

---

## **Industrial sites as opportunities for the conservation of endangered amphibians: translocation of natterjack toads (*epidalea calamita*) in active quarries**

**Auteur :** Deflandre, Aurore

**Promoteur(s) :** Mahy, Grégory; Seleck, Maxime

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2020-2021

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/13237>

---

### *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.*

---

**INDUSTRIAL SITES AS OPPORTUNITIES FOR THE  
CONSERVATION OF ENDANGERED AMPHIBIANS:  
TRANSLOCATION OF NATTERJACK TOADS (*EPIDALEA  
CALAMITA*) IN ACTIVE QUARRIES**

AUORE DEFLANDRE

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER  
BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021

CO-PROMOTEURS: PR. GRÉGORY MAHY ET IR. MAXIME SÉLECK

"Any reproduction of this document, by any means whatsoever, may only be made with the authorization of the author and the academic authority of Gembloux Agro-Bio Tech."

"This document is the sole responsibility of its author."

"Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech."

"Le présent document n'engage que son auteur."

**INDUSTRIAL SITES AS OPPORTUNITIES FOR THE  
CONSERVATION OF ENDANGERED AMPHIBIANS:  
TRANSLOCATION OF NATTERJACK TOADS (*EPIDALEA  
CALAMITA*) IN ACTIVE QUARRIES**

AUORE DEFLANDRE

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER  
BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021

CO-PROMOTEURS: PR. GRÉGORY MAHY ET IR. MAXIME SÉLECK

## Avant-propos

Ce travail est composé de 3 parties. La première partie est un préambule à l'article scientifique. Elle vise à expliciter le contexte et les concepts principaux intervenus durant l'étude et pose le cadre et les objectifs de celle-ci. La deuxième partie correspond à l'article scientifique : "Industrial sites as opportunities for the conservation of endangered amphibians: translocation of natterjack toads (*epidalea calamita*) in active quarries". Et la troisième partie reprend une conclusion générale et des recommandations, destinées aux gestionnaires des carrières, ainsi que la contribution personnelle de l'étudiant.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement mes co-promoteurs, Grégory Mahy et Maxime Séleck, pour leur encadrement, leur suivi, leur disponibilité et leur bienveillance durant ces six mois. Je les remercie également pour leurs relectures et tous leurs conseils avisés.

Un énorme merci à Pascal Hauteclaire qui, avec patience et gentillesse, m'a fait découvrir les différentes carrières du projet.

Je remercie également les carriers que j'ai eu la chance de rencontrer et qui ont permis la réalisation de mes inventaires sur leurs sites : Emmanuel Boland de la carrière Lhoist de Jemelle, Henri-Michel Bayet, de la carrière Solvay "Les Petons" ainsi que Patrice Schumer de la carrière Lhoist à Hermalle sous-Huy.

Je remercie les acteurs du projet *Life in Quarries* (LIFE 14 NAT/BE/000364), sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour.

Merci à toutes les personnes qui sont venues faire les inventaires de terrain avec moi, sans elles je n'aurais jamais su faire 21 relevés de nuit.

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé des moments inoubliables pendant mes 5 années d'étude à la faculté.

Merci à mes parents et à mes frères pour leur soutien au quotidien depuis toutes ces années, merci d'être venu avec moi en carrière et merci pour tous ces nombreux moments partagés en famille.

Merci à Alexandre qui partage sa vie avec moi depuis plus de 4ans. Merci pour sa patience et son engagement. Merci pour ses relectures et son soucis du détails.



## ABSTRACT

More than half of all amphibians have declining populations, often due to habitat fragmentation causing population isolation. Translocation of species from one site to another is a popular process in conservation biology. However, its success is widely controversial. In this paper, the success of translocations of natterjack toad's eggs and tadpoles have been studied. Translocations took place from source sites (located less than 20km from the receptor sites) to receptor sites (quarries still in operation) in 2018 and 2021 in the Walloon region of Belgium. Population size was estimated using capture-release-recapture of natterjack toad with photo identification in each quarry. Areas of 500m around the introduction ponds were surveyed at night. Breeding capacity was studied by counting the number of mature males and females. The position of each individual was noted during the capture. Their distance from the nearest introduction pond was calculated. The results showed that none of the three quarries reached the 100 individuals necessary to obtain a viable long-term population. However, *initial* and *intermediate success*, according to the criteria of Denton *et al.* (1997), was achieved. Indeed, more than 10 individuals per quarry were found and signs of reproduction of the first generation were already visible after only two years. Finally, a larger time scale should be considered to speak about *complete success*.

### Keywords

translocation, natterjack toad, capture-release-recapture, photo-identification, quarries, Life in Quarries.

## RÉSUMÉ

Plus de la moitié des amphibiens ont des populations en déclin, souvent en raison de la fragmentation de l'habitat qui entraîne l'isolement des populations. La translocation d'espèces d'un site à un autre est une procédure populaire en biologie de la conservation. Cependant, son succès est largement controversé. Dans ce travail, nous étudierons le succès des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite. En Belgique, des translocations ont eu lieu depuis des sites sources (situés à moins de 20km des sites récepteurs) vers des sites récepteurs (carrières toujours en activités) de 2018 à 2021 en région wallonne. La taille des populations dans chaque carrière a été estimée par capture-marquage-recapture avec identification photographique. Des zones de 500m autour des mares d'introduction ont été prospectées de nuit. La capacité de reproduction a été étudiée en comptant le nombre de mâles et de femelles matures. L'occupation de l'espace par les différentes populations a été étudiée en notant la position de chaque individu lors de la capture. Ceci a permis de calculer leur distance par rapport à la mare d'introduction la plus proche. Les résultats ont montré qu'aucune des trois carrières n'a atteint les 100 individus nécessaires pour obtenir une population viable à long terme. Mais que le succès *initiale* et *intermédiaire*, selon les critères de Denton *et al.* (1997), étaient atteint. En effet, plus de 10 individus par carrière ont été trouvés et des signes de reproduction de la première génération étaient déjà visibles après seulement 2 ans. Finalement, une échelle de temps plus importante devrait être considérée pour parler de *succès complète*.

### Mots-clés

translocation, crapaud calamite, capture-marquage-recapture, photo-identification, carrières, Life in Quarries.

# Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux	iii
<b>Partie 1 - Introduction contextuelle à l'article scientifique</b>	<b>1</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2 La biodiversité en carrière</b>	<b>2</b>
2.1 En général . . . . .	2
2.2 Projet "Life in Quarries" . . . . .	3
<b>3 Le crapaud calamite (<i>Epidalea calamita</i>)</b>	<b>4</b>
3.1 Taxonomie . . . . .	4
3.2 Morphologie . . . . .	4
3.3 Biologie . . . . .	5
3.4 Écologie et habitat . . . . .	6
3.5 Menace et conservation . . . . .	6
<b>4 Concepts théoriques</b>	<b>7</b>
4.1 Translocation . . . . .	7
4.2 Capture-marquage-recapture (CMR) . . . . .	9
<b>5 Cadre de l'étude et objectif</b>	<b>12</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>14</b>
<b>Partie 2 - Article scientifique</b>	<b>19</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>20</b>
<b>2 Material and Methods</b>	<b>21</b>
2.1 Natterjack toad description . . . . .	21
2.2 Site description . . . . .	21
2.3 Data collection and analysis . . . . .	22
2.3.1 Population size . . . . .	22
2.3.2 Breeding capacity . . . . .	23
2.3.3 Use of space and movement . . . . .	23
<b>3 Results</b>	<b>24</b>
3.1 Population size . . . . .	24
3.2 Breeding capacity . . . . .	24
3.3 Use of space and movement . . . . .	25
<b>4 Discussion</b>	<b>25</b>
<b>5 Conclusion</b>	<b>28</b>
<b>References</b>	<b>28</b>

<b>Appendices</b>	<b>31</b>
<b>A Details on translocations per quarry: years of translocation, number of eggs and tadpoles from each source site to the receptor quarry</b>	<b>31</b>
<b>B Details for each quarry, a map representing the position of the studied zone in relation to the entire quarry, a map per zone detailing the position of the introduction ponds, the observed spawns, and all the captured natterjack toads</b>	<b>32</b>
<b>C Photographic equipment and wooden box used for the toads marking phase</b>	<b>37</b>
<b>Partie 3 - Conclusion générale et recommandations</b>	<b>38</b>
<b>Rappel des objectifs</b>	<b>39</b>
<b>Contribution personnelle de l'étudiant</b>	<b>40</b>
<b>Conclusion générale et recommandations</b>	<b>41</b>
Carrière de Hermalle-sous-Huy . . . . .	41
Carrière des Petons . . . . .	44
Carrière de Jemelle . . . . .	47

# Liste des figures

<b>Partie 1 - Introduction contextuelle à l'article scientifique</b>	<b>1</b>
1 Morphologie du crapaud calamite. . . . .	4
2 Cycle de développement du crapaud calamite. . . . .	5
3 L'aire de répartition globale du crapaud calamite à l'échelle Européenne (a). La répartition des différentes populations de crapaud calamite présentes à l'échelle de la région wallonne en Belgique (b). . . . .	7
4 Lors de la première session de capture, dix individus sont (1) capturés, puis (2) lors de la deuxième session de capture (3) douze individus sont capturés (C) dont quatre qui étaient déjà marqués (R). En appliquant l'équation 1, on obtient $N = 12 \times 10 / 4 = 30$ individus dans la population. . . . .	9
5 Carte de la Wallonie représentant les 26 carrières participant au projet life in quarries. Les étoiles représentent les 5 carrières qui ont bénéficié de translocation de crapaud calamite et les étoiles jaunes représentent les 3 carrières concernées par l'étude. . . . .	12
<b>Partie 2 - Article scientifique</b>	<b>19</b>
1 Map of Belgium, with the location of the three quarries in Wallonia that have received translocations of natterjack eggs and tadpoles. . . . .	23
2 Individual variation in natterjack toad ventral markings used for photo-ID. The same individual caught in different surveys with identical markings highlighted by a color circle (a, b) and two different individuals caught during the same survey (c, d). . . . .	25
3 Graph that represents the number of toads caught per distance class to the closest introduction pond by quarry and gender. The full color part represents the number of females and the hatched part represents the number of males. . . . .	26
<b>Partie 3 - Conclusion générale et recommandations</b>	<b>38</b>
1 Carte représentant les deux zones d'étude dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy .	42
2 Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 1 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy . . . . .	42
3 Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 2 (bois des gattes) durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy . . . . .	43
4 Distribution de crapaud calamite par classe de distance à la mare d'introduction la plus proche dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy. . . . .	43
5 Carte représentant les deux zones d'étude dans la carrière Solvay "Les Petons" à Walcourt.	45
6 Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares dans la zone 1, observés durant toute la période d'étude, dans la carrière de Solvay "Les Petons". . . . .	45
7 Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares dans la zone 2, observés durant toute la période d'étude, dans la carrière de Solvay "Les Petons". . . . .	46
8 Distribution de crapaud calamite par classe de distance à la mare d'introduction la plus proche, dans la carrière de Solvay "Les Petons". . . . .	46
9 Carte représentant les trois zones d'étude dans la carrière de Lhoist à Jemelle . . . . .	48
10 Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 1 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Jemelle . . . . .	48

11	Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 2 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Jemelle . . . . .	49
12	Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 3 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Jemelle . . . . .	49
13	Distribution de crapaud calamite par classe de distance à la mare d'introduction la plus proche dans la carrière de Lhoist à Jemelle. . . . .	50

# Liste des tableaux

<b>Partie 1 - Introduction contextuelle à l'article scientifique</b>	<b>1</b>
1 Exemple de matrice donnant l'historique de capture de chaque individus. Par exemple l'individus H02 a été capturé lors des relevés 1,2,3,6 et 7 et n'a pas été capturé lors des relevés 4 et 5. . . . .	10
2 Résumé des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite de 2018 à 2020 dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy. . . . .	13
3 Résumé des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite de 2019 à 2021 dans la carrière de Lhoist à Jemelle. . . . .	13
4 Résumé des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite de 2019 à 2021 dans la carrière "Les Petons" à Walcourt. . . . .	13
<b>Partie 2 - Article scientifique</b>	<b>19</b>
1 Summary of natterjack egg and tadpole translocations in each quarry . . . . .	22
2 For each quarry, during each survey, the number of toads caught, the total number of captures, the total number of different toads caught and the recapture rate are indicate. . . . .	24
3 Results of the different models tested in Rcapture with the "closedp" function for the Hermalle quarry. The summary includes the name of the model, the estimated abundance, the standard error, the BIC and the confidence interval. . . . .	24
4 Results of the different models tested in Rcapture with the "closedp" function for the Jemelle quarry. The summary includes the name of the model, the estimated abundance, the standard error, the BIC and the confidence interval. . . . .	24
5 Results of the different models tested in Rcapture with the "closedp" function for Les Peton quarry. The summary includes the name of the model, the estimated abundance, the standard error, the BIC and the confidence interval. . . . .	24
6 Number of spawns and mature males observed per quarry compare to the number of males and females captured. . . . .	25
7 Summary of translocations of natterjack eggs and tadpoles from 2018 to 2020 in the Hremalle quarry . . . . .	31
8 Summary of translocations of natterjack eggs and tadpoles from 2018 to 2020 in the Jemelle quarry. . . . .	31
9 Summary of translocations of natterjack eggs and tadpoles from 2018 to 2020 in "Les Petons" quarry . . . . .	31

# **PARTIE 1 - INTRODUCTION CONTEXTUELLE À L'ARTICLE SCIENTIFIQUE**

# 1 Introduction

De nos jours, beaucoup d'espèces font face à la sixième extinction de masse (Eldredge, 1999; Pimm *et al.*, 2000; IUCN, 2007). Même si l'extinction d'une espèce est un processus naturel, les activités anthropiques ne font qu'accélérer ce phénomène (Eldredge, 1999; IUCN, 2007). En Europe, 19% des reptiles, 15% des mammifères et 13% des oiseaux sont menacés (BirdLife International, 2004; Cox et Temple, 2009; Temple et Terry, 2007).

