. P., Holland, T. D., Blank, M., Greenwood, M. C., McGowen, P. T., Hubbard, B., & Wang, S. (2009). *The Comparison of Animal Detection Systems in a Test-Bed : A Quantitative Comparison of System Reliability and Experiences with Operation and Maintenance Final report*.
- Jackson, R. M., Roe, J. D., Wangchuk, R., & Hunter, D. O. (2005). *Camera-trapping of snow leopards*. 42, 19-21.
- Johnson, V. M., Guyer, C., & Boglioli, M. D. (2007). Phenology of Attempted Matings in Gopher Tortoises. *Copeia*, 2007(2), 490-495. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2007\)7\[490:POAMIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2007)7[490:POAMIG]2.0.CO;2)

- Karanth, K. U., & Nichols, J. D. (1998). *Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures*. 79(8).
- Le Robert. (s. d.). *Les éditions Le Robert et Google*. Consulté 24 juillet 2023, à l'adresse <https://dictionnaire.lerobert.com/google-dictionnaire-fr>
- Leeb, C., Ringler, M., & Hödl, W. (2013). *A high-quality, self-assembled camera trapping system for the study of terrestrial poikilotherms tested on the Fire Salamander*. 23, 164-171.
- Lerone, L., Carpaneto, G. M., & Loy, A. (2015). Why camera traps fail to detect a semi-aquatic mammal : Activation devices as possible cause: Camera-Trapping of Eurasian Otter. *Wildlife Society Bulletin*, 39(1), 193-196. <https://doi.org/10.1002/wsb.508>
- Lescure, J., & de Massary, J.-C. (2012). *Atlas des Amphibiens et Reptiles de France* (Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris).
- Maier, T., MARCHAND, M., DEGRAAF, R., & Litvaitis, J. (2002). A Subterranean Camera Trigger for Identifying Predators Excavating Turtle Nests. *Herpetological Review*, 33, 284.
- Marcot, B., Lorenz, T., Fischer, P., Weinstein, B., & Cowell, S. (2019). Efficacy of automated detection of motion in wildlife monitoring videos. *Wildlife Society Bulletin*, 43. <https://doi.org/10.1002/wsb.1016>
- Optris. (s. d.). *Caméras IR optris PI 400i / PI 450i*. Consulté 21 juillet 2023, à l'adresse <https://www.optris.fr/camera-infrarouge-optris-pi-400i-pi-450i>
- Pointereau, P. (2002). Les haies : Évolution du linéaire en France depuis quarante ans. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 46(46), 69.
- Reading, C. J. (1998). The effect of winter temperatures on the timing of breeding activity in the common toad Bufo bufo. *Oecologia*, 117(4), 469-475. <https://doi.org/10.1007/s004420050682>
- Serre Collet, F. (2019). *Salamandres, Tritons & Cie*. Quae.
- Teillagorry, M. (2022a). *Amphilapse 1 _ Contexte, etat de l'art, étude preliminaire.pdf*. Cerema.
- Teillagorry, M. (2022b). *Amphilapse 2_ Analyse des données photos_vidéos.pdf*. Cerema.

Teillagorry, M. (2022c). *REX_protocole_time_lapse_Amphilapse.pdf*. Cerema.

UICN. (2022, février). *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Red List of Threatened Species.

<https://www.iucnredlist.org/en>

UICN France. (2015, septembre 9). Pas d'embellie pour les reptiles et les amphibiens de France métropolitaine : Une espèce sur cinq menacée de disparition. *UICN France*.

