

## **La reproduction du Crapaud calamite (*Epidalea calamita*) : Analyse des préférences écologiques et conséquences de l'assèchement**

**Auteur :** Bouquiaux, Noé

**Promoteur(s) :** Winandy, Laurane; 16398

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : biodiversité et gestion

**Année académique :** 2024-2025

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/22369>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

La reproduction du Crapaud calamite (*Epidalea calamita*) :  
Analyse des préférences écologiques et conséquences de  
l'assèchement des habitats aquatiques



Mémoire réalisé par **Noé Bouquiaux**  
en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie des Organismes et Écologie à finalité  
**Biologie de la Conservation : Biodiversité et Gestion**

Année académique **2024-2025**

Promoteur : **Laurane Winandy** (Université de Liège)

Encadrant : Thierry Kinet (Natagora), Philippe Goffart (SPW), Thomas Duchesne (Natagora)

## Remerciements

Je tiens avant tout à remercier ma promotrice, Laurane Winandy, pour ses relectures minutieuses et ses commentaires et conseils avisés qui ont grandement contribué à la rédaction de ce mémoire.

Un grand merci également à Thierry Kinnet, pour avoir été à l'initiative du sujet et m'avoir accompagné sur le terrain lors de ma première visite de site.

Je souhaite aussi exprimer ma reconnaissance à Philippe Goffart et Thomas Duchesne pour leur suivi attentif tout au long du mémoire et leurs conseils précieux en matière de statistiques, qui ont été d'une grande aide dans l'analyse de mes données.

Je remercie aussi Nicolas Magain et Benjamin Lejeune d'avoir accepté de faire partie de mon jury de mémoire.

Un merci particulier à ma famille, pour leur soutien indéfectible durant toute la durée de mes études et pour leurs encouragements constants, qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Enfin, je n'oublie pas de remercier mes ami·e·s de Master notamment Florence, Laurann, Elisa, Christophe et plus spécialement Eve, Salomé et Robin qui m'ont accompagné jusqu'en janvier.

## Résumé

Le crapaud calamite est une espèce en déclin en Belgique. En effet, la modification de l'usage du sol et le changement climatique ont un effet considérable sur ses populations. Ces facteurs réduisent de plus en plus son habitat et entrave sa reproduction.

Dans ce contexte l'étude des préférences de l'espèce au niveau des mares de reproduction et des sites permettrait d'identifier les facteurs environnementaux favorables et les principales menaces afin de proposer des mesures de gestion adaptées. Une attention spécifique est accordée à l'assèchement des mares, un paramètre important dans le cadre du changement climatique.

Pour cela, des recensements de mares ont été effectués sur 19 sites dans les environs de Liège pendant 6 cycles consécutifs, du 18 avril au 22 juillet. Pour chaque mare, l'abondance de ponte, la présence de têtards, la profondeur, la surface, le pourcentage en recouvrement aquatique et le caractère naturel ou artificiel de la mare a été relevé. Au niveau des sites, nous avons pris en compte la surface totale du site, la surface de la zone ouverte, le nombre de mares et la surface totale des mares.

Des analyses statistiques avec des modèles linéaires généralisés ont permis d'indiquer une préférence pour les mares de faible profondeur, de recouvrement aquatique limité et d'une grande surface. Au niveau des sites, le plus grand nombre de pontes et de larves ont été recensés dans des sites présentant une plus grande zone ouverte et un plus grand nombre de mares.

L'assèchement est la menace principale mise en évidence dans l'étude. En effet, malgré une météo très pluvieuse durant le printemps et l'été 2024, le crapaud calamite semble favoriser des mares avec une faible profondeur caractérisé par une hydropériode plus courte. Or un assèchement prématuré des mares entraîne la mortalité des pontes et têtards.

Suite à ces résultats, il ressort que la gestion la plus adaptée et nécessaire pour plusieurs sites est la mise en place de mares artificielles qui sont attractives et respectueuses des préférences et de l'écologie de l'espèce, mais offrant des zones de profondeur suffisante pour ne pas s'assécher. Une gestion récurrente des sites pour maintenir une grande zone ouverte et une protection légale des sites est aussi essentielle. Ces mesures permettront de favoriser la population de crapauds calamite sur ces sites, ainsi que de protéger cette population du changement climatique et de la modification de l'usage du sol sur le long terme.

# Table des matières

1	Introduction .....	1
1.1	Déclin des amphibiens .....	1
1.2	Les causes du déclin .....	2
1.2.1	Perte d'habitats .....	2
1.2.2	Maladies .....	2
1.2.3	Changement climatique .....	3
1.2.4	Incendies .....	4
1.2.5	Espèces invasives.....	4
1.2.6	Surexploitation .....	4
1.2.7	Pollution .....	5
1.3	Le crapaud calamite .....	5
1.3.1	Taxonomie.....	5
1.3.2	Morphologie et identification .....	5
1.3.3	Habitat et site de reproduction.....	6
1.3.4	Cycle de vie.....	7
1.3.5	Répartition.....	8
1.3.6	Statut de protection .....	9
1.4	Menaces et causes du déclin du crapaud calamite en Belgique.....	9
1.4.1	Modification de l'usage du sol .....	9
1.4.2	Espèces invasives.....	10
1.4.3	Maladies .....	10
1.4.4	Pollution .....	11
1.5	Actions de conservation .....	11
2	Objectifs .....	13
3	Matériels et méthodes.....	15
3.1	Sélection des sites d'études .....	15
3.2	Récoltes des données.....	16
3.3	Variables mesurées .....	17
3.4	Encodages des données .....	19
3.5	Analyses statistiques .....	20

3.5.1	Préférences du crapaud calamite.....	20
3.5.2	Assèchement des mares.....	21
3.5.3	Procédure générale d'analyse statistique.....	22
4	Résultats.....	23
4.1	Préférence du crapaud calamite .....	23
4.1.1	Au niveau des mares .....	23
4.1.2	Au niveau des sites.....	27
4.2	Assèchement des mares.....	30
4.2.1	Statistiques descriptives.....	30
4.2.2	Corrélation.....	30
4.2.3	Modèle linéaire généralisé mixte avec une distribution binomiale .....	30
5	Discussion.....	32
5.1	Préférences du crapaud calamite.....	32
5.1.1	Au niveau des mares .....	32
5.1.2	Au niveau des sites.....	33
5.2	Assèchement des mares.....	34
5.3	Conclusion pour la préférence du crapaud calamite et l'assèchement .....	36
6	Limites .....	37
7	Applications concrètes et perspectives .....	39
8	Conclusion.....	42
9	Bibliographie .....	43
10	.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
11	Annexes .....	50
11.1	Annexes 1 : Détail de chaque site .....	50
11.2	Graphiques supplémentaires pour l'analyse de l'assechement	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Déclin des amphibiens

Depuis plus de 50 ans, les scientifiques observent une perte de biodiversité d'une ampleur inédite à l'échelle planétaire. Cette tendance alarmante est confirmée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) : près de 28 % des espèces sont actuellement menacées d'extinction. Certains groupes taxonomiques sont particulièrement vulnérables, comme les amphibiens (41% d'espèces menacées), les requins et raies (37%) et les coraux (44%). Entre 1970 et 2016, les populations mondiales connues de mammifères, d'oiseaux, d'amphibiens, de reptiles et de poissons ont diminué de presque 70% en moyenne (Almond et al., 2020 ; IUCN, 2024).

De plus, le rythme d'extinction des espèces s'accélère d'année en année, dépassant de 100 à 1000 fois les taux naturels observés dans les registres fossiles. Cette situation alarmante met en lumière l'actuel sixième extinction de masse qui est en cours (Pimm S.L et al., 2014).

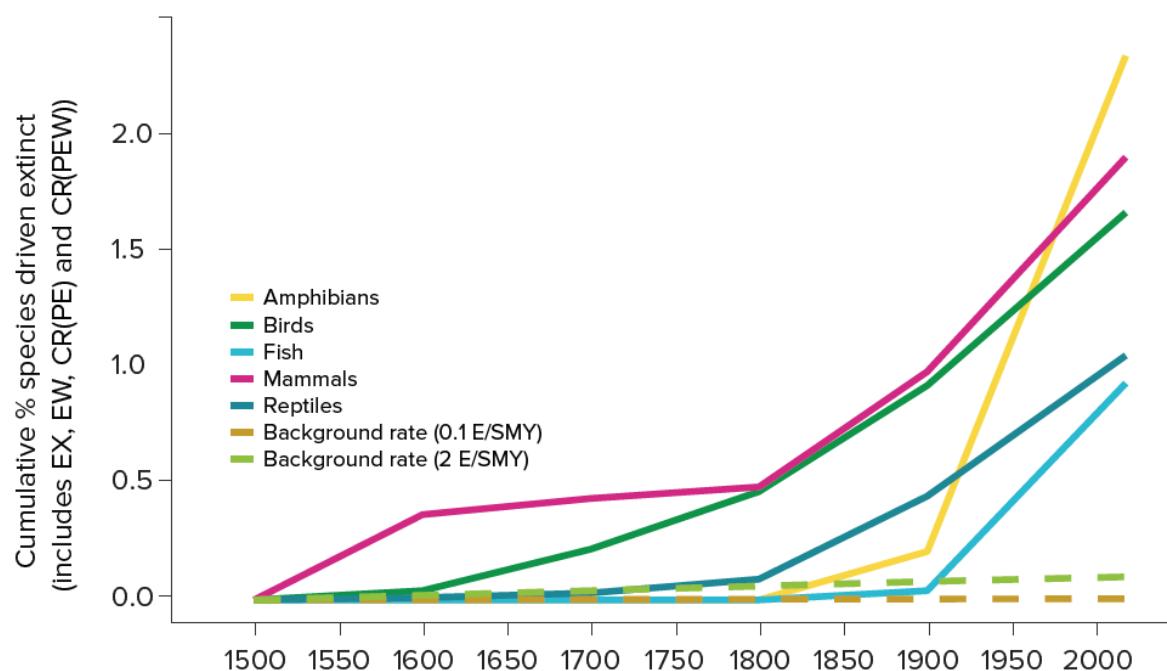


Fig. 1 : Pourcentage cumulé d'espèces en voie d'extinction pour les différents taxons de vertébrés (WWF living planet report, 2024)

Cette sixième extinction touche en particulier les amphibiens qui sont les vertébrés les plus menacés ; en effet, le déclin des populations de ce taxon n'a cessé de s'aggraver au fur et à mesure des années (IUCN, 2024).

A l'échelle mondiale, sur les plus de 7000 espèces d'amphibiens recensés par l'IUCN, seulement 46% sont classées dans la catégorie « préoccupation minimale » (Least Concern), toutes les autres sont au mieux classées dans la catégorie « quasi menacé » (Near threatened), 10% d'entre elles sont en danger critique d'extinction. De plus il y a de fortes probabilités que certaines espèces disparaissent avant même d'avoir été découvertes (IUCN, 2024 ; Stuart et al., 2008).

En Europe, le constat est tout aussi préoccupant, sur les 99 espèces d'amphibiens répertoriées par l'IUCN, plus de 40% sont catégorisés à minima comme menacés. Le crapaud calamite ne fait pas exception à cette dynamique d'extinction. Malgré cela il n'est pas considéré comme menacé à l'échelle européenne. Cependant, en Wallonie, il est considéré comme en danger (IUCN, 2024 ; Laudelout, 2016).

## 1.2 Les causes du déclin

### 1.2.1 Perte d'habitats

La perte d'habitats constitue la menace la plus importante. Celle-ci affecte 93 % des amphibiens menacés. La croissance rapide de la population humaine et le consumérisme augmentent sans cesse la pression pour les ressources. En effet, la production de bois, l'expansion agricole, l'urbanisation, le développement des infrastructures etc sont de plus en plus intenses et dégradent proportionnellement l'habitat naturel des amphibiens. Les fragments restants sont trop petits ou trop dégradés pour maintenir des populations viables. De plus les distances séparant ces restes d'habitat sont souvent trop grandes pour que les amphibiens les relient (Re:wild, 2023).

### 1.2.2 Maladies

Les maladies couplées à des facteurs de stress peuvent provoquer des pertes massives et brutales dans les populations et mener à des extinctions locales voire à l'extinction totale d'espèces (Bishop et al., 2012 ; Gascon et al., 2007).

La chytridiomycose, par exemple, est une maladie infectieuse pouvant causer près de 100% de mortalité. Elle est causée par le champignon *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) provenant d'Asie et récemment répandu en Europe. Un autre champignon *Batrachochytrium salamandrivorans* (*Bsal*) affecte lui uniquement les urodèles mais est tout aussi mortel (Dejean et al., 2010).

### 1.2.3 Changement climatique

En raison de leur cycle de vie complexe, de leur peau perméable, ainsi que de leurs œufs fragiles, les amphibiens sont particulièrement sensibles aux variations des facteurs abiotiques dans les milieux terrestres et aquatiques. Or le changement climatique va impacter ces milieux. La hausse des températures et la modification de la pluviométrie vont influencer durablement l'évolution de la population des amphibiens dans les prochaines années (Shukla et al., 2019 ; Li et al., 2013).

En 2022, la température moyenne mondiale a été supérieure de 1,15 °C à celle de la période préindustrielle. Selon les scientifiques du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) le réchauffement mondial atteindrait 1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle en 2030. Ce réchauffement se poursuivra jusqu'à 2,8 °C ou 3,2 °C en 2100 selon les scénarios. Cette élévation de température impacte la phénologie des amphibiens. Des températures douces en hiver et au printemps mènent à une anticipation de la période de reproduction. Ceci les expose davantage à des gelées tardives qui accroissent la mortalité des œufs et des têtards. Ce réchauffement modifie également l'habitat des amphibiens. Pour certaines espèces, on observe une extension de leur aire de répartition mais, pour la plupart, celle-ci se réduit. Parallèlement, ce réchauffement favorise la propagation du champignon mortel *Batrachochytrium dendrobatidis*, qui attaque fortement les populations d'amphibiens (Cohen et al., 2018 ; Henle et al., 2008 ; Lips et al., 2008).

En Belgique, à l'horizon 2100, les précipitations estivales pourraient diminuer de 10 à 20%. De plus, l'institut royal météorologique de Belgique fait état d'une baisse marquée des précipitations printanières, d'une moyenne de 9mm par décennie depuis 1981. Cette baisse des précipitations est simultanée à une augmentation de 3,1 jours par décennie de jours sans pluie significative au printemps (inférieure à 1 mm) pendant cette même période. Ces

précipitations moins abondantes se traduisent par des sécheresses printanières de plus en plus fréquentes (De Troch et Al., 2020 ; EEA, 2022).

Le manque de précipitations associé à des températures élevées conduit à une évaporation plus fréquente et précoce des mares temporaires. En conséquence, cette pénurie d'eau entraîne une diminution des occasions de reproduction et un taux de survie réduit pour les larves et les jeunes individus, menant à une réduction de la taille des populations d'année en année. De plus les juvéniles ayant survécu à une sécheresse lors de leurs stades larvaires ont une fitness plus faible en comparaison aux juvéniles métamorphosés dans des mares ayant pu bénéficier d'une hydropériode adéquate pour leur développement (Brannelly et al., 2019 ; Beranek et al., 2022 ; Lertzman-Lepofsky et al., 2020).

#### 1.2.4 Incendies

Les conditions plus sèches et plus chaudes résultant du changement climatique modifient les régimes d'incendies augmentant leur fréquence et leur intensité. Cette augmentation constitue une menace pour les amphibiens. En effet, ces incendies peuvent avoir des effets à court terme (mortalité directe) et à long terme (réduction des espèces proies, perte et dégradation de l'habitat et des sites de reproduction). De plus, avec la multiplication des incendies, les populations peuvent être incapables de se rétablir entre celles-ci et subir ainsi un déclin à long terme. De tels événements devraient devenir encore plus fréquents et intenses à l'échelle mondiale à mesure que les effets du changement climatique s'intensifient (Re:wild, 2023).

#### 1.2.5 Espèces invasives

L'introduction d'espèces exotiques dans les habitats occupés par des amphibiens peut entraîner leur mort par prédation, provoquer de la concurrence pour les ressources, modifier leur comportement (déplacements, alimentation ou activité sexuelle), influencer leur taux de croissance ou encore réduire leur succès reproducteur (Toli et al., 2020 ; Winandy & Denoël, 2013).