Les amphibiens sont également touchés par ce déclin de la biodiversité (Beebee et Griffiths, 2005). Selon la classification de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 40% des espèces d'amphibiens sont en danger d'extinction (Bishop *et al.*, 2012); en Europe, 25% des espèces d'amphibiens sont menacées et 17% sont quasi-menacées (Temple et Cox, 2009). Plus de la moitié des amphibiens (59%) ont des populations en déclin, 36% sont stables et seulement 2% sont en augmentation. L'écrasante majorité des amphibiens menacés et quasi-menacés sont endémiques à l'Europe et à l'Union Européenne, ce qui souligne la responsabilité des pays européens dans la protection de l'ensemble des populations mondiales de ces espèces (Temple et Cox, 2009). En Wallonie, les espèces indigènes font également face à la même tendance. Une liste rouge des espèces menacées a été établie pour les espèces indigènes de la région, basée sur les critères de l'UICN, afin d'évaluer le statut de conservation des espèces à cette échelle (Jacob, 2006; IUCN, 2007; Temple et Cox, 2009). Dans le cas d'espèces menacées localement, il en va de la responsabilité des régions de mettre sur pied des plans d'action efficaces afin de protéger celles présentes sur le territoire (Temple et Cox, 2009). Les espèces qui font l'objet de préoccupations particulières sont protégées par la législation régionale : la loi sur la conservation de la nature du 12 juillet 1973 (Région Wallonne, 1973) ainsi que par le décret "Natura 2000" du 6 décembre 2001 (Région Wallonne, 2002).

La perte de biodiversité est donc une préoccupation majeure qui a été largement étudiée (Ehrlich et Ehrlich, 1981; Wilson *et al.*, 1988; Ehrlich *et al.*, 1991). Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de cette diminution de biodiversité comme le changement d'occupation du sol, la surexploitation des écosystèmes, les espèces exotiques envahissantes, la pollution ou le changement climatique (Cardillo *et al.*, 2004, 2005; Brook *et al.*, 2008; Leader-Williams *et al.*, 2011)

Toutefois, les changements d'occupation du sol peuvent parfois créer des opportunités en faveur de la conservation de la biodiversité. En effet, plusieurs études prouvent que les zones industrielles en activité ou abandonnées peuvent générer une grande diversité d'habitats temporaires ou permanents. Dans les paysages urbanisés et contrôlés, les carrières sont une occasion exceptionnelle de maintenir des habitats transitoires rares et menacés accueillant des espèces fugitives et de promouvoir de nouvelles niches écologiques. (Germano *et al.*, 2016 ; Telea *et al.*, 2019).

## 2 La biodiversité en carrière

### 2.1 En général

A priori les carrières semblent refléter un milieu hostile, stérile et sans vie pour la nature (Gabory, 2014; Anrys, 2016). Cette image est principalement due à l'impact que peut avoir ce type d'exploitation notamment sur l'environnement, l'air, la santé et la quiétude des alentours (charroi, bruit, poussières, vibrations dues aux tirs de mine, impacts visuels sur l'environnement, etc.) (Gosselin, 2006; Gabory, 2014; Anrys, 2016). En effet, l'activité extractive, pratique des actions destructrices, bouleversant le paysage. Mais ces sources de perturbations fréquentes créent des milieux pionniers devenus rares à l'échelle du territoire, tel que des falaises meubles, des remblais de terres de découverte, des bassins de décantation, des éboulis, des mares temporaires, etc.

Ces milieux peuvent bénéficier à des espèces pionnières à haute valeur biologique dépendantes de cette dynamique particulière (Gabory, 2014; Anrys, 2016; Prach *et al.*, 2013). Par exemple, certains oiseaux tirent profit de la diversité structurelle que présente chaque carrière. En plus de ceux-ci, d'autres taxons sont concernés tels que les insectes, les amphibiens, les reptiles, les mammifères, les arachnides ainsi que la flore qui profitent également des différents habitats présents dans ces sites (Remacle, 2005; Life in Quarries, 2021). On reconnaît ainsi l'intérêt de gérer et d'aménager ces espaces pour la biodiversité dans les carrières en activité.

## 2.2 Projet "Life in Quarries"

Le projet *Life in Quarries* (LIFE14 NAT/BE/000364) a pour but de promouvoir la biodiversité et d'optimiser le potentiel d'accueil au sein de différents sites carriers wallons en activité par le biais de la restauration écologique (Harzé *et al.*, 2015; Life in Quarries, 2021).

Le projet *Life in Quarries* est piloté par FEDIEX, en partenariat avec la Région wallonne, représenté par le Département de la Nature et des Forêts (DNF) et par la Direction Générale de l'Agriculture (DGA). L'unité Biodiversité et Paysage de Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège) fournit un appui scientifique en combinant recherche et développement tout en sensibilisant le public à la gestion de la biodiversité. L'association sans but lucratif (ASBL) de protection de la nature Natagora et le Parc Naturel des Plaines de l'Escaut (PNPE) contribuent également à ce projet (Life in Quarries, 2021).

Avec une méthode de gestion dynamique de la biodiversité, ce projet vise à créer et pérenniser différents habitats nécessaires au développement de ces espèces pionnières. Des inventaires complets ont été réalisés afin d'établir un plan d'action en faveur de la biodiversité, visant à renforcer les populations des espèces d'intérêt présentes et à développer la capacité d'accueil du site. La gestion dynamique profite ainsi à plusieurs espèces-cibles devenues rares et protégées en Wallonie comme l'hirondelle de rivage (*Riparia riparia*), le petit gravelot (*Charadrius dubius*), le lézard des souches (*Lacerta agilis*), le lézard des murailles (*Podarcis muralis*), le crapaud accoucheur (*Alytes obstetricans*), le crapaud calamite (*Epidalea calamita*), les tritons (*Triturus spp.*) ou encore aux algues des milieux pauvres comme les characées (Remacle, 2005; Séleck *et al.*, 2019). Des actions de nature temporaire et permanente, visant différents habitats et espèces cibles, sont planifiées et exécutées sur le terrain. D'autres actions sont également menées dans le cadre du projet telles que la restauration et la gestion de prairies fauchées et pâturées, la gestion dynamique des pelouses pionnières et des mares temporaires, la translocation et l'introduction d'espèces, l'aménagement de galeries à chauves-souris, le suivi de populations d'espèces et la création d'abris ou de microhabitats favorables à différentes espèces. (Life in Quarries, 2021)

D'une part, les actions de nature permanentes visent des milieux qui seront affectés au support de la biodiversité sur le long terme. Les différents milieux de nature permanente comprennent par exemple les mares permanentes favorables aux libellules et aux tritons crêtés (*Triturus cristatus*), les plans d'eau pouvant accueillir des plateformes utiles aux oiseaux aquatiques, les berges où des roselières peuvent se développer et abriter l'herpétofaune et l'avifaune typiques de ce genre de milieu (Life in Quarries, 2021).

D'autre part, les actions de nature temporaire visent tout particulièrement à créer des habitats d'une durée de vie de 1 à 5 ans, propices au développement d'espèces pionnières. Ces habitats peuvent être déplacés au sein de la carrière en fonction de l'évolution de celle-ci. Un secteur temporairement ou définitivement inactif d'une carrière peut être mis en défens et devenir le lieu de différentes actions de support à la biodiversité. Différents milieux de nature temporaire – et espèces associées – sont liés à ce type de gestion comme par exemple les pelouses pionnières composées d'une flore et d'une faune typiques et diversifiées, les falaises meubles propices à l'installation des hirondelles des rivages ou aux abeilles solitaires, les éboulis qu'affectionnent particulièrement la coronelle lisse (*Coronella austriaca*) et le lézard des murailles (*P. muralis*), ou encore les mares temporaires favorables à la reproduction du crapaud calamite (*E. calamita*) (Life in Quarries, 2021).

Malgré les perturbations liées à l'activité humaine, il est possible, grâce à un appui scientifique, de gérer la biodiversité dans des milieux industriels. Cela permet de démontrer que la biodiversité est compatible avec l'activité humaine en général et plus particulièrement avec l'activité extractive.

Le projet est actif depuis 2015 et en juin 2021, un total de 26 carrières participent au projet. Une première phase s'étalant de 2015 à 2018 a d'abord testé et mis en œuvre des pratiques de gestion dynamique de la biodiversité avec 14 carrières. La seconde phase, de 2018 à 2021, permet de valider et d'étendre la mise en application de ces pratiques au reste du réseau. Enfin, une fois validés, ces apprentissages seront transmis et mis en œuvre à l'étranger dans un minimum de six carrières européennes (Life in Quarries, 2021).

### 3 Le crapaud calamite (*Epidalea calamita*)

#### 3.1 Taxonomie

Le crapaud calamite (*Epidalea calamita* Laurenti, 1768), connu aussi sous le nom de crapaud des joncs, est une espèce d'amphibien de l'ordre des Anoures et de la famille des Bufonidés, endémique d'Europe. Les genres *Bufo* et *Epidalea* ayant été dissociés il y a peu, le crapaud calamite peut être encore renseigné sous son synonyme scientifique *Bufo calamita* Laurenti, 1768. (Temple et Cox, 2009).

#### 3.2 Morphologie

Ce crapaud robuste mesure entre 6 et 10 cm et possède un dos très verruqueux de couleur brun-vert parfois ponctué de taches rougeâtres (figure 1a). Son ventre est de couleur beige avec des taches plus foncées (figure 1b et 1c). La ligne jaune qui traverse son dos, ses pupilles horizontales et ses iris jaunes permettent de le distinguer facilement du crapaud commun (*Bufo bufo*) ou encore de l'alyte accoucheur (*A. obstetricans*). Les mâles (figure 1c) se distinguent des femelles (figure 1b) par leur taille plus petite, la présence de callosité nuptiale noire sur les 3 premiers doigts des pattes antérieures ainsi que la gorge bleu-rouge du à la transparence de la peau (Graitson et Denoël, 2007; Laudelout, 2016).



(a) Vue dorsale



(b) Vue ventrale (femelle)



(c) Vue ventrale (mâle)

Figure 1: Morphologie du crapaud calamite.

### 3.3 Biologie

Durant la période d'hibernation, d'octobre à mars en Wallonie, les crapauds calamites vivent cachés sous terre, où ils peuvent s'enfouir lorsque le sol est meuble. Au printemps, ils sortent de leur refuge durant la nuit et cherchent un point d'eau pour se reproduire. En effet leur mode de vie est principalement nocturne à l'exception des juvéniles. Lors de la période d'accouplement, d'avril à septembre avec un optimum en mai-juin, l'adulte rejoint des masses d'eau peu profondes et ensoleillées (Denton et Beebee, 1993).

La population des crapauds calamites est constituée de différentes cohortes, c'est-à-dire des groupes d'individus, réparties dans l'espace et qui se succèdent dans le temps (Sinsch, 1988, 1997). Ces cohortes participent successivement à la reproduction, divisant ainsi la période de reproduction en plusieurs sous-périodes distinctes, au cours desquelles différentes phases de chants ont lieu (Sinsch, 1988; Stevens *et al.*, 2003).

Le cycle de développement du crapaud calamite se retrouve dans la figure 2. Dans l'eau, la fécondation est externe avec un amplexus axillaire. Une femelle pond en général une seule fois par an. Elle dépose 2000 à 4000 œufs à même le fond, agencés en deux cordons gélatineux de 1 à 2 mètres de long avec une à deux rangées d'œufs dans chaque cordon (Graitson et Denoël, 2007 ; Miaud et Muratet, 2018). Une fois la période de reproduction close, les crapauds calamites passent le reste de l'été dans des terriers, et sortent parfois à la recherche d'eau et de nourriture (Graitson et Denoël, 2007). Le développement embryonnaire est très rapide, entre 4 et 7 jours d'après Graitson et Denoël (2007) et entre 7 et 10 jours d'après Denton *et al.* (1997). Ensuite, la croissance des têtards est aussi rapide, d'autant plus si l'eau est chaude. Après environ 4 semaines, les têtards se métamorphosent en juvéniles. La maturité sexuelle est acquise à 2 ou 3 ans chez les mâles et 3 ou 4 ans chez les femelles (Denton et Beebee, 1993). Dans son milieu naturel, le crapaud calamite a une durée de vie entre 7 et 9 ans (Mermod *et al.*, 2010).