<https://uicn.fr/liste-rouge-reptiles-amphibiens/>

Weinstein, B. G. (2015). MotionMeerkat : Integrating motion video detection and ecological monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(3), 357-362. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12320>

Welbourne, D. J., Paull, D. J., Claridge, A. W., & Ford, F. (2017). A frontier in the use of camera traps : Surveying terrestrial squamate assemblages. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(3), 133-145. <https://doi.org/10.1002/rse2.57>

ANNEXES

Annexe 1 : Coût du matériel

Matériel	Prix TTC	Fournisseur
PP Reconyx HP2X-PROFESSIONNAL	936€	Piège photographique
Plaque à pressions + PP Cudde Back Digital + modification pour déclenchement externe	833€	Jama
BIR + PP Cudde Back Digital + batterie 12V + modification pour déclenchement externe	660€	Jama
Caméra IR Canon XA50	2029€	Photospecialist
Caméra thermique PI640 + logiciel + mini PC et câbles + boîtier étanche	13 990	CAP INSTRUMENTATION
Raspberry Pi 4 Modèle B, 8G RAM kit complet + caméra + projecteur IR	366€	Amazon et vidéosurveillance

Annexe 2 : Extrait de tableur utilisé pour l'analyse des données

Date	Heure	Classe	Ordre	Espèce	Comportement	Temps de passage	Température
11/04/2023	23:55:30	Micromammifère					
12/04/2023	00:05:00	Micromammifère					
12/04/2023	00:05:01	Amphibien	Urodèle	NA	Passage puis retour en arrière	>3 min	<10
12/04/2023	00:19:31	Amphibien	Urodèle	NA	Passage puis retour en arrière	>3 min	<15
12/04/2023	01:06:01	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<10
12/04/2023	01:18:00	Micromammifère					
12/04/2023	02:16:00	Micromammifère					
12/04/2023	02:16:00	Micromammifère					
12/04/2023	02:56:30	Micromammifère					
12/04/2023	03:23:30	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	03:32:00	Micromammifère					
12/04/2023	03:38:31	Micromammifère					
12/04/2023	03:46:30	Micromammifère					
12/04/2023	03:48:30	Micromammifère					
12/04/2023	04:16:30	Micromammifère					
12/04/2023	04:19:30	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	04:24:30	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	04:27:30	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	04:33:00	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	04:36:00	Micromammifère					
12/04/2023	04:40:00	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	04:57:00	Micromammifère					
12/04/2023	05:01:30	Micromammifère					
12/04/2023	05:01:31	Micromammifère					
12/04/2023	05:02:30	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	05:08:01	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	05:44:00	Amphibien	Urodèle	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	05:48:30	Amphibien	Anoure	Grenouille verte	Passage	>3 min	<15
12/04/2023	06:01:01	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	06:07:01	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	06:09:30	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	06:12:30	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	06:19:31	Amphibien	Anoure	NA	Passage puis retour en arrière	>3 min	<15
12/04/2023	06:21:31	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15
12/04/2023	06:25:01	Amphibien	Anoure	NA	Refus	NA	<15

Annexe 3 : Configurations testées sur MotionMeerkat

N° test	Mvt background	Mvt object	Min size object	Crop area ?	MOG / Acc	Adapt ?	Sortie photos	% Abattage	Toute faune confondue		Amphibiens	
									Vrais +	Faux -	Vrais +	Faux -
1	3	3	0,1	Non	MOG	Oui	36	98,2	8	235		
2	3	0	0,1	Non	MOG	Oui	66	96,7	20	223		
3	3	0	0,01	Oui	MOG	Oui	306	84,7	67	176		
4	3	0	0,01	Non	Acc	Oui	295	85,3	69	174		
5	3	3	0,1	Non	Acc	Oui	101	95,0	2	241		
6	3	0	0,1	Non	Acc	Oui	1376	31,2	212	31		
7	3	0	0,01	Non	Acc	Oui	1999	0,1	243	0		
8	4	0	0,01	Non	Acc	Oui	1999	0,1	243	0		
9	3	1	0,01	Non	Acc	Oui	1999	0,1	243	0		
10	2	1	0,01	Non	Acc	Oui	1999	0,1	243	0		
11	5	0	0,05	Non	Acc	Oui	1999	0,1	243	0		
12	5	0	0,1	Non	Acc	Oui	943	52,9	152	91	21	18
13	2	0	0,01	Non	MOG	Oui	283	85,9	64	179		
14	3	0	0,01	Non	MOG	Non	306	84,7	67	176		
15	3	0	0,01	Non	Acc	Non	1999	0,1	243	0		
16	1	0	0,01	Non	MOG	Oui	632	68,4	120	123	22	17
17	2	0	0,01	Non	MOG	Oui	283	85,9	34	179	12	27

Annexe 4 : Exemples d'images issues des matériels de détection



Crapaud à Borre-Pradelles détecté avec la BIR.