#### 1.2.6 Surexploitation

Dans la nature, les amphibiens sont collectés pour de multiples raisons notamment la consommation humaine, la médecine et le commerce international des animaux de compagnie. Ensemble, ces pratiques représentent une menace pour 256 espèces. La

surexploitation des amphibiens est d'autant plus inquiétante que de nombreuses espèces possèdent un petit territoire de répartition et sont insuffisamment protégés dans de nombreuses réglementations commerciales (Auliya et al., 2023 ; Re:wild, 2023).

### 1.2.7 Pollution

Les amphibiens, en raison de leur physiologie, sont particulièrement vulnérables aux polluants environnementaux. En effet, ils peuvent directement absorber les substances toxiques à travers leur peau, par respiration ou encore par voie orale, en ingérant de l'eau polluée (Sunita et al., 2021).

Parmi les polluants, les pesticides représentent une menace majeure pour ces espèces. En effet, de nombreuses études alertent sur la toxicité du glyphosate et de l'atrazine pour les amphibiens. Bien que l'atrazine soit interdite en Europe, certains de ses dérivés restent utilisés, et le glyphosate, toujours autorisé, présente des risques similaires (Relyea & Jones, 2009 ; Hayes et al., 2010).

Les pesticides ne sont pas les seuls polluants impactant les populations d'amphibiens. La diminution du pH de l'eau due aux pluies acides, la présence de métaux lourds et les résidus d'engrais constituent également une menace (Bergeron et al., 2010 ; Hatch et al., 2003).

## 1.3 Le crapaud calamite

### 1.3.1 Taxonomie

Le crapaud calamite, *Epidalea calamita*, (Laurenti, 1768), est un amphibien de l'ordre des anoures et de la famille des bufonidés. Il était autrefois classé sous le nom scientifique *Bufo calamita* (Laurenti, 1768), mais les genres *Bufo* et *Epidalea* ont été différenciés. Il est depuis le seul représentant du genre *Epidalea* (Dubois and Bour, 2010).

### 1.3.2 Morphologie et identification

Le crapaud calamite est un amphibien relativement robuste. A l'âge adulte sa taille est proche de celle du crapaud commun mâle, *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758), elle varie entre 6 et 10 cm (Laudelout, 2016).

Le crapaud calamite présente une apparence générale de couleur brun clair avec le dos couvert de pustules et de taches variant entre le brun, le jaune et le vert. Son ventre est clair avec des taches plus ou moins sombres. Le trait distinctif est une fine ligne vertébrale jaune, cependant certains individus peuvent en être dépourvus. Dans ce cas, trois autres caractéristiques permettent de le distinguer : ses glandes parotoïdes sont parallèles, son iris est jaune-vert et il a des pupilles horizontales. Ces caractéristiques permettent de le différencier du crapaud commun et de l'alyte accoucheur, *Alytes obstetricans* (Laudelout, 2016).

Les œufs ont une taille comprise entre 1 et 2 mm et sont disposés en de minces cordons d'environ 2000 œufs qui peuvent s'étendre jusqu'à deux mètres de longueur. Les têtards sont petits et noirs avec une tache claire souvent présente sous la gorge. Le chant du crapaud calamite correspond à des trilles émis par vagues successives (Graitson et Denoël, 2007).

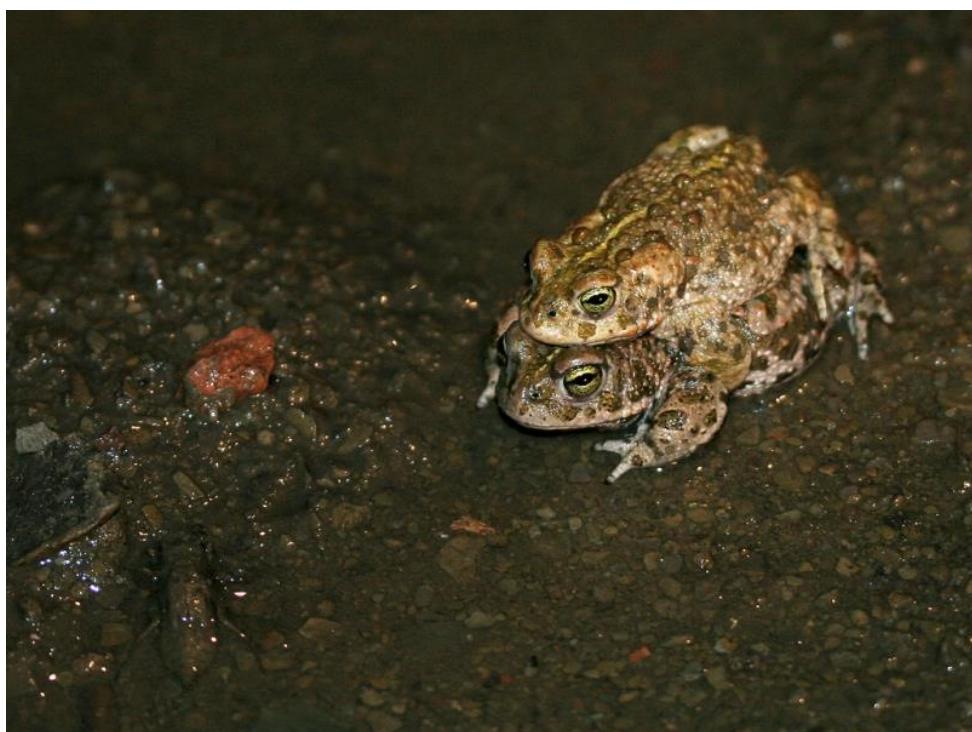


Fig. 2 : Crapaud calamite en amplexus (La biodiversité en Wallonie, 2024 ; Photo de Thierry Kinet)

### 1.3.3 Habitat et site de reproduction

Le crapaud calamite est un amphibiens qui apprécie les environnements ensoleillés et pionniers. Il est capable de coloniser rapidement de nouveaux habitats, mais aussi de disparaître rapidement lorsque la végétation devient trop dense. Cette dynamique entraîne

souvent des cycles fréquents de colonisation et d'extinction au niveau local, caractéristiques des métapopulations (Graitson et Denoël, 2007 ; Jacob et al., 2007).

Le crapaud calamite se retrouve dans des milieux ouverts où le sol est nu ou couvert d'une végétation herbacée basse. Cela lui permet de chasser sa nourriture à vue, principalement des invertébrés. Cette espèce préfère particulièrement les substrats meubles comme le sable, ce qui lui permet de creuser des terriers pour s'y abriter en hiver. En cas de substrat plus compact, elle peut se réfugier dans des abris tels que des amas de pierres, de débris organiques ou d'origine anthropique (Jacob et al., 2007 ; Mermod et al., 2010).

Les habitats primaires de cette espèce comprennent les landes, les dunes et les zones alluviales. L'espèce profite également de sites liés à l'activité humaine (habitats secondaires), plus répandus telles que les carrières, les terrils et les friches industrielles. Quelques populations sont aussi liées au milieu agricole. De nos jours, en Wallonie, le crapaud calamite a pratiquement disparu des habitats primaires, il ne subsiste plus que dans les habitats secondaires (Graitson et Denoël, 2007 ; Laudelout, 2016).

Pour sa reproduction, la présence de points d'eau temporaires peu profonds, exposés au soleil et avec peu de végétation est essentielle. La profondeur de ces points d'eau ne doit pas être trop faible, car cela pourrait entraîner un assèchement précoce, mettant ainsi en danger les larves. Cependant, une profondeur excessive est également à éviter, car cela pourrait conduire à la permanence du point d'eau, favorisant ainsi la croissance de la végétation, la compétition avec d'autres espèces d'amphibiens et le développement d'insectes prédateurs. Idéalement, une profondeur inférieure à 50 cm est recommandée pour cette espèce, avec une plage optimale entre 10 et 20 cm. De plus, une faible profondeur et une faible couverture végétale permettent à l'eau d'atteindre des températures plus élevées favorisant un développement plus rapide des larves (Bécart et al., 2007 ; Denton et al., 1997 ; Mermod et al., 2010; Laudelout, 2016).

#### 1.3.4 Cycle de vie

La période d'hibernation du crapaud calamite dure d'octobre à mars en Wallonie ; pendant cette période les crapauds calamites se cachent sous terre, où ils peuvent s'enfonir lorsque le sol est meuble. A la fin de l'hibernation, au début du printemps, ils sortent de leur abri pendant la nuit pour chercher un point d'eau afin de se reproduire. Durant cette période de

reproduction, d'avril à septembre, avec un pic en mai-juin, les adultes femelles rejoignent des plans d'eau peu profonds et ensoleillés afin d'y pondre leurs œufs. Leur mode de vie devient alors essentiellement nocturne à cette période et ce jusqu'à la fin de l'été. Ils restent principalement dans leur terrier mais sortent parfois pendant la nuit pour chasser leur nourriture, se reproduire ou s'hydrater (Graitson et Denoël, 2007 ; Mermod et al., 2010).

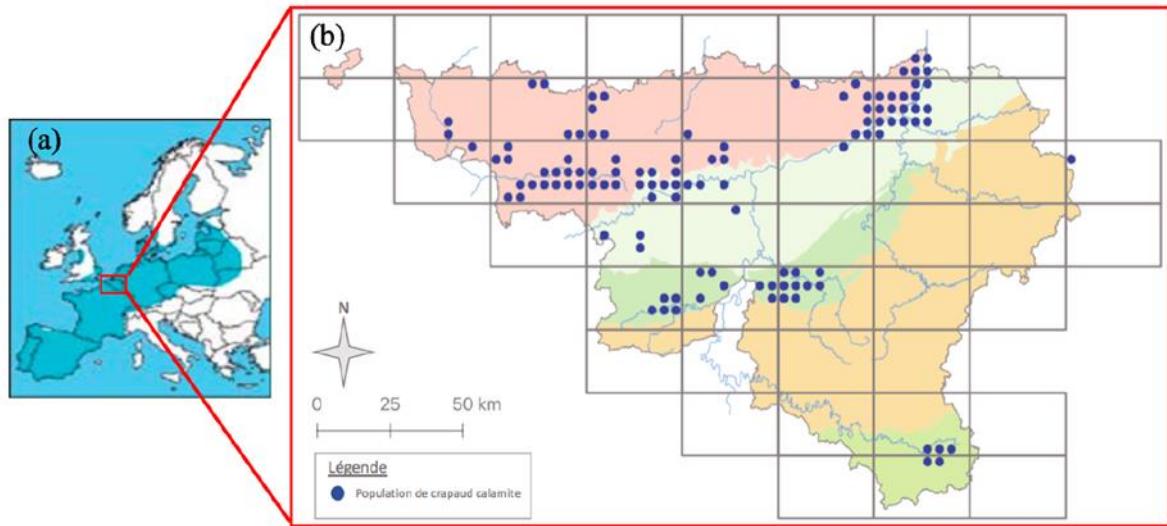
La reproduction des crapauds calamites se compose de différentes cohortes, c'est-à-dire de groupes d'individus répartis dans l'espace et se succédant dans le temps. Ces cohortes participent tour à tour à la reproduction, segmentant ainsi la période de reproduction en plusieurs sous-périodes distinctes (Bécart et al., 2007 ; Laudelout, 2016).

La fécondation se passe dans l'eau, elle est externe et se réalise par amplexus axillaire. Une femelle pond généralement une seule fois par an, déposant entre 2000 et 4000 œufs directement au fond de la mare. Le développement embryonnaire est très court, prenant seulement entre 7 et 10 jours. La croissance des têtards est également rapide, en particulier lorsque l'eau est chaude, il faut environ 4 à 7 semaines pour que les têtards se métamorphosent en juvéniles. La maturité sexuelle est atteinte à 2 ou 3 ans chez les mâles et à 3 ou 4 ans chez les femelles. Dans leur milieu naturel, les crapauds calamites vivent entre 7 et 9 ans. (Graitson et Denoël, 2007 ; Bécart et al., 2007 ; Laudelout, 2016).

### 1.3.5 Répartition

En Europe, le crapaud calamite est présent de la péninsule Ibérique jusqu'à la Russie occidentale. On le retrouve aussi en Grande-Bretagne et dans le sud-ouest de l'Irlande. (IUCN, 2024)

En Wallonie la répartition prend la forme de groupes de population isolés. On trouve ces noyaux en Lorraine, dans la Fagne, la Famenne, la région liégeoise, ainsi que dans le Hainaut et la vallée de la Sambre. Certains de ces groupes peuvent être subdivisés en sous-groupes distincts en raison de l'isolement de certaines populations. Ce phénomène est particulièrement marqué dans le Hainaut et à Liège, où l'urbanisation a limité les interactions entre les populations des sites voisins (Laudelout, 2016).



*Fig. 3 : Répartition de *Epidalea calamita* en europe et en Belgique (Deflandre, 2021)*

### 1.3.6 Statut de protection

Le crapaud calamite est mentionné dans plusieurs législations internationales comme la convention de Berne en 1979 et la Directive Européenne « habitat » en 1992. Ces législations protègent l'espèce, son habitat et ses sites de reproduction. En Wallonie, la Loi sur la Conservation de la Nature transpose ces directives de l'Union européenne et conventions internationales conférant à cette espèce une protection stricte. De plus, cette espèce est intégralement protégée en vertu du décret « Natura 2000 » du 6 décembre 2001 (La biodiversité en Wallonie, 2024).

## 1.4 Menaces et causes du déclin du crapaud calamite en Belgique

### 1.4.1 Modification de l'usage du sol

L'urbanisation est le principal facteur de régression de l'espèce pour la Wallonie. Plus d'un tiers des sites occupés entre 2006 et 2012 ont un statut au plan de secteur suggérant un haut risque de modification de l'utilisation du sol. De plus, 52 des 93 friches industrielles et terrils occupés par l'espèce se trouvent dans des zones urbanisables au plan de secteur. En outre, l'urbanisation affecte aussi les habitats primaires du crapaud calamite menaçant ainsi l'ensemble de ses zones de présence (Laudelout, 2016).

Les populations du crapaud calamite souffrent également de la fragmentation de l'habitat. Le paysage actuel entrave sa mobilité : les routes, les rivières canalisées et les zones urbaines empêchent sa bonne dispersion. Une mauvaise dispersion empêche les différentes populations de se croiser génétiquement et empêche la colonisation de potentiels habitats favorables. De plus, cette tendance à la fragmentation de l'habitat tente à s'accentuer au fur et à mesure du temps (Laudelout, 2016; Mermod et al., 2010).

Dans le paysage actuel, la création de nouveaux milieux pionniers est un phénomène rarissime, notamment à cause de l'artificialisation des cours d'eau. L'apparition de ces milieux est dès lors souvent liée à des travaux de chantier ou des carrières qui sont généralement temporaires. A l'arrêt de ceux-ci, les perturbations s'arrêtent permettant la repousse de la végétation et la fin du milieu pionnier. La population de crapauds calamites présente sur ces sites est donc mise en péril (Graitson & Denoel, 2007 ; Stevens & Baguette, 2008).

#### 1.4.2 Espèces invasives

En Belgique, le raton laveur (*Procyon lotor*) s'attaque à divers animaux indigènes, y compris certains amphibiens comme le crapaud calamite. Dans les zones où les deux espèces cohabitent, le raton laveur peut consommer le crapaud calamite même si celui-ci secrète des toxines pour se défendre. Celles-ci ne gênent pas le raton laveur car il semblerait qu'il ait appris à éviter les glandes parotoïdes où se concentrent les toxines. Cette prédation a notamment été relevée sur le site de la Rochette par Marie Monseur lors de son mémoire et par Serge Tiquet le gestionnaire de la réserve (M. Monseur, 2022 ; S. Tiquet, com. pers.)

#### 1.4.3 Maladies

La chytridiomycose est présente dans plusieurs pays européens dont les Pays-Bas où elle a causé des mortalités massives dans les années 2010. En Belgique, bien que des cas aient été signalés, l'impact exact n'est pas connu avec précision. Ses conséquences sur la population de crapauds calamites sont donc difficilement estimables pour l'instant même si cette maladie peut avoir de plus fortes répercussions dans le futur (C. Guillaume, 2020 ; Echo des rainettes, 2014).

#### 1.4.4 Pollution

Le crapaud calamite fréquentant les milieux anthropisés et agricoles, il est donc particulièrement soumis à une pollution de son habitat naturel (C. Miaud et al., 2011).

### 1.5 Actions de conservation

L'objectif des actions de conservation est de maintenir le crapaud calamite dans un état de conservation favorable. Ces actions doivent être fondées sur une analyse précise des menaces locales pour être efficaces. Les actions doivent porter essentiellement sur la protection et la restauration du milieu de vie de l'espèce pour garantir sa survie dans la durée (Laudelout, 2016).