Figure 2: Cycle de développement du crapaud calamite.

Les juvéniles constituent la phase dispersante principale, ils peuvent migrer rapidement sur plusieurs centaines de mètres depuis leur lieu de naissance (Sinsch, 1997). Les adultes peuvent se déplacer de 500 mètres entre les sites aquatiques et, après la période de reproduction, accomplir des trajets les amenant à plus d'un kilomètre de leur site initial (Miaud et Sanuy., 2005). L'importance des déplacements peut toutefois varier d'un site à l'autre (Sinsch 1988; Miaud et Sanuy., 2005).

### 3.4 Écologie et habitat

Le crapaud calamite est une espèce héliophile et pionnière qui peut coloniser rapidement des milieux récemment créés et disparaître tout aussi vite lorsque la végétation devient trop dense (Denton *et al.*, 1997). Les populations locales sont dès lors sujettes à de fréquents phénomènes de colonisation-extinction et montrent bien souvent une dynamique spatio-temporelle caractéristique des métapopulations (Graitson et Denoël, 2007).

Cette espèce colonise des milieux ouverts caractérisés par un sol nu ou par une végétation herbacée basse (inférieur à 30cm). Cela permet au sol d'atteindre des températures plus élevées, favorables au développement de l'espèce et cela lui permet également de trouver facilement sa nourriture, qui se compose principalement d'invertébrés.

Il affectionne particulièrement les substrats meubles tels que le sable, cela lui permet de creuser son terrier et de s'y enfouir pendant l'hiver (Denton *et al.*, 1997 ; Graitson et Denoël, 2007). Si le substrat est plus compact, il peut se réfugier dans des abris tels que des amas de pierres ou des débris organiques (Graitson et Denoël, 2007). L'habitat primaire de cette espèce correspond donc aux landes, dunes, et les zones alluviales. L'espèce profite aussi des zones liées à l'activité humaine tel que les carrières, terrils, friches industrielles, considérés comme habitat secondaire (Parent, 1997; Stevens *et al.*, 2003; Graitson et Denoël, 2007; Beebee *et al.*, 2009; Laudelout, 2016).

L'existence de point d'eau est nécessaire dans l'habitat de cette espèce. En effet, un point d'eau, de préférence ensoleillé, peu profond et temporaire, est primordial pour le développement et la reproduction de l'espèce. La profondeur ne doit pas être trop faible au risque de s'assécher avant que les têtards ne se métamorphosent, et pas trop élevée au risque que le point d'eau devienne permanent, favorisant l'installation de la végétation, de prédateurs et/ou de compétiteurs (Laudelout, 2016).

A l'échelle internationale (figure 3a), l'espèce est présente dans le sud-ouest, l'ouest, et le centre de l'Europe, elle se répartit depuis la péninsule ibérique jusqu'à la frontière russe. Cette espèce se retrouve également sur les îles britanniques, telles que la grande Bretagne et l'Irlande (Beja *et al.*, 2009; Graitson et Denoël, 2007). La Belgique se situe au centre de cette aire de répartition globale et contient des populations isolées. En Région wallonne (figure 3b), l'espèce a une distribution fragmentée en 5 noyaux. Les 2 plus étendus se situent au nord du sillon Sambre-et-Meuse et les 3 autres se situent en Fagne, en Famenne et en Lorraine (Graitson et Denoël, 2007). Pour le reste de la Belgique l'espèce est considérée comme "très rare". (Parent, 1997; Jacob, 2006; Graitson et Denoël, 2007).

### 3.5 Menace et conservation

Le crapaud calamite fait face à plusieurs menaces qui sont abordées par plusieurs auteurs (Beja *et al.*, 2009; Dejean *et al.*, 2010 ; Graitson et Denoël, 2007).

Bien souvent l'habitat de cette espèce se trouve à proximité des zones industrielles périurbaines. De ce fait, l'urbanisation cause la perte d'habitat, dû à "l'assainissement" et la "valorisation" des friches industrielles et des terrils, et cause la fragmentation d'habitat par la construction de barrières diverses tels que des réseaux routiers. Ceci empêche donc la dispersion de l'espèce. De plus, l'utilisation de pesticides, le drainage et le remblaiement des masses d'eau utiles à la reproduction de l'espèce, la recolonisation du milieu par la végétation suite à l'abandon des exploitations ou de l'entretien des milieux ouverts, représentent aussi un frein au développement de cette espèce. Finalement, la chytridiomycose, une maladie infectieuse et mortelle causée par un champignon pathogène, *Batrachochytrium dendrobatidis*, est un autre facteur potentiel affectant les amphibiens de manière générale (Martel *et al.*, 2013).

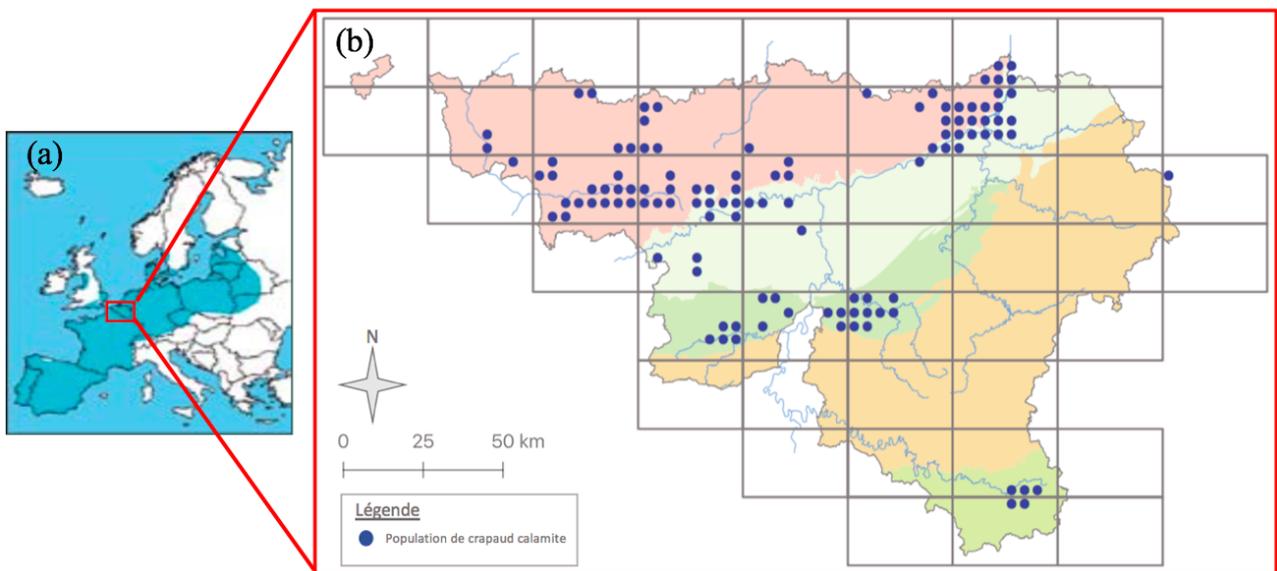


Figure 3: L'aire de répartition globale du crapaud calamite à l'échelle Européenne (a). La répartition des différentes populations de crapaud calamite présentes à l'échelle de la région wallonne en Belgique (b).

Cet anouère est mentionné dans plusieurs législations tant régionales que internationales qui tentent de protéger l'espèce avec son habitat et ses sites de reproduction. En Wallonie, le crapaud calamite se trouve en annexe IIa de la Loi sur la Conservation de la Nature, lui conférant une protection stricte (La biodiversité en Wallonie, 2021). L'espèce se trouve également en annexe II de La convention de Berne, qui engage chaque partie contractante à prendre les mesures législatives et réglementaires nécessaires et interdit également la capture, la détention, la détérioration, la destruction et la perturbation de l'espèce et de son habitat (La biodiversité en Wallonie, 2021). Elle figure à l'annexe IVa de la directive de l'Union européenne 92/43/C.E.E. (directive habitats), engageant les États membres à prendre les mesures de protection nécessaires à l'égard de cette espèce d'intérêt communautaire dans son aire de répartition naturelle, dans et en dehors des sites Natura 2000 (La biodiversité en Wallonie, 2021; Bécart *et al.*, 2007). Finalement, cette espèce est intégralement protégée en vertu du décret "Natura 2000" du 6 décembre 2001 (Région Wallonne, 2002).

## 4 Concepts théoriques

### 4.1 Translocation

La translocation, à des fins de conservation, est le déplacement délibéré d'organismes d'un site pour les relâcher dans un autre. Son but est de produire un avantage mesurable en termes de conservation au niveau d'une population, d'une espèce ou d'un écosystème, et ne doit pas seulement profiter aux individus transférés. Il existe différents types de translocations (IUCN, 2013) :

1. La réintroduction, qui est le mouvement et la libération intentionnels d'un organisme à l'intérieur de son aire de répartition indigène dont il a disparu.
2. Le renforcement ou la supplémentation, qui est le mouvement et la libération intentionnels d'un organisme dans une population déjà existante au sein de son aire de répartition.
3. L'introduction, qui est le mouvement et la libération intentionnels d'un organisme en dehors de son aire de répartition indigène à des fins de conservation, comprenant une colonisation assistée et un remplacement écologique.

Les translocations ont joué un rôle important dans la conservation de nombreuses espèces (Griffith *et al.*, 1989 ; Fischer et Lindenmayer, 2000 ; Germano et Bishop, 2009). Bien que les translocations aient été taxonomiquement orientées vers les vertébrés, en particulier les mammifères et les oiseaux (Seddon *et al.*, 2005), les translocations d'amphibiens ont augmenté en nombre et en taux de réussite (Griffiths et Pavajeau, 2008 ; Germano et Bishop, 2009). Le succès des translocations d'amphibiens est positivement lié au nombre d'animaux relâchés (Germano et Bishop, 2009).

Toutefois, les translocations peuvent causer des effets négatifs et pourraient être particulièrement dommageables pour les espèces en danger critique d'extinction, si elles ne sont pas gérées minutieusement (Doodl et Seigle, 1991 ; Fang yang *et al.*, 2018 ; Maes *et al.*, 2019). Par exemple, prélever un nombre d'œufs ou d'individus trop important dans une population source, peut diminuer et affaiblir les effectifs des générations suivantes et par conséquent mettre en péril la population source. Il est aussi important de penser à la transmission de pathogène. En effet, si la population source est victime de pathogène tel que le *Ranavirus*, *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal) et *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) qui sont particulièrement virulents chez les amphibiens, alors les translocations d'individus de cette population pourraient être un vecteur de ces pathogènes, si aucune précaution n'est prise.

La détermination de la réussite des programmes de translocation d'animaux est compliquée et il n'existe pas de définition unique de la manière de mesurer cette réussite (Gusset *et al.*, 2008). Actuellement, la mesure la plus couramment utilisée pour mesurer le succès des translocations d'animaux est l'établissement d'individus sur le site d'introduction et la formation de populations stables (Teixeira *et al.*, 2007). Bien qu'il n'existe pas de définition absolue du succès, les programmes peuvent avoir des objectifs à évaluer sur le court et le long terme.

Par exemple, Seddon (1999) a identifié une séquence de trois objectifs pour évaluer le succès des programmes de translocation :

1. La survie de la génération relâchée ;
2. La reproduction par la génération relâchée et sa progéniture ;
3. La persistance de la population rétablie telle que prédite par l'utilisation d'un modèle de probabilité d'extinction de la population.

Selon Denton *et al.* (1997), le succès des translocation a été mesuré en fonction de trois critères :

1. Le *succès initial*, atteint lorsqu'au moins une dizaine de crapauds ont émergé au cours d'au moins une des deux années des translocations ;
2. Le *succès intermédiaire*, atteint lorsque les adultes sont revenus se reproduire dans les 3 ans (âge de la maturité sexuelle) suivant le début des translocations ;
3. Le *succès complet*, atteint lorsque la reproduction s'est poursuivie sur le site pendant au moins 5 ans, que le nombre d'adultes est resté stable ou a augmenté au cours de cette période et que des crapauds issus de la reproduction de deuxième génération ont été produits.

Un échec étant attribué à toute tentative qui ne s'est pas traduite par le retour et la reproduction réussie d'adultes dans les 10 ans suivant la première translocation.

Le principal critère de l'UICN pour une translocation réussie est la production d'une population viable qui atteint sa phase de régulation (UICN, 2013). Une méthode qui renseigne sur l'état de la population installée après translocation pourrait aider à prouver son succès.

## 4.2 Capture-marquage-recapture (CMR)

Le CMR est une étude qui permet de fournir une estimation de la taille d'une population en se basant sur la reconnaissance fiable des individus (Denton, 1992 cité par Titeux, 2000; Mettouris *et al.*, 2016) et, ainsi, d'interpréter le taux de reproduction, de survie et la dynamique de cette population. Cette méthode se pratique en plusieurs étapes. La méthode de Petersen (Krebs, 1989) est le cas le plus simple avec deux sessions de capture, représenté par un exemple en figure 4.