Deux grenouilles à Hachette détectées avec le TL30.



Triton détecté avec la caméra infrarouge à Hachette.

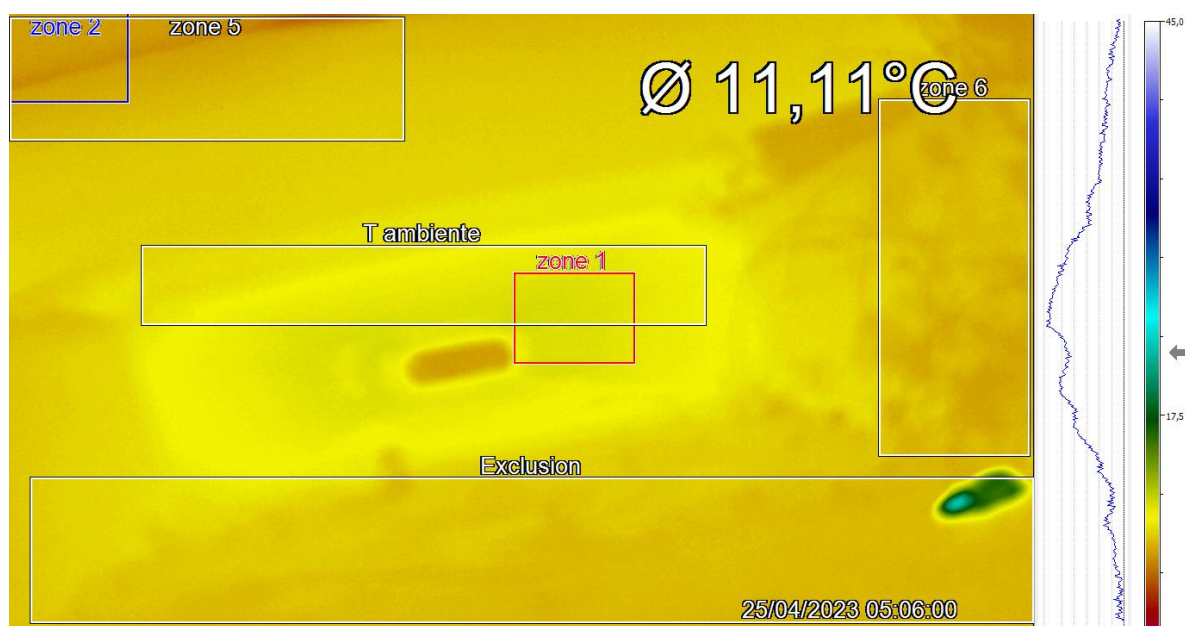


Image issue d'une vidéo de la caméra thermique. En bas à droite de l'image, un micromammifère.

Morgane Olivier

2022-2023



POLYTECH
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Amphilapse : Optimisation des méthodes de détection des amphibiens en déplacement dans les ouvrages d'art

Résumé :

Il existe peu d'études sur l'utilisation des ouvrages d'arts par les amphibiens. Pourtant pour restaurer au mieux les continuités écologiques dégradées par les infrastructures anthropiques, il semble pertinent d'étudier les déplacements de la faune. Après comparaison de différentes méthodes de détection automatisée des amphibiens, ce rapport liste les différents protocoles optimisés et adaptés à différents types de suivi.

Abstract :

There are few studies on the use of road structures by amphibians. However, in order to restore ecological continuities impaired by human-made infrastructures, it seems relevant to study the movements of fauna. After comparing different automated amphibian detection methods, this report lists the various protocols optimized and adapted to different types of monitoring.

Mots Clés : Amphibiens, crapauduc, détection automatisée de la faune, infrastructures de transport terrestre, logiciels de traitement automatisé des données, piège photographique.

Tutrice entreprise :

Anne-Claire De Rouck

Tuteur académique :

Francis Isselin

Cerema Hauts-de-France

44ter rue Jean Bart, 59 000 Lille