La réalisation d'ensembles de mares semble être l'un des dispositifs les plus efficaces. En effet, si les mares sont bien dimensionnées, elles offrent de nombreux environnements accessibles et favorables à l'espèce et maintiennent des populations de grande taille par la mise à disposition d'un grand nombre de zones d'eau (Laudelout, 2016 ; Van Eekelen, 2005).

D'autres mesures de gestion consistent à protéger les sites de reproduction en les faisant passer sous statut de réserves naturelles. Lorsque cela n'est pas possible, à cause du statut au plan de secteur de la majorité des sites, des accords de protection avec les propriétaires doivent être privilégiés (Laudelout, 2016).

De plus, des actions doivent être mises en place en cas de travaux appelés à occuper une certaine partie du site de reproduction. Des actions comme la création de crapauducs, des balisages des flaques de têtards ou encore le transfert des pontes vers des mares moins impactées par les travaux peuvent être appliquées pour limiter les dégâts (Laudelout, 2016).

Pour les sites en milieu agricole, des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) peuvent être mises en place en concertation entre Natagriwal et les agriculteurs. L'objectif de ces aménagements est soit de favoriser le développement de populations isolées dans les zones agricoles, soit de rétablir des corridors écologiques entre différents sites favorables. (Laudelout, 2016 ; Natagriwal, 2024).

Des interventions de déboisement, de fauchage et d'étrépage localisé doivent être mises en place pour garder un milieu pionnier. Pour cela une gestion récurrente des sites est nécessaire.

La création d'abris peut aussi être envisagée sur les sites qui le nécessitent (Laudelout, 2016 ; Mermod et al., 2010).

Par ailleurs, une coordination à plus large échelle permet de renforcer l'efficacité des actions locales, notamment par la mise en place d'un réseau écologique favorable aux crapauds calamites à l'échelle du paysage (Laudelout, 2016 ; Mermod et al., 2010).

La translocation d'individus, déjà pratiquée sur diverses espèces d'amphibiens, constitue une autre stratégie, mais elle pose des problématiques avec l'origine des populations sources, la pertinence sur le long terme, et les éventuels risques de diffusion de maladies (IUCN/SSC, 2013 ; Laudelout, 2016).

Enfin, il est primordial de sensibiliser les différents acteurs impliqués de loin ou de près dans les projets touchant le crapaud calamite et d'approfondir les connaissances sur l'espèce. (Laudelout, 2016).

## 2 Objectifs

Dans le contexte actuel de déclin global des amphibiens, il est crucial de comprendre l'impact des paramètres environnementaux sur le choix des milieux reproducteurs des espèces afin d'identifier des pistes de gestion adaptées. Ce mémoire vise ainsi à étudier comment certaines caractéristiques de l'habitat influencent la reproduction du crapaud calamite, dans le but de proposer des mesures de conservation adéquates pour préserver cette espèce vulnérable. Une attention particulière est portée à l'effet de l'assèchement des mares, un paramètre important dans le cadre du changement climatique.

Pour atteindre cet objectif principal, trois objectifs secondaires ont été définis :

- Quantifier l'influence des paramètres environnementaux à l'échelle de la mare tels que la profondeur et la surface des mares, le pourcentage de recouvrement par la végétation aquatique ainsi que le type de mare (naturelles, en béton ou creusées), sur la présence de pontes et de têtards dans des mares temporaires. Ces mesures seront répétées 6 fois sur une durée de 3 mois afin de prendre en compte la période de l'année comme facteur influençant à la fois les paramètres environnementaux et la présence de l'espèce.

- Quantifier l'influence des paramètres environnementaux à l'échelle des sites tels que la taille du réseau de mares des sites et la surface du site et de sa zone ouverte, sur la taille de population de chaque site.

- Identifier les facteurs influençant la fréquence d'assèchement des mares et analyser les conséquences de cet assèchement sur l'abondance des pontes et la présence de larves, notamment en termes de pertes de reproduction.

En caractérisant les préférences écologiques du crapaud calamite pour son milieu de ponte nous pourrons ensuite identifier les principales menaces et proposer en conséquence des mesures de gestion adaptées en faveur du crapaud calamite.

Les préférences environnementales du crapaud calamite au niveau de mares dépendent de plusieurs paramètres importants tels que le faible recouvrement par la végétation aquatique, et une profondeur d'eau limitée (Laudelout, 2016). Sur cette base, nous émettons l'hypothèse que le crapaud calamite privilégie des sites de ponte bien définis, caractérisés par une végétation aquatique peu dense et une profondeur faible, idéalement comprise entre 10 et

20 cm. En revanche, le type de mare et la surface des mares ne devraient pas avoir d'impact significatif sur ses préférences environnementales.

Le pic de reproduction est en mai-juin (Graitson et Denoël, 2007). Nous formulons ainsi l'hypothèse que l'abondance de pontes et la présence de larves seront maximales durant cette période.

Les préférences environnementales du crapaud calamite au niveau des sites dépendent de deux paramètres principaux, la présence d'une zone ouverte où le sol est nu ou couvert d'une végétation herbacée basse et l'abondance de mares temporaires formant un large milieu aquatique (Van Eekelen, 2005 ; Laudelout, 2016). Sur cette base, nous formulons l'hypothèse que les populations de crapauds calamites les plus importantes se situent dans des sites spécifiques, déterminés par une grande zones ouverte et un important réseau de mares formant une vaste étendue d'eau. La surface du site ne devrait pas avoir d'incidence sur la population de crapauds calamites.

Enfin, l'assèchement des mares étant influencé par leur profondeur et leur surface, nous émettons l'hypothèse que les mares les plus sujettes à l'assèchement sont celles présentant la plus faible profondeur et la plus petite surface. En revanche, Le type de mare (naturelles, bétonnées, en plastique ou creusées) et le pourcentage de recouvrement aquatique ne devraient pas avoir d'impact significatif sur l'assèchement.

### 3 Matériels et méthodes

#### 3.1 Sélection des sites d'études

Pour ce mémoire, 18 sites ont été sélectionnés, chaque site contenait en moyenne de 1 à 45 mares :

- Le site de la Rochette, le terril du bois St-Jean, le site de En Ster, le site du Trilogiport, le terril du Gosson, l'ancien charbonnage de Bonne-Fortune, le terril du Bonnet, la friche de Werister, la friche de Lanaye, la campagne de Fooz, le domaine de Waroux, le terril Batterie Ancien, le terril de la Petite Bacnure, Le site du Fond de Malaxhe, le site de Bierset, le parc des Coteaux, l'ancienne gravière de So Hé et le terril de la Chatqueue.

Le détail de chaque site se trouve dans l'annexe 1.



*Fig. 4 : Mare du terril du bois St-jean*

Ces sites ont été sélectionnés sur la base de plusieurs critères. D'abord en raison de leur localisation aux alentours de Liège et de leur facilité d'accès. Ensuite, les données récentes après 2018 ont été privilégiées afin de garantir au maximum la présence de crapauds calamites sur les sites, exception faite du terril du Bonnet pour lequel les dernières données datent de 2015. De plus des sites avec des mares artificielles et des sites n'en disposant pas ont été pris en compte pour avoir une diversité de types de mares.

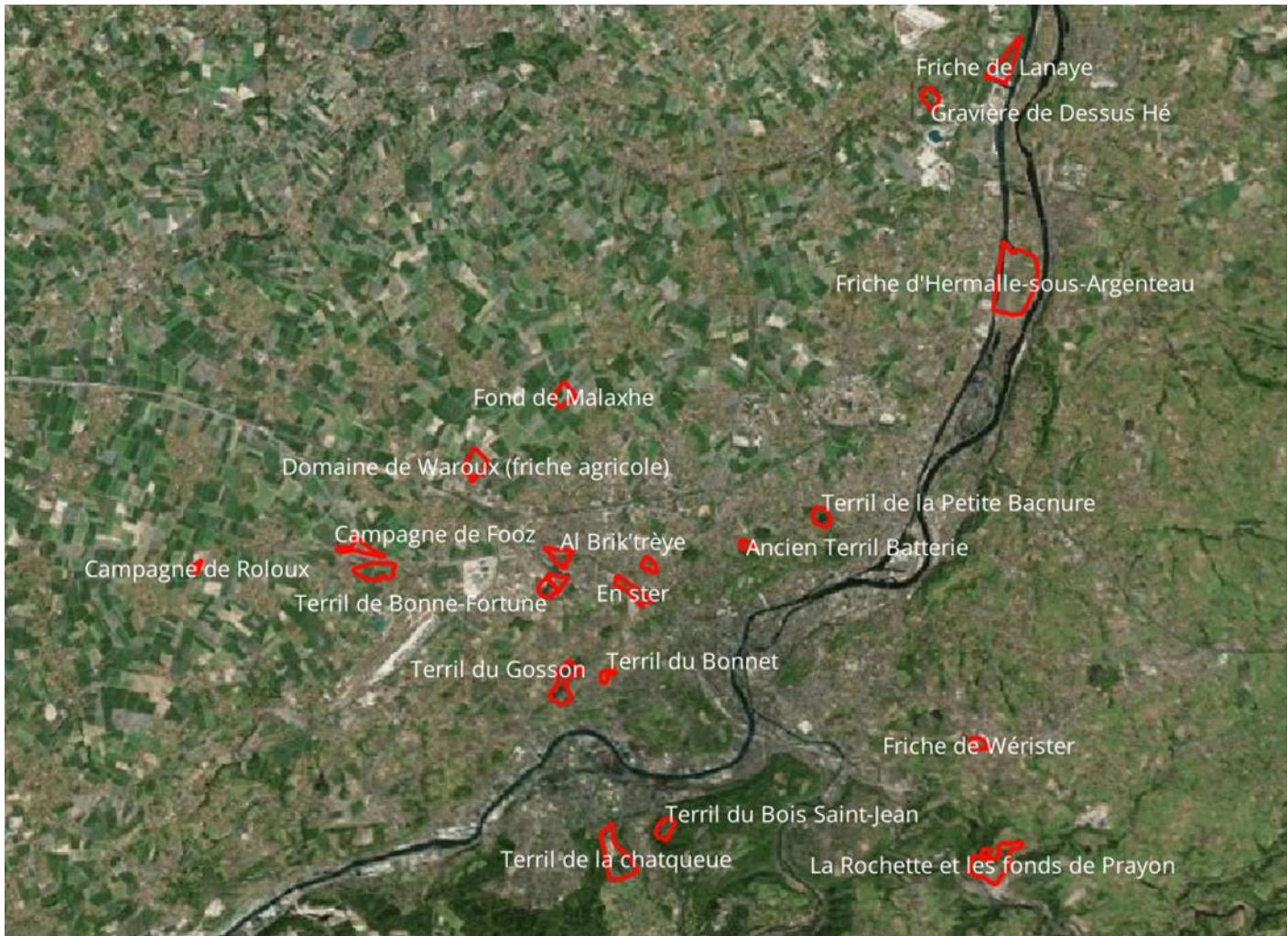


Fig. 5 : Ensemble des 18 sites sélectionnés autour de Liège.

### 3.2 Récoltes des données

La récolte des données a commencé mi-avril lorsque le temps est devenu favorable à la reproduction du crapaud calamite. Elle a duré un peu plus de trois mois, du 18 avril au 22 juillet. Six cycles ont pu être effectués sur l'ensemble des sites. Chaque cycle a duré de deux à trois semaines pour éviter de compter deux fois les mêmes pontes compte tenu du fait que la métamorphose des œufs en têtards dure de 7 à 10 jours (Bécart et al., 2007). Ainsi, chaque comptage de ponte de chaque site à chaque cycle est bien indépendant les uns des autres. Cependant, les têtards ayant un cycle de développement plus long, il est possible que les mêmes individus aient été recensés lors de cycles successifs.

Pour éviter la diffusion du *Bsal* et du *Bd* l'ensemble du matériel utilisé a été nettoyé au désinfectant Virkon entre chaque site.

Pour faciliter la prospection et éviter de recenser les mares qui ne persistent que quelques heures, les visites des différents sites ont été évités les jours de fortes pluies. Lors de chacun des passages l'entièreté de chaque site a été parcouru (en tenant compte des contraintes d'accès et de sécurité) afin de ne pas passer outre de nouvelles mares potentielles et être le plus systématique possible. En comptant les répétitions de cycle, 1692 mares ont été recensées.

### 3.3 Variables mesurées

La présence de l'espèce sur les sites de reproductions a été évaluée via deux méthodes d'inventaire standardisé non invasives : le comptage du nombre de pontes et la présence de têtards dans les mares.

La présence/absence de têtards et le comptage des pontes ont été déterminés à l'œil. Chaque mare a été inspectée méticuleusement, en particulier les berges puisque c'est en général à cet endroit que s'y trouvent les têtards. Lorsque les pontes sont regroupées en amas, elles ont été délicatement séparées pour faciliter le comptage.

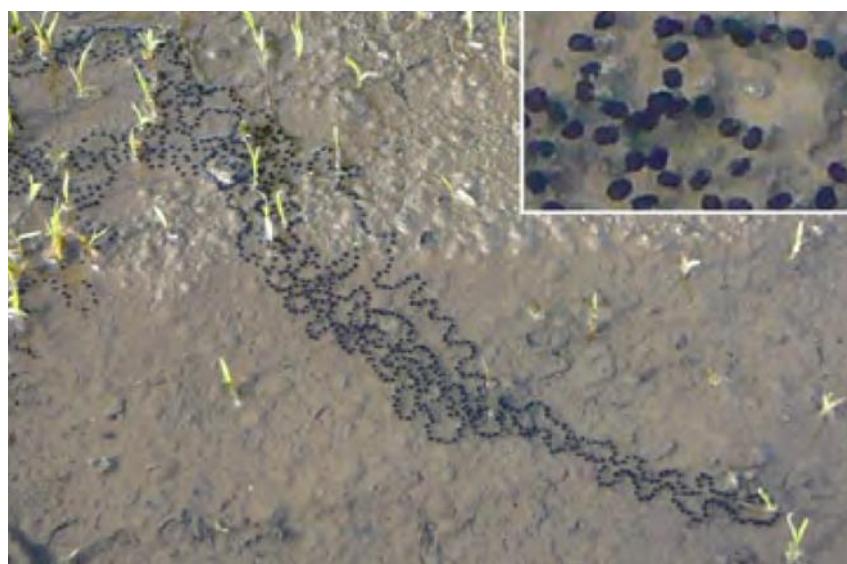
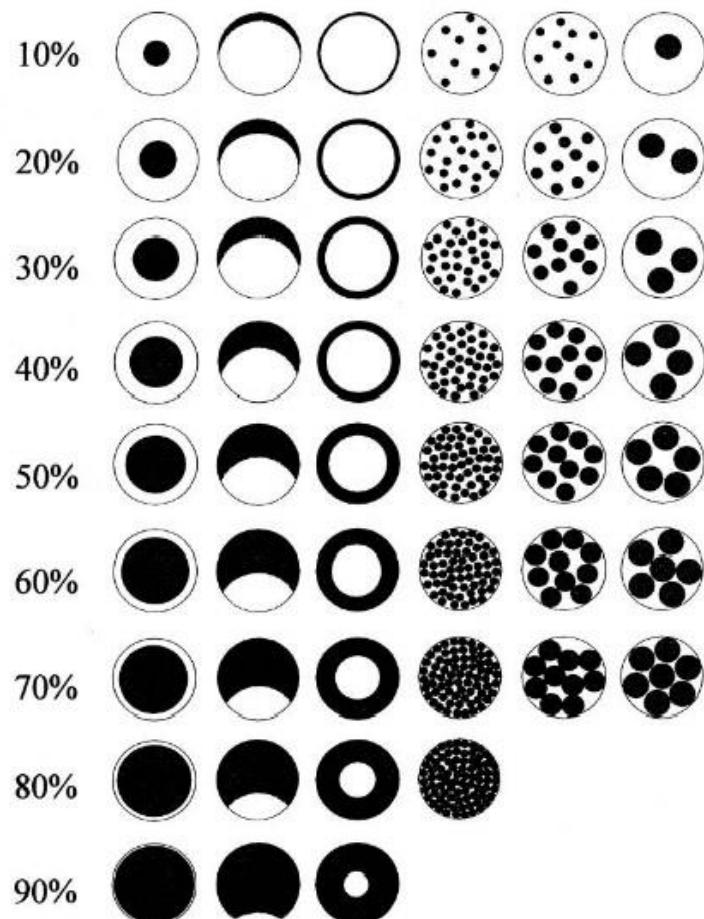


Fig. 6 : Ponte de crapauds calamites. Photo de Arnaud Laudelout.