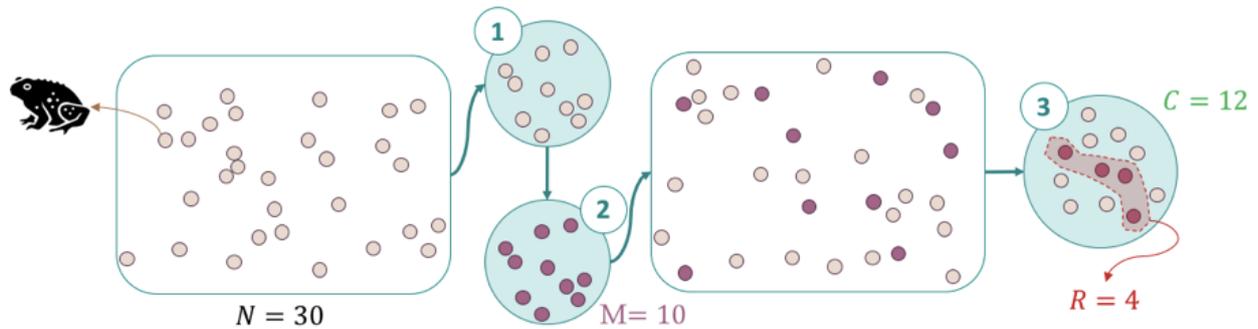


Figure 4: Lors de la première session de capture, dix individus sont (1) capturés, puis (2) lors de la deuxième session de capture (3) douze individus sont capturés (C) dont quatre qui étaient déjà marqués (R). En appliquant l'équation 1, on obtient  $N = 12 \times 10 / 4 = 30$  individus dans la population.

La première capture permet de marquer  $M$  individus. Ensuite, les individus sont relâchés afin qu'ils se mélangent avec la population totale. Finalement, lors de la deuxième session de capture,  $C$  individus sont capturés parmi lesquels  $R$  individus sont marqués (suite à la première capture). La proportion d'individus marqués ( $M$ ) dans la population totale ( $N$ ) est égale à la proportion d'individus marqués ( $R$ ) dans l'échantillon d'individus recapturés ( $C$ ) (Pollock, 2000), ce qui donne l'équation 1, où  $N$  est la taille de la population inconnue.

$$\frac{M}{\hat{N}} = \frac{R}{C} \iff \hat{N} = \frac{CM}{R} \quad (1)$$

L'équation 1 se base sur plusieurs hypothèses :

- La population est considérée comme fermée, pas d'ajout (naissance, immigration) ni de suppression (mortalité, émigration) d'individus. ( $N$  reste constant durant l'étude)
- Le marquage des individus n'influence pas le taux de survie ni le taux de recapture des individus.
- La probabilité de capture et de recapture de chaque individu est identique
- La dispersion des individus après la capture se fait de manière homogène dans la population.

Sous les mêmes hypothèses, la méthode de Schnabel (Krebs, 1989) traite les échantillons multiples (au moins 3 sessions de captures) comme une série d'échantillons de Petersen estimant la taille de la population comme une moyenne pondérée des estimations de Petersen et donne l'équation 2.

$$\hat{N} = \frac{\sum_t C_t M_t}{\sum_t R_t} \quad (2)$$

A part dans un cas idéal, il est rare que toutes ces hypothèses soient respectées simultanément. L'avantage majeur de l'échantillonnage multiple dans une expérience de Schnabel est qu'il est plus facile de détecter les violations de ces hypothèses. Un graphique de régression de la proportion d'animaux marqués (Y) sur le nombre d'animaux précédemment marqués (X) sera linéaire si ces hypothèses sont vraies, mais deviendra courbe si les hypothèses sont violées. Malheureusement, il n'y a pas d'interprétation unique possible pour les graphiques curvilignes, et ils signalent qu'une ou plusieurs hypothèses sont violées sans nous dire laquelle ni comment. Il existe plusieurs modèles (décrits ci-dessous) qui permettent de prendre en compte différents paramètres biologiques qui peuvent influencer la probabilité de capture des individus. Ces modèles sont disponibles dans le programme CAPTURE (Otis et al., 1978) et fournissent une estimation de la taille de la population avec l'intervalle de confiance à 95%. Rcapture est une version de CAPTURE adaptée en langage R. Pour ces analyses, une base de données décrivant l'histoire de vie de chaque individu est nécessaire. La forme la plus simple d'entrée de données se présente sous la forme d'une matrice X (Krebs, 1989) (tableau 1). Chaque ligne de cette matrice représente un individu unique capturé au moins une fois durant l'étude, et les colonnes de la matrice représentent les sessions de captures. Dans chaque colonne, un 0 indique que l'individu n'a pas été capturé pendant cette période d'échantillonnage, et un 1 indique que l'individu a été capturé.

Table 1: Exemple de matrice donnant l'historique de capture de chaque individus. Par exemple l'individu H02 a été capturé lors des relevés 1,2,3,6 et 7 et n'a pas été capturé lors des relevés 4 et 5.

TOAD \ SURVEY	TIME 1	TIME 2	TIME 3	TIME 4	TIME 5	TIME 6	TIME 7
	H02	1	1	1	0	0	1
H03	1	0	0	0	1	1	0
H04	0	0	1	0	0	0	0
H05	0	1	1	0	0	1	1
H06	0	1	1	0	1	1	0

Le modèle le plus simple est le modèle nul  $M(0)$  dans lequel les captures se produisent de manière totalement aléatoire pour tous les individus et ces derniers ont la même probabilité d'être capturés. Le modèle nul du programme CAPTURE est l'analogue des modèles de Petersen et de Schnabel. Si le modèle nul ne s'adapte pas bien aux données observées, il existe d'autres modèles qui prennent en compte trois sources principales de variation qui peuvent provoquer des changements dans les probabilités de capture (Krebs, 1989) :

1. Le temps : la probabilité de capture varie en fonction du moment de la capture. Par exemple, si il pleut un jour, le taux de capture peut être plus élevé que les autres jours (ou plus faible selon l'espèce).
2. L'hétérogénéité : les individus peuvent différer dans leur propension à être capturés, de sorte que certains individus tombent plus facilement dans les pièges que d'autres. Ou encore, certains animaux se déplacent davantage et sont exposés à davantage de pièges. Cette variation individuelle des chances de capture est appelée hétérogénéité dans le programme CAPTURE, et c'est une source importante de violation de l'hypothèse de capture à probabilité égale que font de nombreux modèles de CMR.
3. Le comportement : les individus peuvent changer leur comportement après avoir été capturés une fois, de sorte que les chances de capture peuvent être très différentes entre la première capture et les autres recaptures. Cette source de variation est également courante et est appelée comportement dans le programme CAPTURE parce qu'elle apparaît en général comme une réponse comportementale des animaux aux dispositifs de piégeage.

Voici les différents modèles disponibles dans le programme :

- $M(0)$  - le modèle nul : Il estime l'effectif de la population en faisant l'hypothèse d'un taux de capture constant entre les sessions et les individus.
- $M(t)$  - le modèle temporel : Il estime l'effectif de la population en incluant un taux de capture variable selon les jours de recensements.
- $M(h)$  - le modèle d'hétérogénéité : Il estime l'effectif de la population en intégrant un taux de capture variable entre les individus.
- $M(b)$  - le modèle de comportement : Il estime l'effectif de la population en intégrant un taux de capture variable entre les individus.
- $M(th)$ ,  $M(bh)$ ,  $M(tb)$  et  $M(tbh)$  : sont des modèles qui croisent les caractéristiques des trois modèles précédents en prenant en compte le taux de capture selon la date de recensement, l'individu et/ou la première capture.

Les modèles les plus complexes sont plus difficiles à ajuster aux données observées. Finalement, il est important de savoir quel modèle utiliser sur son jeu de données. Otis *et al.* (1978) ont conçu une série de tests du chi carré pour faciliter ce choix, mais ils ne donnent pas une réponse unique pour la plupart des ensembles de données. Le programme possède une routine de sélection de modèle qui permet de comparer certains modèles en utilisant des méthodes de maximum de vraisemblance.

Il existe plusieurs façons de marquer les individus, tout dépend de l'espèce concernée. En fonction de la taille de l'espèce, différents marquages seront plus ou moins applicables. Comme par exemple, une boucle d'oreille, une bague ou un collier avec un numéro unique, ou directement écrit sur l'individu, sur une coquille par exemple. Le collier GPS peut aussi être utilisé. Pour les amphibiens : la scission d'un doigt, l'application d'étiquettes distinctives, l'utilisation de marqueurs fluorescents ou de transpondeurs, l'installation de balises GPS, la reconnaissance des chants, la reconnaissance d'un pattern ventral ou dorsal, etc. peuvent être utilisés (Sinsch, 1992; Doody, 1995; Meyer *et al.*, 1997; Pellet *et al.*, 2005; Sutherland, 2006; Elgue *et al.*, 2014; Mettouris *et al.*, 2016).

Le marquage ne doit avoir aucun impact sur la santé et sur le comportement des individus afin de ne pas biaiser l'étude (Doody, 1995; Meyer *et al.*, 1997). Il faut donc choisir le type de marquage le moins intrusif pour l'espèce en fonction du budget disponible et applicable aux deux sexes (Meyer *et al.*, 1997). Le marquage photographique semble correspondre à l'ensemble de ces critères qui sont d'autant plus importants pour une espèce en danger (Kurashina *et al.*, 2003) telle que *E. calamita*.

Dans le cadre d'étude de Capture-Marquage-Recapture, le marquage photographique a déjà été appliqué plusieurs fois aux amphibiens (Kurashina *et al.*, 2003; Sutherland, 2006; Schlüpmann et Kupfer, 2009; Ribeiro et Rebelo, 2011; Elgue *et al.*, 2014; Mettouris *et al.*, 2016), y compris au crapaud calamite (Sinsch, 1992; Amiard *et al.*, 2016). Pour pouvoir être identifiés, les individus doivent présenter des caractéristiques phénotypiques extérieures permanentes et distinctives (Elgue *et al.*, 2014; Sannolo *et al.*, 2016). Le pattern ventral peut être associé à une "carte d'identité" de l'individu de crapauds calamites adultes, permettant une comparaison fiable entre les individus. Le pattern dorsal à lui seul ne permet pas d'affirmer de manière fiable l'identification des individus, mais peut être utilisé comme base de comparaison et aider à confirmer le pattern ventral lors d'incertitude (Meyer *et al.*, 1997).

## 5 Cadre de l'étude et objectif

Le projet *Life in Quarries* (LIFE 14 NAT/BE/000364) collabore avec 26 carrières wallonnes (figure 5), dont 21 d'entre elles contiennent des populations de crapauds calamites. Étant donné que l'isolement géographique des carrières est un facteur limitant dans la dispersion de la petite faune, caractéristique des milieux pionniers, le projet *Life in Quarries*, a mis en place des actions de translocation en faveur du crapaud calamite. Le but était de développer de nouvelles populations de crapaud calamite dans des carrières ne contenant pas cette espèce. Des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite ont été réalisées dans 5 carrières réceptrices (figure 5) : la carrière de Gemelle, de Walcourt, de Gaurain, de Baileux et de Hermalle sous-Huy. Elles ont été choisies sur base de leur capacité d'accueillir cette espèce et où elle aurait pu se développer si les différentes populations présentes sur l'ensemble du territoire belge (figure 3) n'étaient pas aussi fractionnées. Les œufs et les têtards proviennent de sites sources se situant à moins de 20km des sites récepteurs. Dans le cadre de cette étude, le succès des translocations dans 3 des 5 carrières a été étudié à savoir, la carrière de Gemelle, de Walcourt et de Hermalle sous-Huy.

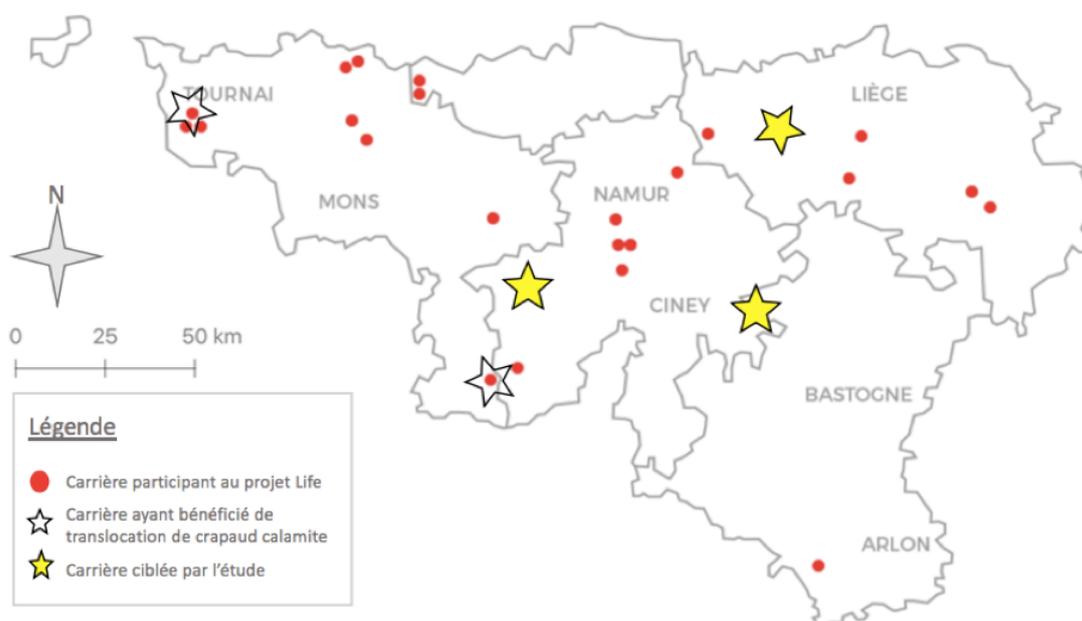


Figure 5: Carte de la Wallonie représentant les 26 carrières participant au projet *Life in Quarries*. Les étoiles blanches à contour noir représentent les 5 carrières qui ont bénéficié de translocation de crapaud calamite et les étoiles jaunes représentent les 3 carrières concernées par l'étude.