Des paramètres environnementaux des mares pouvant influencer la présence ou l'absence du crapaud calamite ont également été mesurés. Ces paramètres ont été sélectionnés d'après la littérature et les objectifs du mémoire.

Les paramètres environnementaux mesurés sont les suivants :

- La profondeur de la mare (en cm) a été mesurée à l'aide d'une tige de mesure pliable de 3 mètres en veillant à prendre la plus grande profondeur possible.
- La longueur maximale, la largeur maximale et, lorsque nécessaire, le rayon de chaque mare ont été mesurés (en cm) à l'aide d'une tige de mesure pliable de 3 mètres. La surface de chaque mare a ensuite été calculée avec différentes estimations selon la forme de la mare. Pour les mares à prédominance carrées :  $L \times l$ , pour les mares à prédominance ronde :  $\pi \times r^2$ , pour les mares à prédominance ovales :  $\pi \times (L/2) \times (l/2)$ . Lorsque la surface de la mare était trop grande pour être mesurées à la tige pliable, sa surface a été déterminée à posteriori grâce à l'outil mesurer du site WalOnMap.
- Le recouvrement par la végétation aquatique de chaque mare a été estimé grâce à des photos de chaque mare prises lors des passages sur les sites. L'estimation a été réalisée manuellement à l'aide de la figure 7. La végétation aquatique mesurée reprend les macrophytes ainsi que les algues visibles à l'œil nu.



*Fig. 7 : Guide d'évaluation de la couverture de macrophytes. Source : (ARG-UK, 2010).*



*Fig. 8 : Evolution du recouvrement par la végétation aquatique d'une mare du terril du Bois St-Jean passant de 0% (cycle2) à 20% (cycle3) à 80% (cycle4)*

- Le caractère naturel ou artificiel de chaque mare a été déterminé à l'oeil, et les différents types de mares artificielles ont été classés comme suit : bétonnées, creusées (et bâchées), ou en plastique rigide.
- La localisation x et y Lambert de chaque mare a été enregistrée en utilisant le système de géolocalisation de l'application lobs qui est un outil destiné à l'observation et l'enregistrement de données sur la biodiversité.

Des paramètres propres aux sites ont été pris en compte lors de l'analyse statistique :

- Le nombre moyen de mares par cycle pour tous les sites ainsi que la superficie totale de ces mares.
- La surface de chaque site, calculée en  $\text{km}^2$  via la vue satellite de WalOnMap ; ainsi que la surface de la zone ouverte de chaque site, déterminée grâce à la carte « Occupation du sol en Wallonie - WALOUS 2022 » téléchargées à partir de WalOnMap et exportées sur Qgis.
- La localisation x et y Lambert de chaque site a été calculée sur Qgis via un centroïdes.

### 3.4 Encodages des données

Les données ont été encodées en utilisant l'application lobs. Ces données ont ensuite été téléchargées sur le site Observations.be puis exportées en format Excel. Certaines données utiles ont été ajoutées sur Excel puis l'ensemble des données a été exporté dans le logiciel R pour l'analyse statistique.

## 3.5 Analyses statistiques

### 3.5.1 Préférences du crapaud calamite

#### 3.5.1.1 Au niveau des mares

Pour cette analyse, seules les mares en eau pendant au moins 5 cycles consécutifs ont été sélectionnées ( $n=1215$ ). De plus, au vu du grand nombre de mares sans pontes ou larves il a été décidé de faire une analyse en présence-absence de pontes ou de larves, plutôt qu'avec l'abondance des pontes.

D'abord, des analyses descriptives ont été réalisées sur les différentes variables afin d'examiner leur distribution. Des histogrammes ainsi qu'un tableau des moyennes, médianes, valeurs maximales, minimales et écarts-types ont été générés.

Les corrélations entre les variables quantitatives ont été analysées sous la forme d'une matrice des corrélations de Spearman.

Enfin, un modèle linéaire généralisé mixte avec une distribution binomiale a été effectué. Avec ce modèle nous avons testé l'influence de la profondeur des mares, la surface des mares, le pourcentage de recouvrement par la végétation aquatique, la période de l'année via les jourjuliens et du type de mares (naturelles, bétonnées, en plastique ou creusées) sur la présence/absence de pontes et de larves (0=absence, 1 = présence). En effet aléatoire, nous avons pris en compte la variation spécifique à chaque mare au sein de chaque site. De plus, l'indice de Moran indiquant une autocorrélation spatiale positive ( $I=0.00757$  et  $P$ -valeur = 0.01956), les variables de localisation  $x$  et  $y$  ont été ajoutées au modèle. L'indice indique donc que les mares contenant des pontes et des larves ont tendance à se retrouver aux mêmes endroits.

```
glmmaries = glmer(ponte_larve ~ scale(profondeur_mares) + scale(surface_mares) + scale(recouvrement_mares) + scale(jourjuliens) + type_mares + scale(localx) + scale(localy) + (1|site:mare), data=data,family=binomial)
```

#### 3.5.1.2 Au niveau des sites

Pour cette analyse, seules les mares en eau pendant au moins 5 cycles consécutifs ont été sélectionnées ( $n=1215$ ). De plus, la somme de l'abondance des pontes et des présences de larves a été utilisée comme proxy pour estimer la population de crapauds calamites de chaque

site. En règle générale, même si imparfaite, l'abondance des pontes est privilégiée pour ce type d'analyse (Brooks et al., 2023 ; Reyne et al., 2020). Cependant, dans cette étude, le recensement des pontes semble incomplet, ce qui pourrait introduire un biais dans les résultats. L'ajout de la présence de larves permet de réduire ce biais. De plus, l'objectif n'est pas d'obtenir une estimation précise de la population de crapauds calamites, mais plutôt de disposer d'une estimation approximative permettant de réaliser des comparaisons entre les différents sites.

D'abord, une analyse descriptive avec des tableaux des moyennes, médianes, valeurs maximales, minimales et écarts-types a été réalisée sur les différentes variables afin d'examiner leur distribution.

Les corrélations entre les variables quantitatives ont été analysées sous la forme d'une matrice des corrélations de Spearman.

Enfin, un modèle linéaire généralisé avec une distribution de type Poisson a été effectué. Avec ce modèle nous avons testé l'influence de la surface du site, la surface de la zone ouverte du site, le nombre moyen de mares par site et la somme de la surface de ces mares sur l'abondance de pontes et la présence de larves.

```
glmsite = glm(ponte_larve ~ scale(surface_site) + scale(surface_zone_ouverte) + scale(nombre_moyen_mare) + scale(somme_surface_mare), family = poisson(link = "log"), data = data)
```

### 3.5.2 Assèchement des mares

La variable relative à l'assèchement des mares a été générée en distinguant les mares qui sont restées en eau pendant au moins 5 cycles consécutifs, de celles qui ne l'ont pas été (et donc qui se sont asséchées plus fréquemment). Ce choix repose sur le fait que la transformation d'une ponte en crapelet nécessite généralement entre 3 et 5 cycles consécutifs, la durée de développement étant de 5 à 9 semaines (selon la température de l'eau) (Sanuy &al, 2008). Par conséquent, une mare qui ne reste pas en eau pendant au moins 5 cycles consécutifs pourrait interrompre le développement des larves.

D'abord, des analyses descriptives ont été effectuées sur les différentes variables afin d'examiner leur distribution. Un histogramme ainsi qu'un tableau des moyennes, médianes, valeurs maximales, minimales et écarts-types a été généré.

Les corrélations entre les variables quantitatives ont été analysées sous la forme d'une matrice des corrélations de Spearman.

Pour l'analyse descriptive et les corrélations, seules les mares qui ne sont pas restées en eau pendant 5 cycles consécutifs ont été sélectionnées ( $n=477$ ) afin de pouvoir les comparer à celles qui l'ont été.

Enfin, un modèle linéaire généralisé mixte avec une distribution binomiale a été effectué sur l'ensemble des mares ( $n=1692$ ). Avec ce modèle nous avons testé l'influence de la profondeur des mares, de la surface des mares, du pourcentage de recouvrement par la végétation aquatique, de la période de l'année (jour juliens) et du type de mares (naturelles, bétonnées, en plastique ou creusées) sur l'assèchement des mares (0 = mares en eau pendant au moins 5 cycles consécutifs, 1 = mares en eau pendant moins de 5 cycles consécutifs).

```
glmasseche = glmer(assech ~ scale(profondeur_mares) + scale(surface_mares) + scale(recouvrement_mares) + scale(jourjuliens) + type_mares + (1|site:mare), data=data,family=binomial)
```

### 3.5.3 Procédure générale d'analyse statistique

Dans les différents modèles utilisés, toutes les variables explicatives quantitatives ont été préalablement standardisées en raison des différences importantes entre les unités de mesure et les ordres de grandeur des variables.

Suivant la procédure de sélection régressive (backward removal procedure), les modèles ont été simplifiés en supprimant les variables non significatives et ainsi obtenir les modèles avec les valeurs d'AIC les plus faibles.

Pour l'autocorrélation spatiale avec l'indice d'I Moran, la distance maximale de dispersion du crapaud (2000 mètres) a été choisie comme seuil de distance.

Pour ces analyses, les packages utilisés sont : gridExtra, ggplot2, reshape2, lme4, car, MASS, spdep, broom, broom.mixed, glmmTMB, dplyr, tibble et performance.

## 4 Résultats

### 4.1 Préférence du crapaud calamite

#### 4.1.1 Au niveau des mares

##### 4.1.1.1 Statistiques descriptives

Variable	Moyenne	Médiane	Maximum	Minimum	Ecart_Type
Profondeur (cm )	22.269	20.0	90.0	1.0	13.350
Surface (m2)	45.558	15.1	1834.7	0.3	167.820
Recouvrement (%)	0.115	0.0	0.9	0.0	0.201

*Fig. 9 : tableau des variables à l'échelle des mares pour les mares en eau pendant 5 cycles consécutifs.*

La profondeur a une distribution modérée au vu de l'écart-type de 13.35 par rapport à la moyenne qui est de 22.26. La moyenne et la médiane sont assez proches l'une de l'autre cela ; suggère que la distribution des données est relativement symétrique avec néanmoins quelques valeurs extrêmes au vu du maximum et du minimum.

Pour la surface il y a une très grande dispersion avec un écart type de 167 alors que la moyenne n'est que de 45. De plus, la valeur maximale est d'environ 6000 fois supérieure à la valeur minimale. La moyenne est bien plus grande que la médiane, la distribution des données est donc asymétrique. Il y a donc quelques valeurs très élevées qui tirent la moyenne vers le haut, tandis que la majorité des valeurs se situe autour de la médiane.

Pour le recouvrement, la moyenne est assez faible avec au moins la moitié des mares qui ont 0% de recouvrement au vu de la médiane. L'écart type suggère quand même une assez forte variabilité du recouvrement par rapport à la moyenne, ce qui est confirmé par le maximum qui est de 90%. La majorité des mares a donc un très faible recouvrement aquatique voire nul mais quelques mares en ont un plus élevé.

Nombre de mares par type de mares		
Naturelle		523
Artificielle	En béton	347
	Creusée	267
	En plastique	78
		692

Fig. 10 : Nombre de mares par type de mares en comptant les répétitions de cycle pour les mares en eau pendant 5 cycles consécutifs.

Les mares les plus recensées sont, par ordre décroissant, les mares naturelles, en béton, creusées, puis en plastique. Les mares artificielles ont été plus recensées que les mares naturelles.

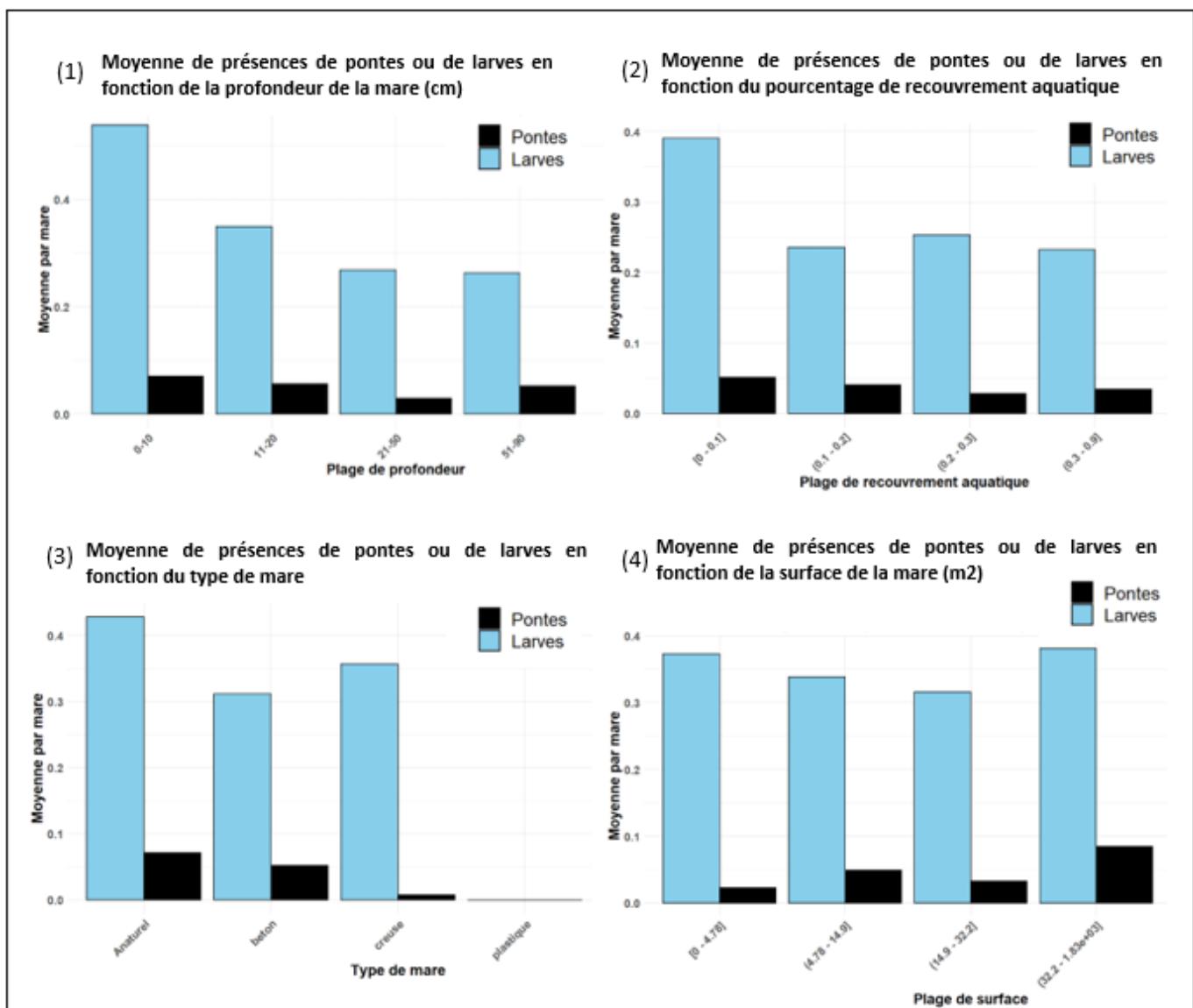


Fig. 11 : Moyenne de présences de pontes ou de larves cycle pour les mares en eau pendant 5 cycles consécutifs.

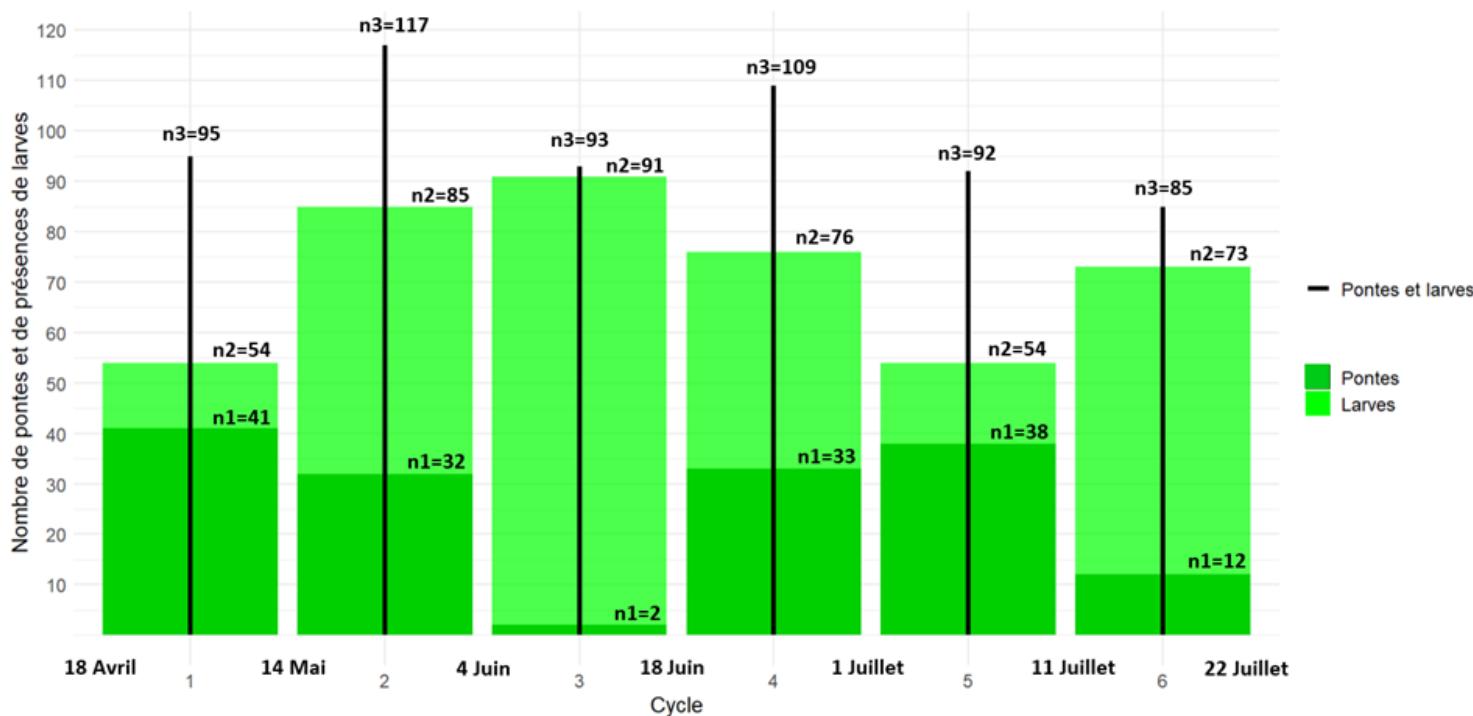


Fig. 12 : Abondance de pontes et nombre de présences de larves par cycle pour les mares en eau pendant 5 cycles consécutifs, n1 = abondance de pontes, n2 = présences de larves, n3 = somme des pontes et des larves.

Des pontes et des larves ont été recensées durant toute la période de prospection, du 18 avril au 22 juillet. Le nombre de pontes et de présences de larves le plus élevé a été enregistré durant le deuxième cycle avec respectivement 32 pontes, 85 présences de larves et donc, en tout, 117 recensements. Le nombre maximal de pontes est durant le premier cycle avec 41 pontes. Le nombre maximum de présences de larves est durant le troisième cycle avec 91 présences de têtards. Un très petit nombre de pontes fut recensé durant le troisième cycle (n1=2).

#### 4.1.1.2 Corrélation

	jourjulien	profondeur	surface
recouqua	<b>0.266 ***</b>	<b>0.255 ***</b>	<b>0.391 ***</b>
surface	-0.047	<b>0.293 ***</b>	
profondeur	<b>-0.075 **</b>		

Fig. 13 : Matrice de corrélation de Spearman avec significativité entre les variables quantitatives pour les mares en eau pendant 5 cycles consécutifs. Les coefficients significatifs sont présentés en gras, avec la p-valeur représentée par des astérisques : \* significatif avec  $p<0,05$  ; \*\* hautement significatif avec  $p<0,01$  ; \*\*\* très hautement significatif avec  $p<0,001$ . Légende : recouqua = pourcentage du recouvrement aquatique pour chaque mare, surface = surface de la mare, profondeur = profondeur de la mare.

Les trois variables (profondeur, surface et recouvrement aquatique) sont significativement et positivement corrélées, mais sans relation forte.

#### 4.1.1.3 Modèle linéaire généralisé mixte avec une distribution binomiale

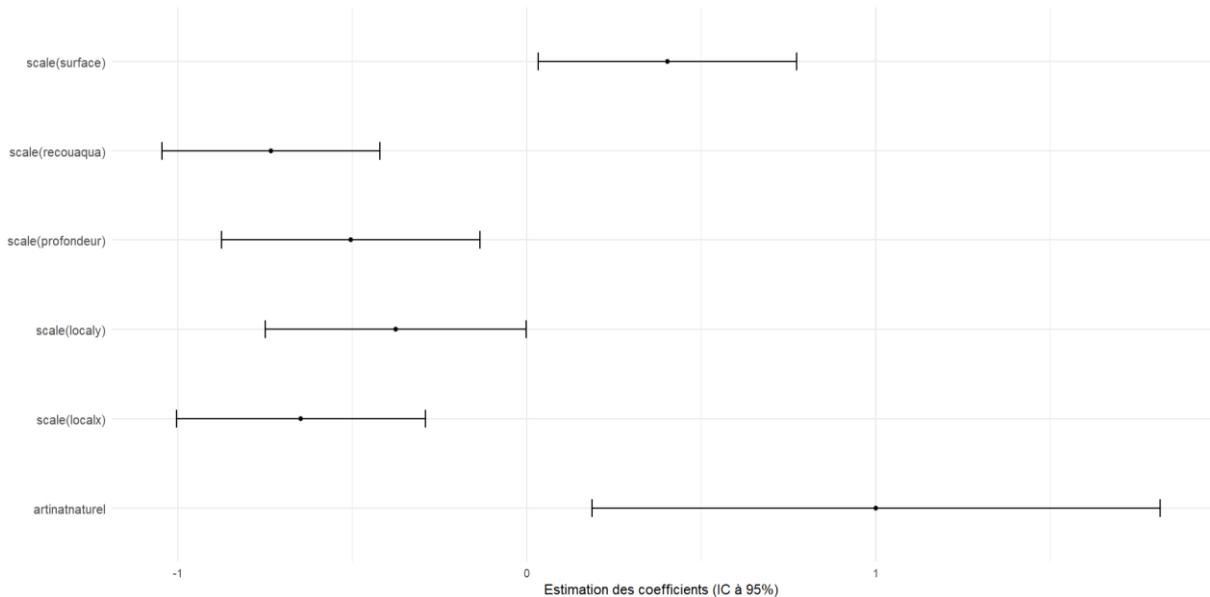
Le modèle ne convergeant pas lorsque tous les types de mares différents sont inclus (naturel, bétonnée, en plastique et creusée) seule la distinction entre naturelle et artificielle a été mise en avant.

Suivant la procédure de sélection régressive la variable des jours juliens a été enlevée du modèle. L'AIC du modèle complet est 1259.6 tandis que celui du modèle simplifié est de 1246 et la variance est de 4,229.

Les résultats statistiques se trouvent dans le tableau X et la représentation graphique du sens et de la taille des effets (intervalle de confiance) est représenté par un forest plot.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	-1.4347	0.2671	-5.371	7.81e-08	***
scale(profondeur)	-0.5043	0.1886	-2.674	0.007505	**
artinatnaturel	1.0013	0.4155	2.410	0.015956	*
scale(surface)	0.4037	0.1888	2.139	0.032438	*
scale(recouqua)	-0.7333	0.1591	-4.608	4.06e-06	***
scale(localx)	-0.6473	0.1819	-3.559	0.000372	***
scale(localy)	-0.3754	0.1912	-1.964	0.049562	*

Fig. 14 : Résultat statistique du glmmates.



*Fig. 15 : forest plot des coefficients du Glmmates pour les variables à l'échelle des mares. Légende : recouaque = pourcentage du recouvrement aquatique pour chaque mare, surface = surface de la mare, profondeur = profondeur de la mare, artinatnaturel = type de mare naturel, localy = localisation Y lambert et localx = localisation X lambert.*

La probabilité de présence de l'espèce augmente avec la surface de la mare et dans des mares de type naturel. Au contraire, elle diminue lorsque la profondeur de la mare et le pourcentage par le recouvrement aquatique augmentent.

#### 4.1.2 Au niveau des sites

##### 4.1.2.1 Statistiques descriptives

Variable	Moyenne	Médiane	Maximum	Minimum	Ecart_Type
Nombre moyen de mares	11.379	6.835	38.000	1.000	10.550
Surface du site (km <sup>2</sup> )	0.259	0.224	0.707	0.069	0.168
Surface de la zone ouverte (km <sup>2</sup> )	0.152	0.124	0.333	0.017	0.101
Surface totale des mares (m <sup>2</sup> )	513.074	294.170	2026.263	32.857	621.792

*Fig. 16 : tableau des variables à l'échelle des sites.*

Les variables surface du site, et surface de la zone ouverte présentent des distributions relativement concentrées, avec des écarts-types modérés et des médianes proches des moyennes, suggérant des distributions plutôt symétriques. Il y a cependant quelques valeurs extrêmes comme le montrent le maximum et le minimum de chaque variable.

Le nombre moyen de mares par sites et la surface totale des mares montrent une forte asymétrie dans la distribution des données avec une moyenne élevée par rapport à la médiane qui indique la présence de valeurs extrêmes influençant fortement la moyenne vers le haut.

De plus, l'écart-type important par rapport à la moyenne indique une grande dispersion des données.

Variable	Moyenne	Médiane	Maximum	Minimum	Ecart_Type
Nombre de pontes et présences de larves	32.83	30	105	2	29.18
Nombre de pontes	8.78	4	46	0	12.70
Présences de larves	24.06	23	64	1	20.85

Fig. 17 : tableau du nombre de pontes, de présences de larves et leur somme par site.

Pour la variable « Nombre de pontes et présences de larves » et « présences de larves » la moyenne et la médiane sont proches l'une de l'autre, ce qui indique une distribution relativement symétrique malgré des valeurs extrêmes comme le montre l'amplitude entre maximum et le minimum. L'écart type est presque égal à la moyenne reflétant une grande distribution des données entre les sites.

Pour la variable « nombre de pontes » la moyenne est plus de deux fois supérieure à la médiane. Cela traduit une distribution asymétrique et la présence de valeurs extrêmes élevées mais peu fréquentes. La majorité des observations sont faibles (médiane de 4), mais quelques pontes très élevées tirent la moyenne vers le haut. L'écart type élevé indique une forte dispersion entre les sites.

#### 4.1.2.2 Corrélations

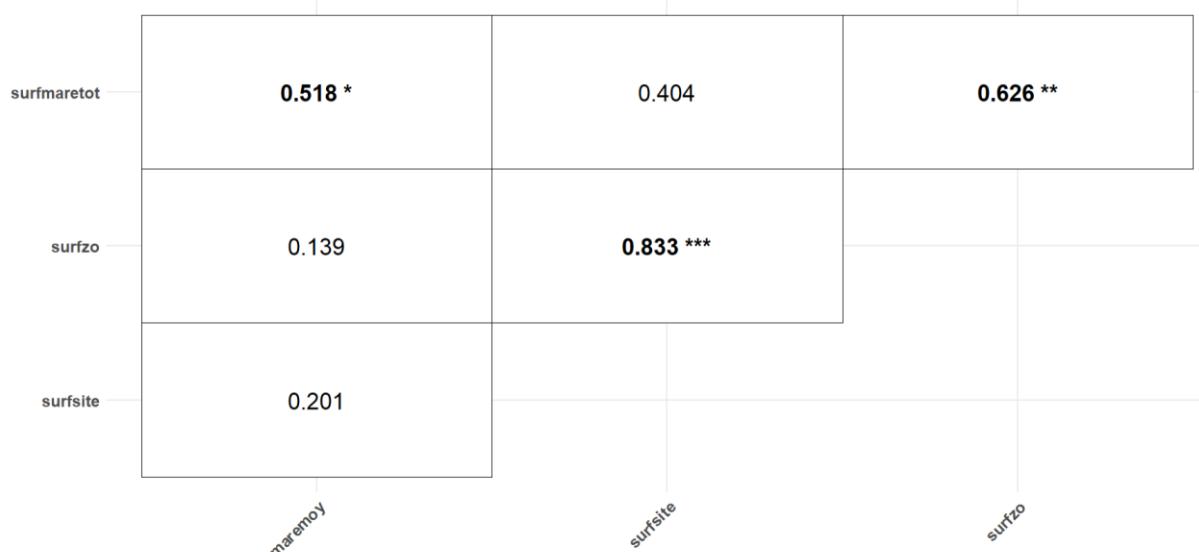


Fig. 18 : Matrice de corrélation de Spearman avec significativité entre les variables des sites. Les coefficients significatifs sont présentés en gras, avec la p-valeur représentée par des astérisques : \* significatif avec  $p<0,05$  ; \*\* hautement significatif avec  $p<0,01$  ; \*\*\* très hautement significatif avec  $p<0,001$ . Légende : surfzo = surface de la zone ouverte du site, surfsite = surface du site, surfmaretot = surface totale des mares du site et maremoy = nombre moyen de mares par site.

La surface du site est positivement et significativement corrélée à la surface de la zone ouverte. La variable de la surface totale des mares est corrélée positivement et significativement à la variable du nombre de mares moyen et de la surface de la zone ouverte.

#### 4.1.2.3 Modèle linéaire généralisé

La variable de la surface du site a été retirée du modèle car elle est en multicolinéarité avec la variable surface de la zone ouverte. Suivant la procédure de sélection régressive la variable de la surface totale des mares a été retirée du modèle. L'AIC de modèle complet est 368 tandis que celui du modèle simplifié est de 367.

Les résultats statistiques se trouvent dans le tableau X et la représentation graphique du sens et de la taille des effets (intervalle de confiance) est représenté par un forest plot.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	3.36017	0.04577	73.406	< 2e-16 ***
scale(surfzo)	0.11974	0.04437	2.699	0.00696 **
scale(maremoy)	0.45146	0.03644	12.387	< 2e-16 ***

Fig. 19 : Résultat statistique du glmsite.

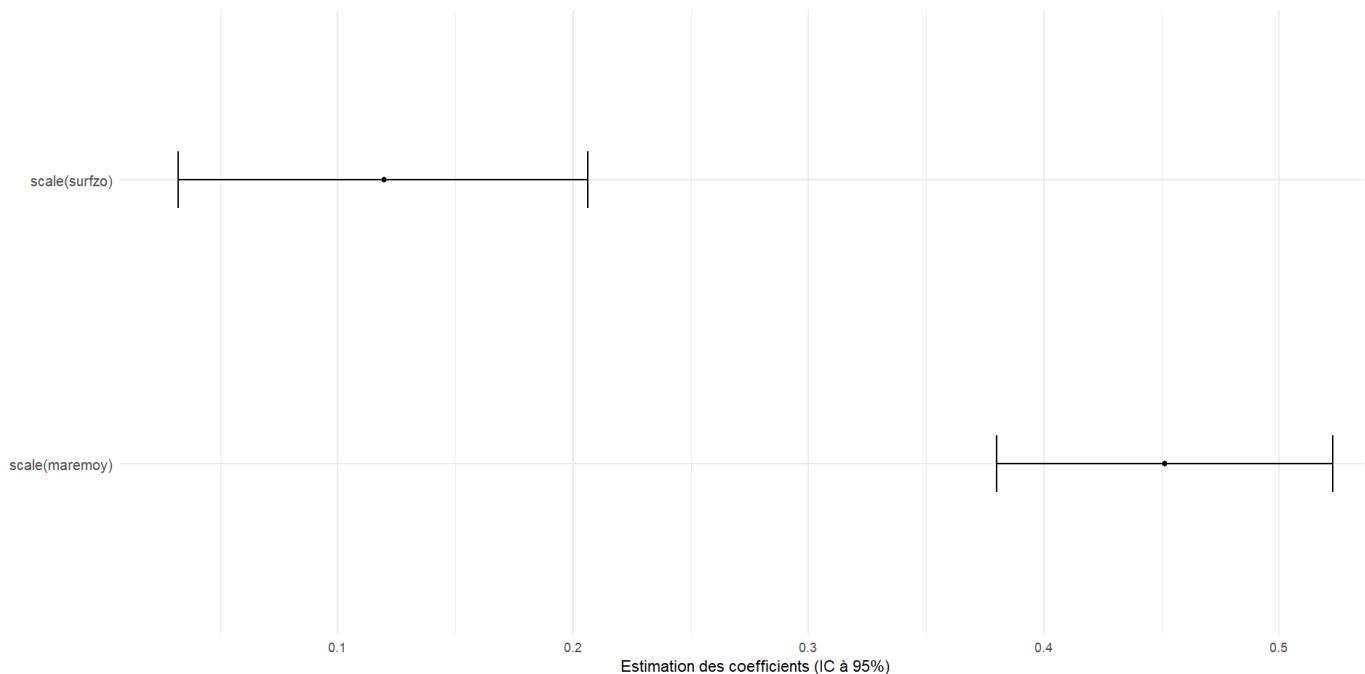


Fig. 20 : forest plot des coefficients du glmsite pour les variables à l'échelle des sites. Légende : surfzo = surface de la zone ouverte du site, maremoy = nombre moyen de mares par site.