Le but de cette étude était d'évaluer le succès et l'efficacité des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite dans 3 carrières participant au projet *Life in Quarries*.

1. L'objectif principal était d'estimer la taille des populations présentes dans chaque carrière réceptrice des translocations. L'effectif a été estimé à l'aide de la méthode de capture-marquage-recapture photographique.
2. Le deuxième objectif était de déterminer la capacité de reproduction. Cela a été réalisé à l'aide de dénombrements de pontes, permettant d'estimer le nombre minimum de femelles matures, et à l'aide du comptage de mâles chanteurs (présents dans l'eau) permettant d'estimer le nombre de mâles matures.
3. Le troisième objectif consistait à étudier la capacité de dispersion de la population au sein des carrières. Cela a été réalisé en cartographiant la présence des crapauds et en calculant leur distance par rapport aux mares d'introduction les plus proches.

Les premières translocations ont eu lieu uniquement dans la carrière de Hermalle sous-Huy en 2018 car ce fut une année très sèche (Institut Royal Météorologique, 2021). Ensuite, en 2019, même si l'année était aussi sèche (Institut Royal Météorologique, 2021), les translocations ont eu lieu dans les 3 carrières ciblées par cette étude. En 2020, il y a eu des translocations dans toutes les carrières concernées. Finalement en mai 2021, des translocations ont eu lieu seulement à Gemelle et à Walcourt. Les tableaux 2, 3 et 4 résument les translocations effectuées dans les 3 carrières concernées par l'étude.

Table 2: Résumé des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite de 2018 à 2020 dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy.

		<b>Hermalle-sous-Huy</b>					
Date		2018		2019		2020	
Stade		Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards
Site source		Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards
Bois Saint-Jean		0	0	5348	0	4488	0
Carrière du Lion		0	50	7274	6505	102630	10700
Total		0	50	12622	6505	14751	10700

Table 3: Résumé des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite de 2019 à 2021 dans la carrière de Lhoist à Gemelle.

		<b>Gemelle</b>					
Date		2019		2020		2021	
Stade		Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards
Site source		Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards
Argillière de Wanlin		14088	3120	6124	400	4000	0
Total		14088	3120	6124	400	4000	0

Table 4: Résumé des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite de 2019 à 2021 dans la carrière "Les Petons" à Walcourt.

		<b>Les Petons</b>					
Date		2019		2020		2021	
Stade		Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards
Site source		Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards	Oeufs	Têtards
Carrière du Nord		3260	0	10539	724	2250	5
Carrière de Merlemont		7295	0	6534	0	0	0
Lompret		0	0	0	0	4500	0
Total		10555	0	17073	724	6750	5

## Bibliographie

- Amiard, P. & van den Brink, S. (2016). La population de Crapaud calamite (*Epidalea calamita*) des glacis du fort de Noisy : Estimation de la taille de la population et étude de l'utilisation de son biotope. ANCA Nouv. **49**, 25.
- Anrys, P. (2016). Carrières et biodiversité. In: Life in Quarries : Initial Workshop. 1-43.
- 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.
- Beebee, T. J., & Griffiths, R. A. (2005). The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology?. *Biological conservation*, **125**(3), 271-285.
- Beebee, T.J.C., Wilkinson, J.W. & Buckley, J. (2009). Amphibian declines are not uniquely high amongst the vertebrates: Trend determination and the British perspective. *Diversity* **1**(1), 67-88.
- Beja, P., Kuzmin, S., Beebee, T., Denoël, M., Schmidt, B., Tarkhnishvili, D., ... & Martínez-Solano, I. (2009). *Epidalea calamita*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e. T54598A11160828.
- BirdLife International. (2004). Threatened birds of the world 2004. CD-ROM. BirdLife International, Cambridge, UK.
- 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?. *Surv. Perspect. Integr. Environ. Soc.* **5**(2), 97-111.
- Brook, B. W., Sodhi, N. S., & Bradshaw, C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in ecology & evolution*, **23**(8) :453-460.
- Cardillo, M., Mace, G. M., Jones, K. E., Bielby, J., Bininda-Emonds, O. R., Sechrest, W., Orme, C. D. L., & Purvis, A. (2005). Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. *Science*, **309**(5738) :1239- 1241.
- Cardillo, M., Purvis, A., Sechrest, W., Gittleman, J. L., Bielby, J., & Mace, G. M. (2004). Human population density and extinction risk in the world's carnivores. *PLoS biology*, **2**(7) :e197.
- Dejean, T., Miaud, C., & Ouellet, M. (2010). La chytridiomycose: une maladie émergente des amphibiens. *Bulletin de la Société herpétologique de France*, **134**, 27-46.
- Denton, J.S. & Beebee, T.J. (1993). Density-related features of natterjack toad populations in Britain. *Journal of Zoology*, **229**(1), 105-119.
- Denton, J.S., Hitchings, S.P., Beebee, T.J.C. & Gent, A. (1997). A Recovery Program for the Natterjack Toad (*Bufo calamita*) in Britain. *Conservation Biology*, **11**(6), 1329-1338.
- Dodd, C. K., & Seigel, R. A. (1991). Relocation, repatriation, and translocation of amphibians and reptiles: are they conservation strategies that work? *Herpetological review*, **47**: 336- 350.
- Doody, J.S. (1995). A photographic Mark-Recapture Method for Patterned Amphibians. *Herpetological Review*, **26**(1), 19-21.

- Eldredge, N. (1999). Cretaceous Meteor Showers, the Human Ecological "Niche" and the Sixth Extinction. In: MacPhee, R.D.. éd. *Extinctions in Near Time : Causes, Contexts, and Consequences*. Kluwer/Academic/Plenum Publishers, New York, 1-15.
- Elgue, E., Pereira, G., Achaval-Coppes, F. & Maneyro, R. (2014). Validity of photo-identification technique to analyze natural markings in *Melanophryniscus montevidensis* (*Anura: Bufonidae*). *Phyllomedusa*, **13**(1), 59-66.
- Ehrlich, P., & Ehrlich, A. (1981). Extinction : the causes and consequences of the disappearance of species. page 305.
- Ehrlich, P. R. (1991). Biodiversity studies : science and policy. *Science*, **253**(5021) :758–762.
- Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. (2000). An assessment of the published results of animal relocations. *Biological Conservation*, **96**: 1–11.
- Gabory, O. (2014). La vie là où on ne l'attend pas... Biodiversité et sites d'extraction de matériaux. *Pour*, **223**(3), 247
- Germano, D., Machado, R., Godinho, S., & Santos, P. (2016). The impact of abandoned/disused marble quarries on avifauna in the anticline of Estremoz, Portugal: does quarrying add to landscape biodiversity?. *Landscape Research*, **41**(8), 880-891.
- Germano, J.M. & Bishop, P. J. (2009). Suitability of amphibians and reptiles for translocation. *Conservation biology*, **23**(1), 7-15.
- Gosselin, G. (2006). L'utilisation des roches en Région wallonne : Dossier scientifique réaliser dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon., Etat de l'Environnement wallon, 125.
- Graitson, E., & Denoël, M. (2007). Le Crapaud calamite, *Bufo calamita* Laurenti, 1768. Amphibiens et Reptiles de Wallonie, 142-151.
- Griffith, B., Scott, J. M., Carpenter, J. W., & Reed, C. (1989). Translocation as a species conservation tool: status and strategy. *Science*, **245**: 477–480
- Griffiths, R., & Pavajeau, L. (2008). Captive breeding, reintroduction, and the conservation of amphibians. *Conservation biology*, **22**(4), 852-61 .
- Gusset, M., Rayan S. J., Hofmeyr M., Van Dyk, G., Davies-Mostert, H. T., Graf, J. A., & Wildt, D. E. (2008). Effort going to the dogs? Evaluating attempts to re-introduce endangered wild dogs in South Africa. *Applied Ecology*, **45**: 100-108.
- Harzé, M., Benoit, L., Boisson, S., Monty, A., Pitz, C., Seleck M., & Grégory M. (2015). Partenariat pour promouvoir la biodiversité dans les carrières belges. In: REVER.
- IUCN (2007). Species extinction –The facts. Int. Union Conserv. Nat.(Red List), 4.
- IUCN/SSC (2013). Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0, IUCN Species Survival Commission, Gland, Switzerland, viiii + 57 pp.

- Jacob, J. (2006). L'érosion de la biodiversité : les amphibiens et les reptiles, Etat de l'Environnement wallon, 12.
- Krebs, J. C. (1989). Estimating abundance and density: Mark-recapture techniques. In Ecological methodology, 2nd edition, ed. J. C. Krebs, pp. 21-83. The University of Chicago Press, Chicago.
- Kurashina, N., Utsunomiya, T., Utsunomiya, Y., Okada, S. & Okochi, I. (2003). Estimating the Population Size of an Endangered Population of *Rana porosa brevipoda* Ito (Amphibia: Ranidae) from Photographic Identification. *Herpetological Review*, **34**(4), 348.
- La biodiversité en Wallonie (2021). Crapaud calamite (*Bufo calamita*). En ligne, <http://biodiversite.wallonie.be/fr/bufo-calamita.html?IDD=50334423&IDC=320>, consulté le 25/03/2021.
- Laudelout, A. (2016). Actions pour le crapaud calamite en Wallonie. DGARNE éd., 31.
- Leader-Williams, N., Adams, W. M., & Smith, R. J. (2011). Trade-offs in conservation : deciding what to save, volume 8. John Wiley & Sons. Life in Quarries, 2021. En ligne, <http://www.lifeinquarries.eu>. Consulté le 10/03/2021.
- Martel, A., Spitzen-van der Sluijs, A., Blooi, M., Bert, W., Ducatelle, R., Fisher, M. C., ... & Pasmans, F. (2013). Batrachochytrium salamandrivorans sp. nov. causes lethal chytridiomycosis in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110**(38), 15325-15329.
- Maes, J., Van Oosten, A. R., Van Houtte, N., & Matthysen, E. (2019). Genetic structure of natterjack toad (*Epidalea calamita*) populations in Flanders, Belgium, and its implications for conservation, *Amphibia-Reptilia*, **40**(2), 193-205.
- Mermod, M., Zumbach, S., Aebischer, A., Leu, T., Lippuner, M. & Schmidt, B. (2010). Notice pratique pour la conservation du crapaud calamite (*Bufo calamita*). Karch Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse éd., 21.
- Mettouris, O., Megremis, G. & Giokas, S. (2016). A newt does not change its spots: using pattern mapping for the identification of individuals in large populations of newt species. *Ecol. Res.* **31**, 483-489.
- Meyer, F. & Grosse, W.-R. (1997). Populationsökologische Studien an Amphibien mit Hilfe der fotografischen Individualerkennung: Übersicht zur Methodik und Anwendung bei der Kreuzkröte (*Bufo calamita*). *Mertensiella* **7**, 79-92.
- Miaud, C. & Sanuy, D. (2005). Terrestrial habitat preferences of the natterjack toad during and after the breeding season in a landscape of intensive agricultural activity. *Amphibia-Reptilia*. **26**(3), 359-366.
- Miaud, C. & Muratet, J. (2018). Les amphibiens de France. Guide d'identification des œufs et des larves.
- Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C., & Anderson, D. R. (1978). Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife monographs*, **62**, 3-135.
- Parent, G.H. (1997). Chronique de la régression des batraciens et des reptiles en Belgique et au Grand-Duché de Luxembourg au cours du XXe siècle. *Les Nat. Belges* **78**, 257-304.
- Pellet, J. & Schmidt B.R. (2005). Monitoring distributions using call surveys: Estimating site occupancy, detection probabilities and inferring absence. *Biological Conservation*, **123**(1), 27-35.
- Pimm, S.L. & Brooks T.M. (2000). The sixth extinction : How large, where, and when? In: Raven, P.H. éd. Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World. *National Academy Press*, Washington, D.C., 46-50.

- Pollock, K. H. (2000). Capture-Recapture Models. *American Statistical Association*, **95**:449, 293-296.
- Prach, K., Lencová, K., Rehounková, K., Dvoráková, H., Jírová, A., Konvalinková, P., Mudrák, O., Novák, J., & Trnková, R. (2013). Spontaneous vegetation succession at different central european mining sites : a comparison across seres. *Environmental Science and Pollution Research*, **20**(11) :7680–7685.
- Région Wallonne, 1973. Loi du 12 juillet 1973 relatif à la conservation de la nature, Moniteur Belge du 11/09/1973.
- Région Wallonne (2002). Décret du 06/12/2001 relatif à la conservation des sites Natura 2000 ainsi que de la faune et de la flore sauvages, Moniteur Belge du 14/02/2002.
- Remacle, A. (2005). L'inventaire des carrières de Wallonie (Belgique) : présentation générale et aspects entomologiques. *Notes fauniques de Gembloux*, **57**(1), 73-79.
- Ribeiro, J. & Rebelo, R. (2011). Survival of *Alytes cisternasii* tadpoles in stream pools: A capture-recapture study using photo-identification. *Amphibia-Reptilia*. **32**, 365-374.
- Sannolo, M., Gatti F., Mangiacotti M., Scali S. & Sacchi R. (2016). Photo-identification in amphibian studies: a test of I3S Pattern. *Acta Herpetologica*, **11**(1), 63-66.
- Schlüpman, M. & Kupfer, A. (2009). Methoden der Amphibienerfassung – eine Übersicht. *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **15**, 7-84.
- Seddon, P. J. (1999). Persistence without intervention: assessing success in wildlife reintroductions. *Trends in Ecology and Evolution*, **14**(!2): 503.
- Seddon, P. J., Soorae, P. S. & Launay, F. (2005). Taxonomic bias in reintroduction projects. *Animal Conservation*, **8** : 51–58
- Séleck, M., Mathelart, C., Gauquie, B., Taymans, J., Sneessens, A., Calozet, M., & Mahy, G. (2019). Synthèse des inventaires biologiques des 24 carrières du life in quarries. Technical report, Life In Quarries.
- Sinsch, U. (1988). Temporal spacing of breeding activity in the natterjack toad, *Bufo calamita*. *Oecologia*, **76**(3), 399-407.
- Sinsch, U. (1992). Structure and dynamic of natterjack toad metapopulation (*Bufo calamita*). *Oecologia*, **90**, 489-499.
- Sinsch, U. (1997). Postmetamorphic dispersal and recruitment of first breeders in a *Bufo calamita* metapopulation. *Oecologia*, **112**(1), 42-47.
- Stevens, V.M., Wesselingh R.A. & Baguette M. (2003). Demographic processes in a small, isolated population of natterjack toads (*Bufo calamita*) in southern Belgium. *Herpetological Review*, **34**(4), 348.
- Sutherland, W.J. (2006). Ecological census techniques: A handbook, Trends in Ecology & Evolution. Cambridge, U. of éd., Cambridge University Press, 446.
- Titeux, N. (2000). Ecologie comportementale du crapaud calamite (*Bufo calamita* Laurenti) et caractérisation démographique d'une population isolée en Brabant Wallon.
- Teixeira, C. P., Azevedo, C. S., Mendl, M., Cipreste, C. F. & Young, R. J. (2007). Revisiting translocation and reintroduction programmes: the importance of considering stress. *Animal Behaviour*, **73**: 1–13.
- Telea, A., Topliceanu, T. S., Bălăşoiu, D., Şerban, R., & Cogălniceanu, D. (2019). Biodiversity in Quarries- a Study Case from Iglicioara Quarry, Romania.

- Temple, H.J. & Cox, N.A. (2009). European Red List of Amphibians, viii + 32pp + 4pp cover.
- Temple, H. J., & Terry, A. (2007). The status and distribution of European mammals. The status and distribution of European mammals.
- Wilson, E. O. (1988). The current state of biological diversity. *Biodiversity*, **521**(1) :3–18.
- Yan, F., Lü, J., Zhang, B., Yuan, Z., Zhao, H., Huang, S., ... & Che, J. (2018). The Chinese giant salamander exemplifies the hidden extinction of cryptic species. *Current Biology*, **28**(10), R590-R592.

## **PARTIE 2 - ARTICLE SCIENTIFIQUE**

# Industrial sites as opportunities for the conservation of endangered amphibians: translocation of natterjack toads (*Epidalea calamita*) in active quarries

## Abstract

---

More than half of all amphibians have declining populations, often due to habitat fragmentation causing population isolation. Translocation of species from one site to another is a popular process in conservation biology. However, its success is widely controversial. In this paper, the success of translocations of natterjack toad's eggs and tadpole have been studied. Translocations took place from source sites (located less than 20km from the receptor sites) to receptor sites (quarries still in operation) in 2018 and 2021 in the Walloon region of Belgium. Population size was estimated using capture-release-recapture of natterjack toad with photo identification in each quarry. Areas of 500m around the introduction ponds were surveyed at night. Breeding capacity was studied by counting the number of mature males and females. The position of each individual was noted during the capture. This made it possible to calculate their distance from the nearest introduction pond. The results showed that none of the three quarries reached the 100 individuals necessary to obtain a viable long-term population. However, *initial* and *intermediate success*, according to the criteria of Denton *et al.* (1997), was achieved. Indeed, more than 10 individuals per quarry were found and signs of reproduction of the first generation were already visible after only two years. Finally, a larger time scale should be considered to speak about *complete success*.

**Keywords** *translocation, natterjack toad, capture-release-recapture, photo-identification, quarries, Life in Quarries.*

---

## 1 Introduction

Amphibians constitute a highly endangered taxonomic group (Beebee & Griffiths, 2005; Becker *et al.*, 2007). Indeed, according to the IUCN classification, 40% of amphibian species are endangered by extinction (Bishop *et al.*, 2012). In Europe, 25% of amphibians are threatened while 17% are near threatened (Temple & Cox, 2009). Over half of amphibians (59%) present declining populations, 36% are stable and only 2% are increasing. Their overwhelming majority of threatened and near-threatened amphibian species are endemic to Europe and the European Union, underlining the responsibility of European countries to protect the global populations of amphibians (Temple & Cox, 2009). Several factors can cause this loss of biodiversity, including habitat destruction and fragmentation (Cushman, 2006), diseases (Beebee & Griffiths, 2005; Mann *et al.* 2009; Brühl *et al.*, 2013), the spread of pathogens (Berger *et al.*, 1998; Daszak *et al.*, 2003; Martel *et al.*, 2013), climate change (Carey & Alexander 2003), invasive species (Johnson *et al.*, 2011), illegal harvesting and trade (Schlaepfer *et al.*, 2005; Chan *et al.*, 2014), or the interaction between several factors (Cardillo *et al.*, 2005; Pounds *et al.*, 2006; Brook *et al.*, 2008; Leader-Williams *et al.*, 2011).

However, new anthropogenic habitats and land use changes have sometimes created opportunities in amphibians' biodiversity conservation. Coalfield habitats (Foucher *et al.*, 2017) and extractives activities are such an example. While quarries seem to reflect a hostile, lifeless and sterile environment for nature, extractive activities act as a source of disturbances creating pioneer and heterogeneous environments (Schulz & Wiegand, 2000) : loose cliffs, overburden embankments, settling ponds, screes, temporary ponds, etc. This situation may benefit pioneer amphibians of high biological value (Vojar *et al.*, 2016) such as natterjack toad (*Epidalea calamita*) (Flavenot *et al.*, 2015). While barren habitats can be seen as a much favorable habitat for pioneer species, the geographic isolation of quarries in an anthropized and homogeneous matrix and the low mobility of the amphibians can act as factors limiting their dispersion.

Translocation is a potentially important conservation tool to reinforce metapopulation of organism in fragmented habitat by the restoration/creation of new populations (Dodd & Seigel, 1991; Germano & Bishop, 2009). According to the IUCN definition, it refers to any movement of living organisms from one area to another. This includes deliberate movements of animals to establish a new population, restore an extirpated population, or increase

a critically reduced population. A successful program produces a viable, autonomous population in the wild (Griffith *et al.*, 1989; Dodd & Seigel 1991; IUCN 2013). Although the success rate of amphibian and reptile translocations has increased over the past 30 years (Germano & bishop, 2009) several papers show that translocations can have negative effects and could be particularly damaging to critically endangered species (Doodl & Seigle, 1991; Yan *et al.*, 2018; Maes *et al.*, 2019) while other studies show the benefits and success of translocations (Germano & Bishop, 2009).

Despite being widely distributed in Europe, the natterjack toad population is globally declining. Population declines of common and widespread amphibian species are of particular concern, as these species are often overlooked when establishing conservation strategies (Sterrett *et al.*, 2019). In Walloon region of Belgium, the natterjack toad has been regionally red-listed as endangered (Jacob *et al.*, 2007) and has been the focus of considerable conservation efforts over the past decade to increase its range and population size. Quarries have been recognized as presenting a favorable environment to implement actions of introduction to increase the number of regional population.

The "Life in Quarries" project (LIFE14 NAT/BE/000364) aims to promote biodiversity and optimize the potential of various Walloon quarry while in operation. It has set up translocation action of eggs and tadpoles of natterjack toads. Five quarries were selected for these reintroductions. Their selection was based on a study of the IUCN Biological Criteria carried out in 2017. These were quarries where the species was absent without direct possibility of spontaneous colonization because of natural barriers (watercourses, etc.), anthropogenic (roads, etc.) or too long distance from existing populations, beyond three kilometers. The sites are an opportunity to study the success of translocations on amphibians in an applied and real context (Life in quarries, 2021).

The purpose of this study was to evaluate the success of translocations of natterjack toad eggs and tadpoles in three quarries.

1. The primary objective was to estimate the population size of natterjack toads that have become established in three quarries receiving translocations of eggs and tadpoles from other source sites.

2. A second objective was to determine the reproductive capacity of these populations by counting the number of mature males and females.
3. A third objective was to study the dispersal ability of individuals within receptor quarries.

Translocation success was compared to the three success criteria of Denton *et al.* (1997).

## 2 Material and Methods

### 2.1 Natterjack toad description

The natterjack toad (*Epidalea calamita*) is a native of western and central Europe (Denton *et al.*, 1997). In Wallonia, the natterjack toad is currently present in small, fragmented populations (Parent, 1997; Graitson & Denoël, 2007). It is characterised by a yellow line across its back, vertical pupils and yellow irises. This species of toad colonises open areas characterised by bare soil or low herbaceous vegetation (lower than 30cm) such as moors, dunes and alluvial zones. The species also takes advantage of areas linked to human activity such as quarries, slag heaps, industrial wastelands, considered as secondary habitat. It breeds in temporary ponds where the female lays the eggs in the bottom of the water. The eggs metamorphose into tadpoles after 5 days and the tadpoles into juveniles after 4 weeks. (Denton *et al.*, 1997; Stevens *et al.*, 2003; Graitson & Denoël., 2007; Beebee *et al.*, 2009; Laudelout, 2016). This species is strictly protected and listed under Annex IV of the EU Habitat and Species Directive (92/43/EEC) with EU member states required under Article 17 to report regularly to the European Commission on species' population size and trend.

### 2.2 Site description

This study was conducted from April to June 2021 in three quarries located in Wallonia, southern Belgium (Figure 1). Translocations of natterjack toad eggs and larvae took place from 2018 to 2021. From 23 700 to 44 700 eggs/larvae were introduced in the quarries (table 1). Fragments of eggs, which represent 10-15% of the spawn, were collected from several source sites within a 20 km radius of the receptor quarry and released within 24 hours. A

more detailed description of the source sites and the number of eggs and tadpoles introduced per year and per quarry is available in Appendix A.

Table 1: Summary of natterjack egg and tadpole translocations in each quarry

Quarry	Hermalle	Jemelle	Les Petons
Date	2018-2020	2019-2021	2019-2021
Eggs	27300-27400	20200-20300	27600-27700
Tadpoles	17200-17300	3500-3600	700-800
Total	44500-44700	23700-23900	28300-28500

The study area is about 100 000 square meters in Hermalle and Les Petons, while it is about 300 000 square meters in Jemelle. To delineate survey areas (Appendix B) for this study, in each quarry, zone of potential natterjack toad habitat were defined as follows: habitat corresponding to the ecology of the species within a maximum radius of 500m around the introduction ponds (taking into account the physical constraints that a quarry may present). Natterjack toad populations in Wallonia are fragmented and isolated (Graitson & Denoël, 2007), ensuring that the populations studied can be considered closed with no immigration or emigration.