Les sites ayant les plus grandes populations sont ceux ayant le plus grand nombre moyen de mares et ceux ayant la zone ouverte la plus importante.

## 4.2 Assèchement des mares

### 4.2.1 Statistiques descriptives

Variable	Moyenne	Médiane	Maximum	Minimum	Ecart_Type
Profondeur	9.630	9.00	25.0	2.00	4.430
Surface	12.970	5.53	168.0	0.13	19.640
Recou Aqua	0.055	0.00	0.9	0.00	0.104

Fig. 21 : tableau des variables à l'échelles des mares pour les mares en eau pendant moins de 5 cycles consécutifs. Profondeur en cm, surface en  $m^2$ , recouvrement aquatique (recou aqua) en pourcentage.

La distribution de mes données est similaire à la distribution observée pour les mares en eau pendant au moins 5 cycles consécutifs (cf. figure 9), cependant les valeurs sont inférieures.

### 4.2.2 Corrélation



Fig. 22 : Matrice de corrélation de Spearman avec significativité entre les variables quantitatives pour les mares en eau pendant moins de 5 cycles consécutifs. Les coefficients significatifs sont présentés en gras, avec la p-valeur représentée par des astérisques : \* significatif avec  $p<0,05$  ; \*\* hautement significatif avec  $p<0,01$  ; \*\*\* très hautement significatif avec  $p<0,001$ . Légende : recouqua = pourcentage du recouvrement aquatique pour chaque mare, surface = surface de la mare, profondeur = profondeur de la mare.

Les trois variables (profondeur, surface et recouvrement aquatique) sont significativement et positivement corrélées, mais sans relation forte.

### 4.2.3 Modèle linéaire généralisé mixte avec une distribution binomiale

Le modèle ne convergeant pas lorsque tous les types de mares différents sont inclus (naturel, bétonnée, en plastique et creusée), seule la distinction entre naturelle et artificielle a été mise en avant.

Suivant la procédure de sélection régressive la variable des jours julien et la variable du pourcentage de recouvrement par la végétation aquatique a été enlevée du modèle. L'AIC du modèle complet est de 376,3 tandis que celui du modèle simplifié est de 370,2.

Les résultats statistiques se trouvent dans le tableau X et la représentation graphique du sens et de la taille des effets (intervalle de confiance) est représentée par un forest plot.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
(Intercept)	-14.553	1.640	-8.875	<2e-16	***
scale(profondeur)	-3.292	1.481	-2.223	0.0262	*
artinatnaturel	25.012	2.027	12.339	<2e-16	***
scale(surface)	-5.141	2.864	-1.795	0.0727	.

Fig. 23 : Résultat statistique de la glmasseche.

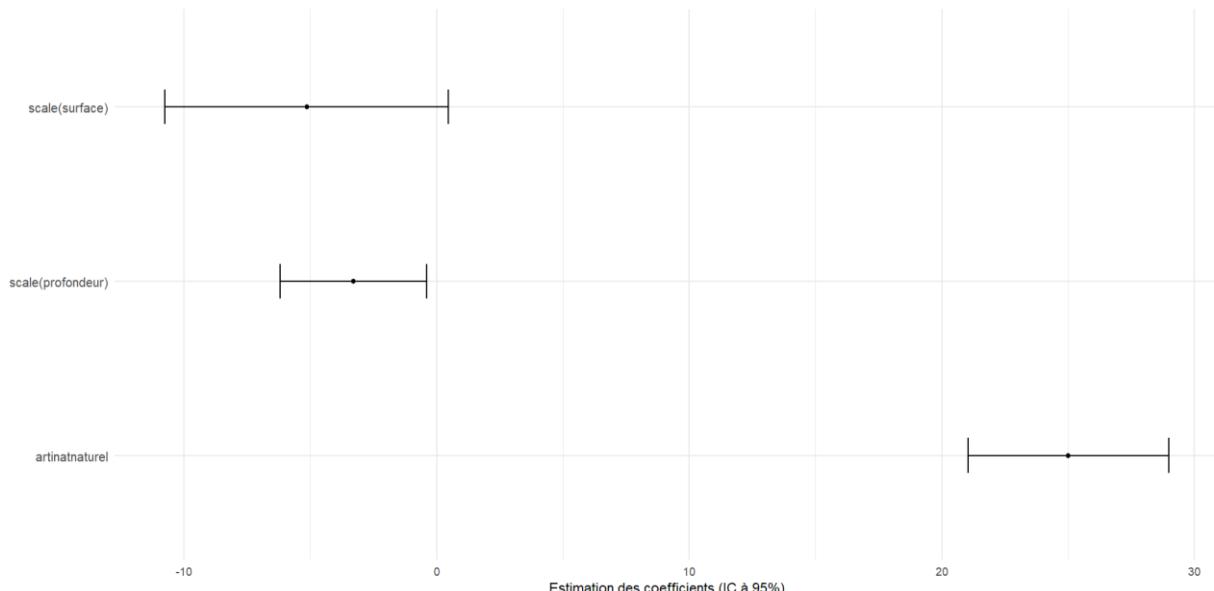


Fig. 24 : forest plot des coefficients du glmasseche. Légende : surface = surface de la mare, profondeur = profondeur de la mare, artinatnaturel = type de mare naturel.

Ce sont les mares naturelles et ayant une faible profondeur qui ont le plus de risque d'assèchement.

## 5 Discussion

### 5.1 Préférences du crapaud calamite

#### 5.1.1 Au niveau des mares

Les mares présentent une grande hétérogénéité en termes de dimensions, tant en surface qu'en profondeur. Les observations couvrent un large éventail, allant de petites flaques peu profondes à des mares vastes et plus profondes. Il y a également des mares de types puits, c'est-à-dire des mares profondes et étroites, mais aussi le contraire, des mares peu profondes ayant une très grande surface.

Un idéal de profondeur de 10 à 20 cm est énoncé dans la littérature (Laudelout, 2016). Dans cette étude, cet idéal ne semble pas respecté car les profondeurs pour lesquelles on a le plus de chances de retrouver des pontes ou de larves sont les profondeurs en dessous de 10cm. De plus une valeur seuil de 50 cm est aussi renseignée dans la littérature (Denton et al., 1997). Cette valeur semble respectée car il y a plus de chance de retrouver des pontes en dessous de 50 cm qu'au-dessus et on observe aussi une tendance d'une diminution de présences de pontes et de larves plus la profondeur augmente. Néanmoins plusieurs pontes et larves ont été retrouvées dans des mares de plus de 50cm. Cependant, en analysant plus attentivement ces mares, on constate que toutes les mares ayant une profondeur supérieure à 50 cm et où des pontes ou des larves ont été recensées, ont une grande surface et un faible recouvrement aquatique (au maximum 30 %). De plus, elles possèdent une berge en pente douce (confirmée par des photos personnelles) permettant aux larves de profiter de bords de berges plus chauds et donc plus favorables à leur développement (Laudelout, 2016 ; Denton et al., 1997). Les mares étant aussi profondes mais de plus petite surface et ayant une pente abrupte (mares de type puits) n'ont jamais hébergé de pontes ou de larves. Ces observations suggèrent que le crapaud calamite serait capable de pondre dans des mares plus profondes, à condition que celles-ci possèdent un minimum de caractéristiques environnementales favorables.

En ce qui concerne le recouvrement aquatique le crapaud calamite semble privilégier les mares avec le plus petit recouvrement pour sa reproduction. En effet, les mares avec une grande végétation aquatique sont évitées par cette espèce (Laudelout, 2016 ; Mermod, 2010). Cependant il faut prendre en considération le biais selon lequel une importante végétation aquatique rend les pontes moins visibles. Il est donc possible que certaines pontes aient été

présentes, mais qu'elles n'aient pas été recensées. Pour la surface, le crapaud calamite semble privilégié les mares de grande surface.

Pour le type de mares il semble que le crapaud calamite privilégie les mares naturelles aux mares artificielles en particulier les mares en plastique où aucune ponte ni larve n'a jamais été retrouvée. Cela peut être expliqué par le fait que les mares en plastique présentent une grande profondeur (en moyenne 40cm) et ont une pente de berge abrupte ; or ces facteurs influencent négativement la présence de pontes ou de larves (Laudelout, 2016 ; Denton et al., 1997).

Les résultats ne semblent pas indiquer une préférence du crapaud calamite pour un moment particulier de l'année, car les variables « cycle » et « jour julien » sont toutes deux non significatives. Cette observation pourrait s'expliquer par les précipitations exceptionnelles de cette année, sans épisodes de canicule, permettant au crapaud calamite de se reproduire durant toute cette période sans interruption (IRM, 2024).

Ainsi, ces résultats confirment l'hypothèse initiale selon laquelle le crapaud calamite préfère les mares à faible recouvrement aquatique et à faible profondeur. Cependant, ces résultats révèlent également que le crapaud semble privilégier les mares de grande surface et les mares de type naturel, ces informations n'avaient pas été mises dans l'hypothèse. De plus l'hypothèse d'un pic de reproduction en mai-juin n'est pas non plus rencontrée.

### 5.1.2 Au niveau des sites

La figure 17 révèle des variations importantes entre les sites en termes de nombre de pontes et de présence de larves. Ces différences s'expliquent par l'influence de deux variables : le nombre de mares disponible pour sa reproduction et la taille de la zone ouverte où le sol est nu ou couvert d'une végétation herbacée basse nécessaire pour la chasse de sa nourriture à vue.

En effet, un site avec un nombre élevé de mares et une grande zone ouverte a une probabilité accrue d'abriter un grand nombre de pontes et de larves. Cependant, l'effet du nombre de mares est près de deux fois plus important que celui de la surface de la zone ouverte, ce qui en fait le facteur prédominant pour la taille de la population de crapauds calamites sur un site. Ces résultats s'expliquent par les besoins écologiques du crapaud calamite qui, pour se reproduire, recherche principalement deux conditions : d'abord la présence de points d'eau

temporaires et ensuite un milieu ouvert. De plus, la taille d'une population est avant tout liée au nombre de mares temporaires car même si un site possèdent un grand milieu ouvert si celui-ci n'a pas un nombre suffisant de mares temporaires, une population de crapauds calamites ne peut pas être viable (Van Eekelen, 2005 ; Mermod, 2010).

Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle le site optimal pour le crapaud calamite est un site ayant un grand nombre de mares et une vaste zone ouverte. Ils confirment aussi que la surface du site n'a pas d'importance. De plus, il semble que le nombre de mare d'un site soit plus important que la surface totale de ces mares, ainsi il est préférable qu'un site ait plusieurs mares plutôt qu'une seule grande mare. Cette information n'avait pas été mise dans l'hypothèse. Cela peut s'expliquer par la stratégie de minimisation des risques (bet hedging strategy) utilisée par de nombreux amphibiens pour faire face à un environnement imprédictible. En effet, si les pontes et les têtards sont dans plusieurs mares différentes, cela permet de diminuer leur mortalité lorsqu'une partie des mares s'assèche. Au contraire, lorsque toutes les pontes se retrouvent dans une seule mare, si celle-ci s'assèche, l'ensemble de la reproduction est perdu. Cette stratégie permet aussi de diminuer la compétition intraspécifique (Simons, 2011 ; Erich et al., 2015).

## 5.2 Assèchement des mares

Les mares qui ont tendance à s'assécher plus fréquemment sont en moyenne 60 % moins profondes que les autres mares. De manière similaire, leur surface est environ 65 % plus petite. Leur recouvrement par la végétation aquatique est également réduit en moyenne de 55 %, en effet un manque d'eau prolongé entrave la prolifération de la végétation aquatique qui est incapable de survivre.

Plus une mare à une petite profondeur plus elle a de chance de s'assécher. Cependant, une baisse de la surface semble ne pas avoir d'effet significatif. Ainsi une mare ayant une grande surface mais une petite profondeur a un risque d'assèchement même si sa masse d'eau est importante.

De plus, les mares naturelles ont une probabilité plus élevée de s'assécher. Cette tendance peut s'expliquer par le fait que les mares artificielles sont généralement construites avec une profondeur minimum afin de, justement, limiter leur assèchement. En outre les mares

artificielles bénéficient d'une meilleure perméabilité ce qui limite les pertes via l'infiltration de l'eau dans le sol. Les mares artificielles ont donc moins tendance à s'assécher que les mares naturelles et encore plus cette année au vu des précipitations exceptionnellement importantes (IRM, 2024).

Ces résultats valident l'hypothèse selon laquelle les mares de faible profondeur sont plus sujettes à l'assèchement et que le pourcentage de recouvrement par la végétation aquatique n'exerce pas d'influence significative. Cependant, ces résultats révèlent également que la surface des mares n'a pas d'effet significatif sur l'assèchement, ce qui contredit l'hypothèse. Par ailleurs, le type de mare apparaît comme un facteur déterminant, les mares naturelles étant plus vulnérables à l'assèchement que les mares artificielles, cette information n'avait pas été anticipée dans l'hypothèse.

Au total, dans cette étude, 27 % des mares recensées ne sont pas restée en eau pendant 5 cycles consécutifs. 35 pontes sur 200 (soit 17,5 %) et 85 présences de larves sur 528 (soit 16 %) se trouvent dans ces mares, ce qui représente 16,5 % des pontes et de présences de larves qui sont susceptibles d'être perdues pour la reproduction en raison de l'assèchement précoce de ces mares. Cependant, il y a une différence importante entre les sites. Ainsi pour le site de Lanaye, où la variabilité du nombre de mares par cycle est la plus élevée, 32 % des pontes se trouvent dans des mares plus sujettes à l'assèchement. En revanche, au terril du Bonnet, où la variabilité est parmi les plus faibles, ce chiffre n'est que de 11 %.

Ces pourcentages montrent que les mares utilisées pour la reproduction du crapaud calamite ont des durées variables. Toutefois, des preuves de reproduction sont plus fréquemment observées dans les mares ayant une durée plus longue. Bien que le crapaud calamite nécessite des mares temporaires pour sa reproduction, ces mares doivent rester en eau pendant une période minimale de 5 à 9 semaines (selon la température de l'eau) pour permettre aux larves de compléter leur cycle de développement, de se transformer en crapelets et de quitter l'eau (Sanuy &al, 2008). Ainsi, une mare qui s'assèche trop rapidement n'est pas favorable au crapaud calamite, car les pontes et têtards n'ont pas le temps de se développer pleinement.

### 5.3 Conclusion pour la préférence du crapaud calamite et de l'assèchement

Ainsi, la mare optimale pour la reproduction du crapaud calamite doit avoir une faible profondeur, un léger recouvrement en végétation aquatique ainsi qu'une grande surface. La mare doit aussi être exposée au soleil et en pente douce. Pour soutenir une importante population, cette mare doit se situer dans un site caractérisé par une vaste zone ouverte et un grand réseau de mares.

Néanmoins, même en présence de conditions optimales à l'échelle de la mare et du site, l'assèchement conditionne le succès reproducteur. En effet, dans le futur, les amphibiens devront faire face à une aridité croissante et à des sécheresses plus prononcées entraînant des pertes d'habitat ; ces conditions arides augmenteront aussi la baisse des précipitations Wu *et al.* (2024). Ces changements entraînent un assèchement prématué des mares amenant inévitablement à la mortalité des pontes et des larves (Lertzman-Lepofsky *et al.*, 2020). Au vu des résultats de cette étude, le choix d'habitat de l'espèce apparaît comme non optimal pour assurer sa survie.

Cependant, il existe un effet antagoniste entre l'assèchement et le réchauffement des mares. Effectivement, les larves dans des mares plus chaudes ont une métamorphose plus rapide. Ainsi, les larves peuvent tolérer, dans une certaine mesure, l'assèchement plus rapide des mares grâce à des mécanismes d'adaptation. Toutefois, les juvéniles ayant eu une métamorphose plus rapide lors de leur stade larvaire dû à un assèchement précoce de leurs mares ont une taille et une masse corporelle plus faibles impactant leur fitness (Brannelly *et al.*, 2019 ; O'Regan *et al.*, 2014 ; Székely *et al.*, 2017).

Ainsi, afin de réduire les risques d'assèchement et augmenter les chances de survie des larves et des juvéniles, la profondeur des mares ne doit pas être trop faible. De plus, la préférence pour les mares les moins profondes n'est pas exclusive, de nombreuses pontes et larves ayant été trouvées dans des mares de profondeurs variées. Par ailleurs, les résultats de cette étude indiquent que le crapaud calamite peut pondre dans des mares plus profondes dès lors que celles-ci possèdent certaines caractéristiques environnementales propices.

## 6 Limites

Une première limite de cette étude est que la phase de terrain n'a pas couvert l'intégralité de la période de reproduction en raison de contraintes organisationnelles et de délais. En effet, la période de reproduction s'étend d'avril à septembre (Graitson et Denoël, 2007) mais la phase de terrain a duré du 18 avril au 22 juillet. L'idéal aurait été de continuer le recensement jusqu'en septembre afin de mieux analyser l'effet de la période de l'année sur la reproduction et sur les différentes variables. Par ailleurs, les conditions météorologiques ont exercé une influence importante sur l'échantillonnage. En effet, le printemps et l'été 2024 ont été marqués par des précipitations exceptionnellement élevées (IRM, 2024). Cette pluviométrie exceptionnelle a biaisé le recensement en favorisant la formation de mares temporaires qui n'auraient vraisemblablement pas existé lors de périodes plus sèches. En conséquence, le nombre de mares observées par site est probablement surestimé par rapport aux années où les précipitations sont inférieures à la moyenne, surtout pour les sites où la majorité des mares sont naturelles.

Une deuxième limite est que l'abondance des pontes a été probablement sous-estimée pour plusieurs sites. En effet, bien que plusieurs dizaines de présences de larves aient été observées sur certains sites, les pontes y étaient rares, voire absentes. Cette sous-estimation s'explique notamment par la fréquence des relevés, réalisés toutes les deux semaines, alors qu'une ponte n'est généralement visible que durant une période de 7 à 10 jours (Bécart et al., 2007). Par ailleurs, la détection des pontes peut être entravée par la turbidité de l'eau, une profondeur importante ou une végétation aquatique importante. L'idéal aurait été d'augmenter la fréquence des relevés à une fois toutes les semaines pour les pontes et de fournir un effort d'échantillonnage plus importante pour les mares où les pontes sont moins visibles. Afin de réduire ce biais, les analyses statistiques ont été fondées sur l'ensemble des observations, en combinant les données relatives aux pontes et aux larves.

Une autre limite importante est que d'autres variables que celles mesurées (surface, profondeur, recouvrement aquatique), auraient pu être prises en compte pour analyser la préférence des mares de manière plus optimale. Notamment l'ensoleillement, car il influence directement la température de l'eau, un paramètre important pour le développement larvaire. Cependant, dans le cadre de cette étude, l'extrême majorité des mares (>95%) sont

situées en plein ensoleillement, ce qui aurait probablement limité la pertinence d'une comparaison entre mares ensoleillées et ombragées.

L'ensoleillement aurait également pu être intégré à l'analyse de l'assèchement des mares, car les mares fortement exposées sont plus vulnérables à l'assèchement. L'ensoleillement présente toutefois un paradoxe : si une mare ensoleillée s'assèche plus rapidement, l'élévation de température qui en découle accélère le développement larvaire, réduisant ainsi la durée nécessaire à la métamorphose en crapelet (Sanuy & al., 2008 ; Székely et al., 2017). D'autres variables, comme la perméabilité du sol, jouent également un rôle clé dans la persistance des mares, mais n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Une autre variable qui aurait été intéressante de prendre en compte est le degré de pente des mares car une pente douce permet aux larves de profiter de bords de berges plus chauds et donc plus favorables à leur développement (Laudelout, 2016 ; Denton et al., 1997).

Une dernière limite est que selon cette étude, le crapaud calamite privilégie les mares naturelles aux mares artificielles, en particulier les mares en plastique, où aucune ponte ni larve n'a été observée. Toutefois, dans certains sites, le crapaud calamite n'a pas le choix que de pondre dans des mares naturelles en l'absence de mares artificielles. Idéalement, cette analyse aurait dû être réalisée uniquement sur des sites offrant à la fois des mares naturelles et artificielles, accessibles de manière égale. Cependant, cette condition est difficile à réunir dans un contexte d'étude sur le terrain.

## 7 Applications concrètes et perspectives

Plusieurs sites de cette étude pourraient bénéficier de diverses mesures de conservation.

En premier lieu la réalisation de mares artificielles, en particulier pour les sites ne disposant pas de mares profondes pour empêcher l'assèchement de l'ensemble du réseau de mares lors de périodes de sécheresse. Cette intervention est également essentielle pour les sites disposant d'un nombre limité de mares, incapables de soutenir une population viable (Van Eekelen, 2005). Comme mentionné précédemment, le crapaud calamite peut pondre dans des mares de profondeur variée, y compris dans des mares dépassant 50 cm de profondeur si celles-ci possèdent plusieurs caractéristiques favorables. Dès lors, dans le contexte de baisse de précipitations actuelles, il vaut mieux privilégier la réalisation de mares plus profonde et pérennes, plutôt que des mares peu profondes qui, bien que favorisées par l'espèce, sont susceptibles de s'assécher durant la période de reproduction, risquant ainsi une perte de larves et de pontes.

Les mares doivent donc allier attractivité pour l'espèce et une hydropériode adaptée au développement larvaire. Ainsi pour que ces mares artificielles soient aussi attractives que des mares naturelles moins profondes, les mares artificielles doivent être conçues avec plusieurs étages de profondeurs. Il y aurait ainsi une forte attractivité pour le crapaud calamite avec des profondeurs faibles et une possibilité de refuge pour les têtards dans des endroits plus profonds en cas d'assèchement. Cela permet en plus d'améliorer la probabilité que des mares de profondeurs adaptées soient accessibles pendant toute la période de reproduction (Denton et al., 1997). En outre différentes profondeurs permettent de créer des microhabitats thermiques et donc des endroits plus chauds, favorables au développement rapide des têtards (Freidenburg et al., 2004). Ces mares devront en plus être situées dans un milieu ouvert et ensoleillé du site et chaque mare devra avoir une pente douce. Si possible, il faut favoriser les mares en béton car elles ont la durabilité la plus élevée (laudelout, 2016). Les sites qui pourraient bénéficier de la construction de mares sont le terril de la petite Bacnure, le terril de Batterie Ancien, le parc des Coteaux, la campagne de Fooz, le terril de la chatqueue, la friche de Lanaye, le site du Fond de Malaxhe. En outre, les sites disposant déjà de mares artificielles (le terril de Batterie Ancien, le Parc des coteaux, Le terril du Gosson, le site du Fond

de Malaxhe et le site du Trilogiport) mais mal entretenues nécessitent une restauration, si cela est moins coûteux et plus réalisable que d'en construire de nouvelles.

Une deuxième mesure de conservation d'importance primordiale est de maintenir un milieu ouvert. En effet, celui-ci est nécessaire à l'écologie du crapaud calamite pour la chasse de sa nourriture à vue (Laudelout, 2016). Une gestion récurrente des sites est donc requise. Tous les sites sont globalement concernés sauf les sites en milieu agricole puisque l'agriculteur met régulièrement le sol à nu lors de ses récoltes. Les sites où il y a un fort passage de véhicules lourds et de motos sont aussi moins impactés par une reprise de la végétation car le passage répété d'engins contribue à garder le milieu ouvert (Graitson et Denoël, 2007).

Pour les sites en milieu agricole, des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) peuvent être mises en place en concertation entre Natagriwal et les agriculteurs. Notamment la mesure de « bandes aménagées » qui permet la création de milieux favorables à l'espèce et de reconstituer des corridors écologiques en dehors de la zone d'épandage de pesticide (Natagriwal, 2024). Ces corridors permettent à l'espèce de se disperser plus facilement pour coloniser de nouveaux sites (Laudelout, 2016). Les sites qui pourraient bénéficier de ces mesures sont la campagne de Roloux, le domaine de Waroux et le site de Bierset.

Plusieurs sites sont soumis à des passage répétés de véhicules lourds ou de motos ; pour ces sites des balisages de flaques semblent la mesure la plus facile à mettre en place lorsque le transfert de pontes vers des mares moins impactées n'est pas possible. Cependant, le coût en temps humain étant élevé, une sensibilisation des propriétaires/gestionnaires des sites devrait être privilégié. Les sites concernés sont : La campagne de Fooz, le terril de la Chatqueue, la friche de Lanaye, La Rochette, Le site de la Rochette, l'ancienne gravière de So hé.

Une minorité de sites sont protégés de l'urbanisation. En effet, seulement 6 sites sont entièrement dans un secteur classé comme non urbanisable au plan de secteur (le Terril de Batterie Ancien, le site de la Rochette, Le site du Fond de Malaxhe, l'ancienne gravière de So Hé et le site du Bois Saint-Jean). Les autres sites pourraient donc faire l'objet de construction, ce qui entraînerait la disparition de la population locale de crapauds calamites. Pour les sites non protégés communaux il faudrait prévenir les autorités compétentes de la présence d'espèces protégées pour que toute dégradation du milieu soit empêchée. Pour les sites

privés il faudrait sensibiliser le propriétaire du site pour trouver des compromis afin de limiter les constructions susceptibles de nuire à l'espèce.

Enfin, il est essentiel d'informer la population sur la biodiversité qui les entoure. La majorité des sites se trouvent dans des milieux urbanisés, où les passages de promeneurs, motards, et autres usagers sont fréquents. Pourtant, ces derniers ignorent souvent que, par exemple, des têtards de crapauds calamites vivent dans les mares aux alentours. Or, il a été démontré qu'informer les citoyens sur la biodiversité locale contribue à les sensibiliser et à encourager des comportements plus respectueux envers leur environnement. La mise en place de panneaux informatifs ou de balades didactiques occasionnelles est la manière la plus aisée d'informer la plus grande part de la population possible (Bougrain-Dubourg, 20120 ; Pullin et al., 2016).

## 8 Conclusion

Cette étude a permis de mettre en avant les paramètres environnementaux qui influencent le choix d'habitat du crapaud calamite pour sa reproduction. Les mares favorisées sont peu profondes, avec un faible recouvrement aquatique et une grande surface. Le site doit avoir une grande zone ouverte et un nombre important de mares. Cependant, nous avons montré que le crapaud calamite avait tendance à choisir des mares où le risque d'assèchement est important, menaçant la survie des pontes et des têtards.

Dans le contexte du changement climatique, les mares temporaires risquent de s'assécher de plus en plus prématûrement. Même si les têtards peuvent accélérer leur développement pour se métamorphoser plus vite, une hydropériode trop courte risque de compromettre la survivabilité de l'espèce sur le long terme.

L'étude permet de pouvoir proposer des mesures de gestion concrète qui prennent en compte l'écologie et les préférences de l'espèce, mais également les facteurs environnementaux tel que le climat et les caractéristiques paysagères afin de mettre en place des habitats optimaux pour la survie de l'espèce

## 9 Bibliographie

Almond, R.E.A., Grooten, M., & Petersen (Eds). (2020). Rapport Planète Vivante® 2020 : Redresser la courbe de la perte de biodiversité. WWF, Gland, Suisse.

Ancien terril du Bonnet (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/2452-ancien-terril-du-bonnet.html?IDD=251661128&IDC=1881>

Auliya, M., et al. (2023). Numerous uncertainties in the multifaceted global trade in frogs' legs with the EU as the major consumer. *Nature Conservation*, 51, 71-135.

Bécart, E., Aubry, A., & Emmerson, M. (2007). Monitoring the conservation status of natterjack toad (*Bufo calamita*) in Ireland, 2004–2006. Irish Wildlife Manuals, National Parks and Wildlife Service, Department of the Environment, Heritage and Local Government, Dublin, Ireland.

Beranek, C. T., Sanders, S., Clulow, J., & Mahony, M. (2022). Factors influencing persistence of a threatened amphibian in restored wetlands despite severe population decline during climate change driven weather extremes. *Biodiversity and Conservation*, 31(4), 1267-1287.

Bergeron, C. M., Bodinof, C. M., Unrine, J. M., & Hopkins, W. A. (2010). Mercury accumulation along a contamination gradient and nondestructive indices of bioaccumulation in amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry. An International Journal*, 29(4), 980-988.

Bishop, P. J., Angulo, A., Lewis, J. P., Moore, R. D., Rabb, G. B., & Moreno, J. G. (2012). The Amphibian Extinction Crisis: What will it take to put the action into the Amphibian Conservation Action Plan? *SAPI EN.S., Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 5(2).

Bougrain-Dubourg, A. (2012). Comment sensibiliser le grand public pour qu'il intègre la biodiversité dans ses comportements ? *Science, Industrie et Biodiversité*, 107.

Brannelly, L. A., Ohmer, M. E. B., Saenz, V., & Richards-Zawacki, C. L. (2019). Effects of hydroperiod on growth, development, survival and immune defences in a temperate amphibian. *Functional Ecology*. 33(10), 1952-1961.

Brooks, G. C., Wendt, A., Haas, C. A., & Roberts, J. H. (2023). Comparing estimates of census and effective population size in an endangered amphibian. *Animal Conservation*, 26(6), 839-850.

COFOC (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse  
[https://www.cofoc.com/htm\\_fr/frame\\_activites\\_site.htm](https://www.cofoc.com/htm_fr/frame_activites_site.htm)

Cohen, J. M., Lajeunesse, M. J., & Rohr, J. R. (2018). A global synthesis of animal phenological responses to climate change. *Nature Climate Change*, 8(3), 224-228.

Crapaud calamite (*Bufo calamita*) (s. d.). Consulté 15 janvier 2025, à l'adresse  
<https://biodiversite.wallonie.be/fr/bufo-calamita.html?IDD=50334423&IDC=320>

Dejean, T., Miaud, C., & Ouellet, M. (2010). La chytridiomycose : une maladie émergente des amphibiens. *Bull. Soc. Herp. Fr.*, 134, 27-46.

Denton, J.S., Hitchings, S.P., Beebee, T.J.C., & Gent, A. (1997). A Recovery Program for the Natterjack Toad (*Bufo calamita*) in Britain. *Conserv. Biol.*, 11(6), 1329-1338.

Dubois, A., & Bour, R. (2010). Zootaxa, 2447. Amphibian Species of the World. Zootaxa, 2447

Erich, M., Ringler, M., Hödl, W., & Ringler, E. (2015). Brood-partitioning behaviour in unpredictable environments: Hedging the bets? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(6), 1011-1017. <https://doi.org/10.1007/s00265-015-1913-1>

European Environment Agency. (2022). Environmental Statement. Publications Office of the European Union.

Freidenburg, L. K., & Skelly, D. K. (2004). Microgeographical variation in thermal preference by an amphibian. *Ecology Letters*, 7(5), 369-373.

Friche d'Hermalle-sous-Argenteau (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse  
<https://biodiversite.wallonie.be/fr/1636-friche-d-hermalle-sous-argenteau.html?IDD=251660505&IDC=1881>

Gascon, C., Collins, J. P., Moore, R. D., Church, D. R., McKay, J. E., & Mendelson, J. R. (2007). Amphibian Conservation Action Plan. IUCN/SSC Amphibian Specialist Group. Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Graitson, E., & Denoël, M. (2007). Le Crapaud calamite (*Bufo calamita* Laurenti, 1768). Bulletin Société Herpétologique Française, 142-151.

Gravière de Dessus Hée (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/691-graviere-de-dessus-hee.html?IDD=251659188&IDC=1881>

Groupe santé CHC (s. d.). Sauvegarde des crapauds calamites, espèce protégée. Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://chc.be/Etablissements/Clinique-CHC-MontLegia/En-savoir-plus/Conception-et-construction/Environnement/Sauvegarde-crapauds-calamites>

Guillaume, C. (2020). Une autre pandémie, la chytridiomycose. (Mémoire de master, Faculté de Médecine Vétérinaire).

Hatch, A. C., & Blaustein, A. R. (2003). Combined effects of UV-B radiation and nitrate fertilizer on larval amphibians. *Ecological Applications*, 13(4), 1083-1093.