## 2.3 Data collection and analysis

### 2.3.1 Population size

In order to estimate the size of the natterjack toad populations in each quarry, capture-release-recapture (CRR) consisting in seven capture episodes per quarry were realized. The capture of individuals was carried out on the first day with favorable climate after heavy rainfall, from March 31 to June 30, 2021, under night temperatures above 10°C, starting 30 minutes after sunset (Blankenhorn, 1972). A minimum of one week between each capture allowed for dispersal of individuals. Systematic transect walks were carried out with lamp torches in order to survey approximately 15% of the surface of each zone. All individuals encountered in the transects were captured by hand and placed individually in numbered boxes. A geo-referenced point was noted at the location of the capture, the ID of this point was the same as the ID of the box. Once the transects were completed for a zone, the ventral and dorsal patterns of all individuals caught were photographed for further identification. All

captured toads were photographed with a digital camera (Canon PowerShot SX260 HS) in the same position and under the same light conditions in a wooden photo box (appendix C) (Justen *et al.*, 2017). The belly of each individual was checked before taking the picture, and wiped clean if dirty. The individuals were released at the exact location of capture. Each capture was carried out in this way.

For image analysis, each toad was assigned with a unique ID. Pictures of captured individuals were compared by single eye matching and a capture history for each individual was constructed per quarry (Reyne *et al.*, 2021). All images from the first survey were placed in the catalogue as different individuals. Then each ventral picture of the second survey was visually compared to the ones of the catalogue (consisting of the individuals of the first survey). If the belly was identical to one in the catalogue, the dorsal photo was used as a confirmation of the individual. If the belly could not be found in the catalogue, a second round of the catalogue was necessary. If the belly picture from the second run did not match any of the pictures in the catalogue, the individual was given a new ID. The procedure was repeated for each survey. Individuals that were never recaptured were reviewed by an independent expert.

CRR analyses were based on CAPTURE software. The software uses maximum likelihood procedures to estimate population parameters and proposes log linear models to estimate population sizes with 95% confidence intervals (White & Burnham 1999). We performed analyses using the package Rcapture (sub-module of CAPTURE) developed in R 3.6.1 (Rivest *et al.*, 2019).

These models are based on several assumptions:

- The population is considered closed, i.e. neither mortality nor immigration and emigration processes play a role during the study period
- The marking of individuals does not influence the survival rate or the recapture rate of individuals.
- The probability of capture and recapture of each individual is identical
- The dispersion of individuals after capture is homogeneous in the population.

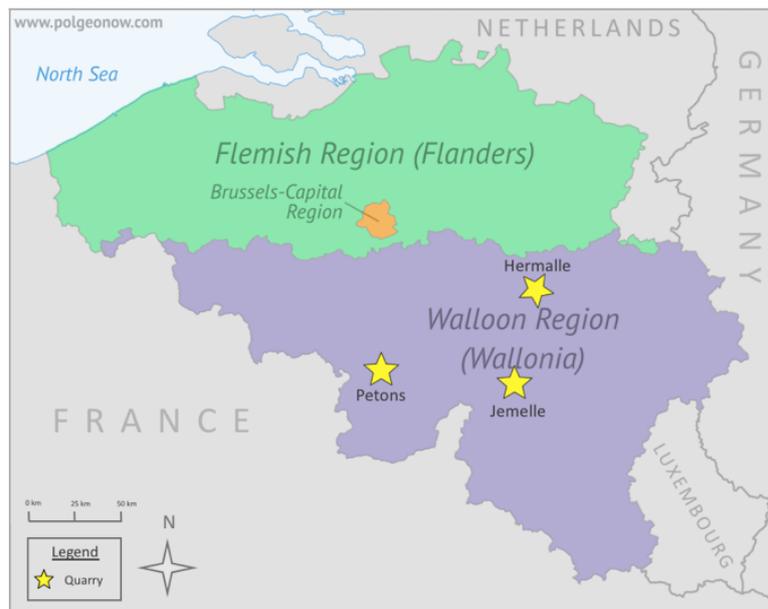


Figure 1: Map of Belgium, with the location of the three quarries in Wallonia that have received translocations of natterjack eggs and tadpoles.

In this study, the first two assumptions were respected. The study time was short enough to neglect mortality. Not knowing if the last two assumptions were respected, several models were considered and generated using the "closedp" function:

- $M(0)$  corresponds to the simplest model where the four conditions of application are respected;
- $M(t)$  corresponds to the temporal model: it estimates the population size by including a variable capture rate according to the census days. Indeed, the weather (drier, warmer, wetter or colder) was different among each capture session;
- $M(h)$  corresponds to the heterogeneity model: it estimates the population size by including a variable capture rate between individuals. Indeed, females being more discrete, their probability of capture is lower than that of males;
- $M(th)$  correspond to mixtures, which cross the characteristics of the previous models;

For each model the estimate of the population size, the standard error, the BIC (bayesian information criterion) and the confidence interval were calculated with the "closedpCI" function. For the  $M(h)$  and  $M(th)$  model several variants were proposed (Darroch, Chao, Gamma 3.5 and Poisson2) the one with the lowest BIC was selected.

### 2.3.2 Breeding capacity

Egg string counts can be a good indicator of the minimum number of breeding females as the species usually lays just one egg string per year (Beebee & Denton 1996). Each pond in the different zones of the different sites were surveyed every two weeks during the day to count the number of eggs strings. It was not always possible to identify a natterjack toad laying from that of a common toad (*Bufo bufo*). To ensure that the eggs were indeed laid by a natterjack toad, they were monitored until metamorphosis, i.e. after four weeks, a visit was made during the day to observe the presence of juveniles under the amphibians plates or under large stones in the direct proximity of the ponds. The minimum number of mature females was estimated by the number of observed spawns and the number of mature males was estimated by the number of singing males caught in the ponds (if caught more than once).

### 2.3.3 Use of space and movement

For each individual identified and captured during the survey sessions, the distance from the nearest introduction pond was estimated thanks to geo-referenced points taking during CRR sessions.

### 3 Results

#### 3.1 Population size

During 21 nights of survey, across all quarries, 264 toads were caught and photographed. Of these, 120 unique individuals were identified based on pictures of ventral marking comparisons (Figure 2) allowing the construction of recapture histories for each individual. The recapture rate, all three quarries combined, was of 56%. At Hermalle, a total of 56 toads were photographed, including 31 unique individuals, of which 15 males and 16 females and a recapture rate of 45%. At Jemelle, a total of 51 toads were photographed, including 40 unique individuals with 26 males and 14 females and a recapture rate of 22%. At Les Petons, a total of 157 toads were photographed, including 49 unique individuals which 35 males and 14 females and a recapture rate of 69% (Table 2).

Table 2: For each quarry, during each survey, the number of toads caught, the total number of captures, the total number of different toads caught and the recapture rate are indicate.

Quarry	Hermalle	Jemelle	Les Petons
<b>Survey</b>			
TIME 1	2	0	34
TIME 2	3	0	23
TIME 3	10	19	17
TIME 4	4	7	33
TIME 5	9	12	14
TIME 6	18	7	23
TIME 7	10	6	13
<b>Total capture</b>	56	51	157
<b>Total unique individuals</b>	31	40	49
<b>Capture rate (%)</b>	45	22	69

The estimate of population size based on the CRR ranged from 80 to 110 at Jemelle, 37 to 50 at Hermalle and 50 to 56 at Les Petons, depending on the model used (Tables 3, 4 and 5). The estimates are of the same order of magnitude. The model with the lowest BIC was selected. The M(th) Darroch model was used to estimate the population size in the quarry of Hermalle and Les Petons, with an estimate of 50.2 and 55.8 respectively. While the M(t) model was used to estimate 79.5 individuals in the Jemelle quarry.

Table 3: Results of the different models tested in Rcapture with the "closedp" function for the Hermalle quarry. The summary includes the name of the model, the estimated abundance, the standard error, the BIC and the confidence interval.

Hermalle-sous-Huy				
Model	M0	Mt	Mh <sup>1</sup>	Mth <sup>1</sup>
<b>Abundance</b>	38.6	36.9	50.2	50.2
<b>Standard error</b>	4.1	3.5	13.6	13.7
<b>BIC</b>	128.4	119.1	129.3	118.6
<b>Inf IC</b>	32.0	31.5	33.2	33.1
<b>Sup IC</b>	48.6	45.3	92.4	93.1

<sup>1</sup>Darroch

Table 4: Results of the different models tested in Rcapture with the "closedp" function for the Jemelle quarry. The summary includes the name of the model, the estimated abundance, the standard error, the BIC and the confidence interval.

Jemelle				
Model	M0	Mt	Mh <sup>1</sup>	Mth <sup>2</sup>
<b>Abundance</b>	88.5	79.5	96.5	110.3
<b>Standard error</b>	21.2	18.0	30.2	75.9
<b>BIC</b>	103.7	77.3	107.1	80.7
<b>Inf IC</b>	58.4	53.9	58.9	42.1
<b>Sup IC</b>	150.4	131.4	196.1	> 330.8

<sup>1</sup>Chao, <sup>2</sup>Darroch

Table 5: Results of the different models tested in Rcapture with the "closedp" function for Les Peton quarry. The summary includes the name of the model, the estimated abundance, the standard error, the BIC and the confidence interval.

Les Petons				
Model	M0	Mt	Mh <sup>1</sup>	Mth <sup>1</sup>
<b>Abundance</b>	49.7	49.5	56	55.8
<b>Standard error</b>	0.9	0.8	4.6	4.5
<b>BIC</b>	233.0	220.1	217.3	197.5
<b>Inf IC</b>	49.0	49.0	49.3	49.2
<b>Sup IC</b>	51.6	51.1	67.8.4	67.4

<sup>1</sup>Darroch

#### 3.2 Breeding capacity

The number of egg-spawn found (Table 6) corresponds to a minimum number of mature females in each quarry. There was mature females in each quarry, 10 at Hermalle, and six at Jemelle and Les Petons. Each male caught singing at the edge of a pond was considered mature. There were, 16 mature males at Hermalle, 23 at Jemelle and 36 at Les

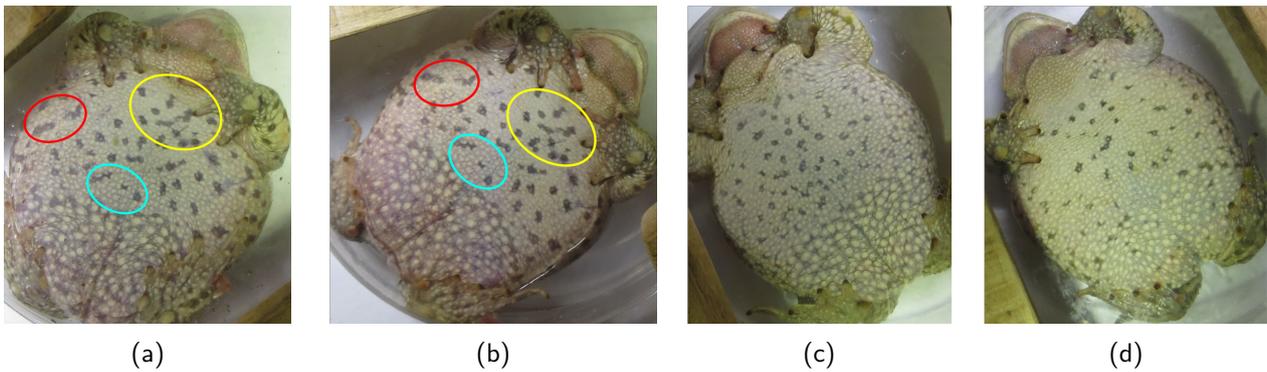


Figure 2: Individual variation in natterjack toad ventral markings used for photo-ID. The same individual caught in different surveys with identical markings highlighted by a color circle (a, b) and two different individuals caught during the same survey (c, d).

Petons (Table 6). The total population captured in each quarry during the study is considered mature, except for a few females and four males. A larger number of mature males was captured than expected minimum mature females, especially at Jemelle and Les Petons.

Table 6: Number of spawns and mature males observed per quarry compare to the number of males and females captured.

Quarry	Hermalle	Jemelle	Les Petons
Females captured	15	14	14
Spawns	10	6	6
Males captured	16	26	35
Mature males	15	23	35

### 3.3 Use of space and movement

In general, the closer to the pond, the more individuals were observed (Figure 3). At Jemelle and Hermalle the dispersion from the closest introduction pond was respectively 370 meters and 216 meters maximum and 50% of the individuals were caught respectively at more than 160 and more than 60m from the closest introduction point. While at Les Petons quarry the distance from the introduction pond was 46m maximum, i.e. 100% of the captures were less than 50m from an introduction pond. The frequency of males had this same tendency while the frequency of females remained constant whatever the distance. Finally, females were consistently observed farthest from the introduction ponds.