Hayes, T. B., Khoury, V., Narayan, A., Nazir, M., Park, A., Brown, T., Adame, L., Chan, E., Buchholz, D., Stueve, T., & Gallipeau, S. (2010). Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 107(10), 4612-4617.

Henle, K., Dick, D., Harpke, A., Kühn, I., Schweiger, O., & Settele, J. (2008). Climate Change Impacts on European Amphibians and Reptiles. Convention on the conservation of european wildlife and natural habitats.

Institut Royal Météorologique – IRM (2024). Bilan climatologique de 2024. Consulté le 04/01/2025 sur <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/bilans-climatologiques/2024/annee>

IUCN/SSC (2013). Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, viii + 57 pp.

Jacob, J.-P., Percsy, C., de Wavrin, H., Graitson, E., Kinet, T., Denoël, M., Paquay, M., Percsy, N., & Remacle, A. (2007). Amphibiens et Reptiles de Wallonie. Aves - Raîne et Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois (MRW - DGRNE), Série « Faune - Flore - Habitats » n°2, Namur, 384 p.

- Laudelout, A. (2016). Actions pour le crapaud calamite en Wallonie. DGARNE éd., 31 p.
- Lertzman-Lepofsky, G. F., Kissel, A. M., Sinervo, B., & Palen, W. J. (2020). Water loss and temperature interact to compound amphibian vulnerability to climate change. *Global Change Biology*, 26(9), 4868-4879.
- Li, Y., Cohen, J. M., & Rohr, J. R. (2013). Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology*, 8(2), 145-161.
- Lips, K. R., Diffendorfer, J., Mendelson, J. R., & Sears, M. W. (2008). Riding the Wave: Reconciling the Roles of Disease and Climate Change in Amphibian Declines. *PLoS ONE*, 6(3).
- Mermod, M., Zumbach, S., Aebscher, A., Leu, T., Lippuner, M., & Schmidt, B. (2010). Notice pratique pour la conservation du crapaud calamite *Bufo calamita*. Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse.
- Miaud, C., Oromi, N., et al. (2011). Intra-specific variation in nitrate tolerance in tadpoles of the Natterjack toad. *Ecotoxicology*, 20, 1176-1183.
- Monseur, M. (2022). Réintroduction du sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) dans la réserve de la Rochette : bilan démographique, sélection des sites de reproduction et compétition éventuelle avec le crapaud calamite (*Epidalea calamita*). (Mémoire de master, Faculté des Sciences).
- Natagora (Éd.). (2011). L'Écho des Rainettes (N° 9, Septembre).
- Natagriwal (2024). Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC). Consulté le 10/01/2024 sur <https://www.natagriwal.be/wp-content/uploads/2023/06/A4-Tableau-MAEC-FR-022024-HD.pdf>
- O'Regan, S. M., Palen, W. J., & Anderson, S. C. (2014). Climate warming mediates negative impacts of rapid pond drying for three amphibian species. *Ecology*, 95(4), 845-856.
- Oseraie et friche de Lanaye (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/987-oseraie-et-friche-de-lanaye.html?IDD=251660259&IDC=1881>
- Pimm, S. L., et al. (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187).

Pullin, A., Frampton, G., Jongman, R., Kohl, C., Livoreil, B., Lux, A., Pataki, G., Petrokofsky, G., Podhora, A., Saarikoski, H., Santamaria, L., Schindler, S., Sousa-Pinto, I., Vandewalle, M., & Wittmer, H. (2016). Selecting appropriate methods of knowledge synthesis to inform biodiversity policy. *Biodiversity and Conservation*, 25(7), 1285-1300.

Re:wild, Synchronicity Earth, IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2023). State of the World's Amphibians: The Second Global Amphibian Assessment.

Reyne, M., Helyar, S., Aubry, A., Emmerson, M., Marnell, F., & Reid, N. (2020). Combining spawn egg counts, individual photo-ID, and genetic fingerprinting to estimate the population size and sex ratio of an endangered amphibian. *Integrative Zoology*, 0, 1–15.

Relyea, R. A., & Jones, D. K. (2009). The toxicity of Roundup Original Max® to 13 species of larval amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(9), 2004-2008.

Sanuy, D., Oromí, N., & Galofré, A. (2008). Effects of temperature on embryonic and larval development and growth in the natterjack toad (*Bufo calamita*) in a semi-arid zone. *Animal Biodiversity and Conservation*, 31(1), 41-47.

Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., van Diemen, R., Haughey, E., Malley, J., & Zommers, Z. (2019). special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. IPCC

Simons, A. M. (2011). Modes of response to environmental change and the elusive empirical evidence for bet hedging. *Biological Sciences*, 278, 1601–1609.

Stevens, V. M., & Baguette, M. (2008). Importance of habitat quality and landscape connectivity for the persistence of endangered natterjack toads. *Conservation Biology*, 22(5), 1194-1204.

Stuart, S. N., Hoffmann, M., Chanson, J. S., Cox, N. A., Berridge, R. J., Ramani, P., & Young, B. E. (Eds.). (2008). Threatened Amphibians of the World. Lynx Edicions, Barcelona, Spain; IUCN, Gland, Switzerland; and Conservation International, Arlington, Virginia, USA.

Sunita, A., Prakash, S., & Namrata, D. (2021). Pesticides and its impact on biodiversity and environment. *Iconic Research and Engineering Journals*, 4(10), 12-15.

Székely, D., Denoël, M., Székely, P., & Cogălniceanu, D. (2017). Pond drying cues and their effects on growth and metamorphosis in a fast-developing amphibian. *Journal of Zoology*, 303(2), 129-135.

Terril et ancien charbonnage de Bonne Fortune (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/2707-terril-et-ancien-charbonnage-de-bonne-fortune.html?IDD=251661516&IDC=1881>

Terril de Batterie Ancien (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/1992-terril-de-batterie-ancien.html?IDD=251661097&IDC=1881>

Terril du Bois Saint-Jean (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/2771-terril-du-bois-saint-jean.html?IDC=1881&IDD=251661555>

Terril du Gosson (s. d.). Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://biodiversite.wallonie.be/fr/1854-terril-du-gosson.html?IDD=251659927&IDC=1881>

Toli, E. A., Chavas, C., Denoël, M., Bounas, A., & Sotiropoulos, K. (2020). A subtle threat: behavioral and phenotypic consequences of invasive mosquitofish on a native paedomorphic newt. *Biological Invasions*, 22(4), 1299-1308.

IUCN (2024). 2024 Living Planet Report. Consulté le 12 octobre 2024 à l'adresse <https://www.worldwildlife.org/publications/2024-living-planet-report>

Van Eekelen, R. (2005). Rugstreeppaddenplan Genoehuis: Herstel en compensatieplan rugstreeppad.

Winandy, L., & Denoël, M. (2013). Introduced goldfish affect amphibians through inhibition of sexual behaviour in risky habitats: an experimental approach. *PLoS ONE*, 8(11), e82736.

Groupe santé CHC (s. d.). Sauvegarde des crapauds calamites, espèce protégée. Consulté le 15 octobre 2024 à l'adresse <https://chc.be/Etablissements/Clinique-CHC-MontLegia/En-savoir-plus/Conception-et-construction/Environnement/Sauvegarde-crapauds-calamites>



# 10 Annexes

## 10.1 Annexes 1 : Détail de chaque site

Pour chaque site il y a une vue aérienne avec des points représentant la localisation des mares lors d'un cycle lorsque celles-ci ne sont pas facilement visible.

Toutes les représentations cartographiques des sites ainsi ont été réalisées via le logiciel Qgis version 3.28.0-Firenze (Sauf la figure 35 provenant de Google maps). Le fond de carte est une vue Bing Satellite en Lambert72.

<b>Le site de la Rochette</b>  <i>Figure 25 : Site de la Rochette</i>	Ancien site pollué par l'activité métallurgique de la vallée de la Vesdre, la réserve de la Rochette est depuis 2014 devenue une réserve naturelle (Soëster, s. d.).  Les mares présentes sur le site de La Rochette se situent dans deux zones différentes. Elles sont séparées d'environ 400 mètres avec un dénivelé positif de 90 mètres (WalOnMap).  Des mares artificielles en plastique ont été aménagées en contrebas du site (partie inférieure de la figure 25), tandis que la partie haute abrite uniquement des mares naturelles. La partie haute est exposée aux activités humaines telles que la circulation de quads et de motos.
<b>Le Terril du Bois St-Jean</b>	Le Bois Saint-Jean était un ancien site de dépôt pour des déchets industriels et urbains, formant un terril. Depuis 2004 les sols pollués ont été assainis. Ensuite, le parc scientifique de Liège s'étendant à une partie de cette zone, des mares artificielles en béton ont été mises en place en



Figure 26 : Site du Bois Saint-Jean

guise de mesures de compensation. On y trouve aussi quelques mares naturelles. (2771 - *Terril du Bois Saint-Jean / Rechercher un site intéressant ou protégé / Sites / La biodiversité en Wallonie, s. d.*).

#### Le site de En Ster



Figure 27 : Site de En ster

Le site d'En ster est une mesure de compensation dû à la construction de l'hôpital du Mont Légia. Des mares artificielles en béton y ont été construites depuis 2017. On y trouve aussi un bassin d'orage et quelques grandes mares artificielles creusées (*Sauvegarde des crapauds calamites, espèce protégée, s. d.*).

#### Le site du Trilogiport



Figure 28 : Site du Trilogiport

Ancienne gravière localisée dans une zone industrielle occupée par une vaste friche et une zone humide qui s'assèche plus ou moins complètement en été. Des mares artificielles bâchées y ont été creusées, mais il y a aussi des mares naturelles. Cette année, en raison de fortes pluies une partie du site n'a pas pu être recensée (1636 - *Friche d'Hermalle-sous-Argenteau / Rechercher un site intéressant ou protégé / Sites / La biodiversité en Wallonie, s. d.*).

<b>Le terril du Gosson</b>	Ancien site charbonnier désaffecté depuis les années 1960 devenu aujourd’hui une réserve naturelle. Il est composé de deux buttes. Il y a des mares naturelles, mais aussi des mares artificielles creusées et bâchées ((1854 - <i>Terril du Gosson / Rechercher un site intéressant ou protégé / Sites / La biodiversité en Wallonie, s. d.</i> ).
	<i>Figure 29 : Site du terril du Gosson</i>
<b>L'ancien charbonnage de Bonne-fortune</b>	Friche industrielle urbaine composée de mares naturelles mais aussi de mares artificielles en béton (2707 - <i>Terril et ancien charbonnage de Bonne Fortune / Rechercher un site intéressant ou protégé / Sites / La biodiversité en Wallonie, s. d.</i> ).
	<i>Figure 30 : Site de l'ancien charbonnage de Bonne-fortune</i>
<b>Le terril du Bonnet</b>	Ce site est un ancien terril à proximité d'une zone urbaine. Il y a des mares naturelles mais aussi des



*Figure 31 : Site du terril du Bonnet*

mares artificielles creusées et bâchées. Sa population de crapauds calamites est mise en péril face à la surfréquentation du site par les riverains (Ancien terril du Bonnet, s. d.).



*Figure 32 : Site de la friche de Werister*

Un projet immobilier a récemment été construit sur la friche de Werister. Des mesures de compensations ont été mises en place et des mares en béton ont été construites juste à côté de la friche. Des mares naturelles sont aussi présentes. De nouvelles mares sont ponctuellement créées grâce aux chantiers en cours.

#### **La friche de Lanaye**

Cette friche est apparue dans les années 1980 suite au dépôt de vase provenant du dragage du canal Albert. Depuis 1994, ce site a le statut de réserve naturelle. Cependant la plupart des mares se situent en dehors de cette zone, le long d'une route agricole, en milieu agricole et dans le port de Lixhe (Friche de Lanaye, s. d.).



*Figure 33 : Site de la friche de Lanaye*

**La campagne de Fooz**



*Figure 34 : Site de la campagne de Fooz*

**La campagne de Roloux**



*Figure 35 : Site de la campagne de Roloux en chantier*

*Figure 36 : Site de la campagne de Roloux après le chantier*

Vaste friche herbeuse agrémentée de zones humides. Il n'y a que des mares naturelles. Une partie du site est actuellement en chantier ce qui crée de nouvelles mares ponctuellement (Campagne de Fooz, s. d.)

Ancien chantier devenu aujourd'hui un chant de *Brassicaceae*. Il ne reste plus qu'une mare le long d'une route.

**Le domaine de waroux**

Ce site est constitué de mares naturelles temporaires dans un champ de maïs et de blé. De



nouvelles mares sont ponctuellement créées lors de passage d'engins agricoles lourds.

*Figure 37 : Site du domaine de Waroux*

**Le terril Batterie Ancien**



Ancien terril aujourd'hui réapproprié par la nature. On y retrouve des mares artificielles creusées et bâchées (deux sont devenues obsolètes par manque d'entretien) et des mares naturelles temporaires (Terril de Batterie Ancien, s. d.).

*Figure 38 : Site du terril Batterie*

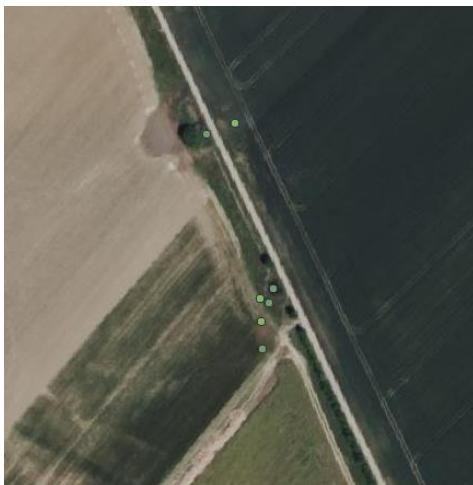
**Le terril de la Petite Bacnure**

Site situé à côté du terril de la Petite Bacnure, il résulte de travaux effectués pour l'aménagement d'un bassin d'orage.



*Figure 39 : Site du Terril de la Petite Bacnure*

**Le fond de Malaxhe**



*Figure 40 : Site du Fond de Malaxhe*

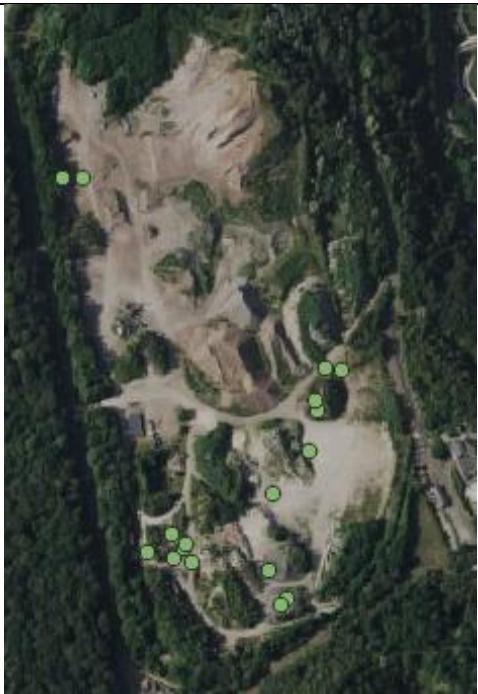
**Le site de Bierset**



Site situé le long d'un champ, il s'agit de mares artificielles creusées en tant que MAEC (Agriculteur, com. Pers.). Il y a aussi quelques mares naturelles.

Ce site est constitué de mares naturelles temporaires dans un champ de maïs. De nouvelles mares sont ponctuellement créées lors de passage d'engins agricoles lourds.

<i>Figure 41 : Site de Bierset</i>	
<b>Le parc des Coteaux</b>	Il s'agit d'un parc public situé à Ans, il y a seulement une grande mare artificielle creusée et bâchée en mauvais état.
	
<i>Figure 42 : Site du parc des Coteaux</i>	
<b>L'ancienne Gravière de So hé</b>	C'est un ancien site d'exploitation de graviers et de sable aujourd'hui abandonné. Il n'y a que des mares naturelles. Le site est fortement exposé aux activités humaines telles que la circulation de quads et de motos ((691 - <i>Gravière de Dessus Hée / Rechercher un site intéressant ou protégé / Sites / La biodiversité en Wallonie, s. d.</i> )
	
<i>Figure 43 : Site de l'ancienne gravière de So hé</i>	
<b>Le terril de la chatqueue</b>	Cet ancien terril est aujourd'hui exploité par une société de criblage et concassage. (COFOC -



*Concassage - Forage - Criblage - Bastogne - Tél.  
0032/61/28 83 46, s. d.)*

*Figure 44 : Site du terril de la Chaqueue*