## 4 Discussion

The populations of the different quarries were estimated according to several models. The  $M(0)$  model represented the ideal case that respected the four assumptions of the Petersen Index. However, because the capture rate was variable among surveys, this model may provide a poor estimate of the population size. The model estimated a total population of 39 for Hermalle, 89 for Jemelle and 50 for Les Petons. However, monitoring of adult natterjacks under plates, conducted in addition to nightly captures, revealed a total of 48, 40, and 53 different individuals captured at Hermalle, Jemelle, and Les Petons respectively. The  $M(0)$  model lead to an underestimation of the populations at Hermalle and Les Petons. The  $M(t)$  model, takes into account the variability within the different surveys, it should, *a priori*, better estimate the population size. While it is the best estimator for the Jemelle population (lowest BIC) with an estimated population size of 80 individuals, it underestimates the Hermalle and Les Petons populations. The  $M(h)$  model took into account the variability within the different individuals, and the  $M(th)$  model simultaneously took into account the time and heterogeneity factors. The latter was considered the best model (according to the BIC) to estimate the population at Hermalle and Les Petons with 50 and 56 individuals respectively. Jemelle would have a variable catch rate among the different surveys, while the populations at Hermalle and Les Petons would have a variable catch rate depending on the heterogeneity among individuals and the time between surveys. The confidence intervals being very wide, the estimation of the models can be questioned. Indeed, closed population models require the respect of rather strong as-

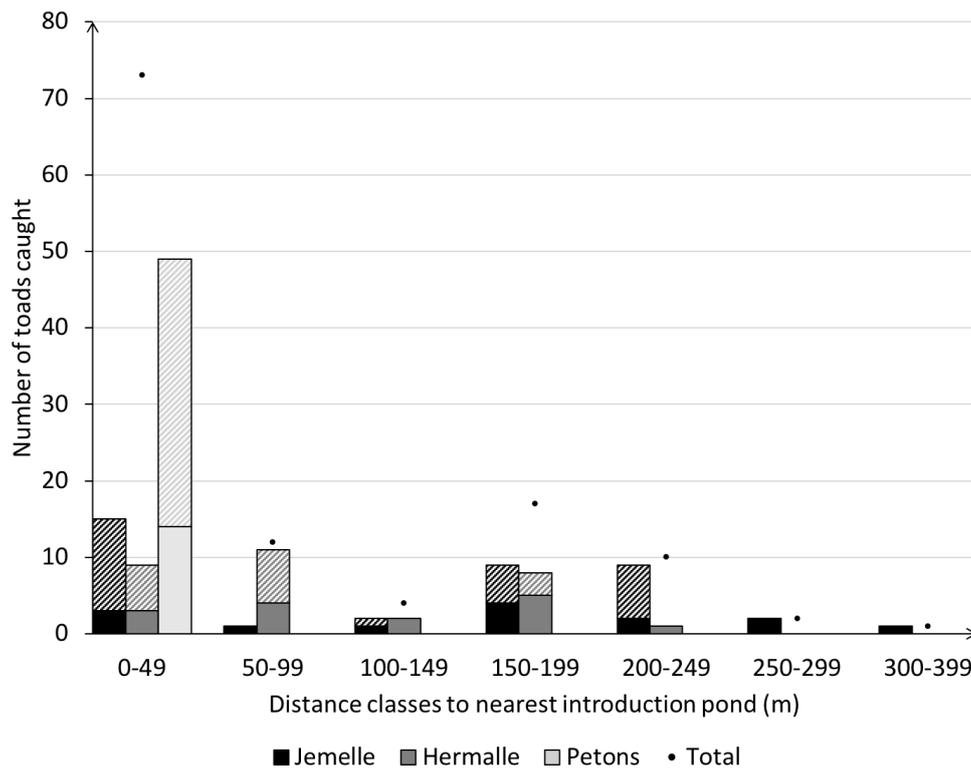


Figure 3: Graph that represents the number of toads caught per distance class to the closest introduction pond by quarry and gender. The full color part represents the number of females and the hatched part represents the number of males.

assumptions on the population. However, using open population models is complex and requires making equally strong assumptions with constant birth, death, immigration, and emigration rates (Besnard & Duguet, 2012). The use of closed population models can therefore provide insight into the evolution of population size, and show trends in numbers.

Modeling results indicate that the evolution of the populations of the three quarries is rather positive because no individual was present before the translocation. Semlitsch (2002) suggests releasing between 10000 and 50000 eggs over several years to reach a population of 100 individuals, the minimum number needed to achieve a viable and self-sustaining natterjack toad population (Germano & Bishop, 2009). None of the three quarries reached this number while between 23000 and 44000 eggs were introduced into each quarry over two years. But the population could grow even more because the detected population was composed mainly of mature adults, these individuals were probably produced by the 2019 translocations. Individuals from the 2020 translocations were not yet detectable. The Gemelle toad population was estimated of nearly 80 individuals, resulting from the introduction of ap-

proximately 14000 eggs and 3100 tadpoles in 2019. At Les Petons, the population was estimated at around 56 individuals, resulting from the introduction of approximately 10500 eggs in 2019. The total population at Hermalle was estimated at 50 individuals, deriving from approximately 12600 eggs and 6500 tadpoles introduced in 2019. The *initial success* (Denton *et al.*, 1997) is reached since at least ten toadlets emerged during at least one of the two reintroduction years.

Knowing that the success of eggs development until the adult stage observed at the time of the preceding translocations was approximately one adult for approximately 300 eggs and considering the translocations of 2020 and 2021. The natterjack toad population in Hermalle should double because approximately 14700 eggs and 10700 tadpoles were introduced in 2020. No translocation has occurred in 2021 in Hermalle quarry. If, in the coming years, no population increase is observed, the opportunity to reinforce translocations could be studied. The natterjack toad population in Gemelle should increase by 40% due to the translocation of 6100 eggs and 400 tadpoles in 2020 and 4000 eggs in 2021. And the natterjack toad population in Les

Petons should double due to the translocation of 17000 eggs and 700 tadpoles in 2020 and 6700 eggs in 2021.

Natural spawning could further increase population size. Considering the previous calculations, between 6 and 13 individuals should be added per spawn. Individuals in amplexus, singing males around ponds, natural egg laying (between six and 10 spawns per quarry) were observed. In addition, juveniles were observed near ponds where no introductions occurred in 2021. *Intermediate success* (Denton *et al.*, 1997) is reach since adults returned to breed within 3 years (the age of sexual maturity) of the beginning of translocation.

This number of spawns may seem insignificant but the oldest individuals are maximum two years old, because the translocations started in 2019. According to the literature, females are mature from three years (Denton & Beebee, 1993). It is surprising to observe natural egg laying after only two years. Some females mature faster than others. This is probably due to the food available, the size of the individuals and the weather conditions at the time of introduction. Indeed, it has been observed that warmer water causes faster larval development and produces mature individuals more quickly (Titeux, 2000; Bécart *et al.*, 2007; Rannap *et al.*, 2012; Laudelout, 2016).

The number of spawning could have been underestimated as the study period ended in June while the natterjacks are known to still lay eggs until August (Graitson & Denoël, 2007; Sinsch, 1988). In addition, at the Jemelle quarry, surveys were conducted after heavy rain, leading to more difficult prospection of the ponds because of their size, the turbidity of the water or presence of algae.

The Hermalle quarry is the one that benefited from the largest translocations but paradoxically had the smallest estimated population. This is probably due to the drought of 2019 (Institut Royal Météorologique, 2021) drastically reducing the water volume available and increasing intra- and inter-specific competition. This likely reduced success of egg development. In addition, in 2020, the main introduction ponds of Les Petons and Hermalle dried up, probably causing the mortality of a very large number of introduced eggs and explaining the large difference in estimated adult individuals with the Jemelle quarry, which had few introductions but less mortality.

In each quarry, more mature males were observed than mature females. This trend was expected as males generally mature one year earlier than females (Denton & Beebee, 1993).

Concerning the position of the individuals when they were captured in relation to the nearest introduction pond, in general, the number of individuals captured decreased when one moves away from the pond. When distinguishing males from females, the frequency of males has this same tendency while the frequency of females remained constant regardless of the distance to the pond. Finally, it was systematically the females that were found farthest from the ponds. This behavior is not surprising, since the study took place during the breeding season when the males gathered around the ponds to sing, while the females approached the ponds only to mate. Indeed, males typically stay at the breeding site for several weeks while females stay for only 10 days (Justen, 2017).

The study area in the Jemelle quarry was three times larger than in Les Petons and Hermalle quarries. This difference could explain the dissimilarity of distances obtained at Les Petons and those obtained at Jemelle. It is normal to find toads at greater distances, since they had more possibilities to move. Nevertheless, the quarries at Hermalle and Les Petons were equivalent in terms of study area, which means that the dispersion of individuals at Les Petons was less than at Hermalle. The spatial distribution of ponds within the Hermalle quarry could explain this observation. The same hypothesis can be advanced for the Jemelle quarry. Whereas in Les Petons the ponds were spatially grouped, and very close to each other, not obliging the individuals to move more (Appendix B).

In all cases, dispersal of individuals was relatively low. Indeed, according to the literature, natterjack toads should occupy a central zone of 600m around the breeding site with a maximum distance of 2250m (Sinsch, 2012). However, in our case study the movement of individuals was relatively constrained by the relief of the quarries (high steep cliffs, impassable for this species). It is therefore necessary to take into account the maximum possible distance to the introduction pond which was different for each quarry. The dispersal capacity is important, given the way temporary habitats function. Indeed, since the quarries are still in activity, the temporary habitats can be moved from one year to the next. This requires that individuals present a

high dispersal capacity to colonize the new temporary habitats created. If not, the species could be strongly affected by the replacement of temporary habitat.

## 5 Conclusion

Translocations have reached the *initial* and *intermediate success* of Denton *et al.* (1997). Indeed, individuals have settled, colonized part of the quarry, and showed signs of reproduction. The estimated number of individuals was not sufficient. Indeed, none of the three quarries has reached the 100 individuals necessary to obtain a viable population in the long term. But translocations was very recent (two years maximum) and could lead to a higher number of individuals in the years after the study. In addition, translocations was occurred the year of the study. A larger time scale should be considered to speak about *complete success*.

## Acknowledgements

We would like to thank the *Life in Quarries* project (LIFE14 NAT/BE/000364) for providing us access to the quarry, information about the sites and financial support. We also wish to thank all the volunteers and students who participated in natterjack toad monitoring.

## References

- 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.
- Becker, C. G., Fonseca, C. R., Haddad, C. F. B., Batista, R. F., & Prado, P. I. (2007). Habitat split and the global decline of amphibians. *Science*, **318**(5857), 1775-1777.
- Beebee TJC, Denton JS (1996). Double-clutching by Natterjack toads *Bufo calamita* at a site in Southern England. *Amphibia-Reptilia* **77**, 159- 67.
- Beebee, T. J., & Griffiths, R. A. (2005). The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology?. *Biological conservation*, **125**(3), 271-285.
- Beebee, T.J.C., Wilkinson, J.W. & Buckley, J. (2009). Amphibian declines are not uniquely high amongst the vertebrates: Trend determination and the British perspective. *Diversity* **1**(1), 67-88.
- Berger, L., Speare, R., Daszak, P., Green, D. E., Cunningham, A. A., Goggin, C. L., ... & Parkes, H. (1998). Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **95**(15), 9031-9036.
- 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? *Surv. Perspect. Integr. Environ. Soc.* **5**(2), 97-111.
- Blankenhorn H.J. (1972). Meteorological Variables Affecting Onset & Duration of Calling in *Hyla arborea* L. and *Bufo calamitacalamita* Laur. *Oecologia* **9**, 223-234.
- Brook, B. W., Sodhi, N. S., and Bradshaw, C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in ecology & evolu-*

- tion, **23**(8) :453–460.
- Brühl, C. A., Schmidt, T., Pieper, S. & Alscher, A. (2013). Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline? *Scientific Report*, **3**, 1135.
- Cardillo, M., Mace, G. M., Jones, K. E., Bielby, J., Bininda-Emonds, O. R., Sechrest, W., Orme, C. D. L., & Purvis, A. (2005). Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. *Science*, **309**(5738) :1239– 1241.
- Carey, C. & Alexander, M. A. (2003). Climate change and amphibian declines: Is there a link? *Diversity and Distributions*, **9**, 11– 121.
- Cushman, S. A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, **128**, 231–40.
- Daszak, P., Cunningham, A. A. & Hyatt, A. D. (2003). Infectious disease and amphibian population decline. *Diversity and Distribution*, **9**, 141– 50.
- Denton, J.S. & Beebee, T.J. (1993). Density-related features of natterjack toad populations in Britain. *Journal of Zoology*, **229**(1), 105–119.
- Denton, J.S., Hitchings, S.P., Beebee, T.J.C. & Gent, A. (1997). A Recovery Program for the Natterjack Toad (*Bufo calamita*) in Britain. *Conservation Biology*, **11**(6), 1329–1338.
- Dodd, C. K., & Seigel, R. A. (1991). Relocation, repatriation, and translocation of amphibians and reptiles: are they conservation strategies that work? *Herpetological review*, **47**: 336–350.
- Faucher, L., Hénocq, L., Vanappelghem, C., Rondel, S., Quevillart, R., Gallina, S., ... & Arnaud, J. F. (2017). When new human-modified habitats favour the expansion of an amphibian pioneer species: Evolutionary history of the natterjack toad (*Bufo calamita*) in a coal basin. *Molecular Ecology*, **26**(17), 4434–4451.
- Flavenot, T., Fellous, S., Abdelkrim, J., Baguette, M., & Coulon, A. (2015). Impact of quarrying on genetic diversity: an approach across landscapes and over time. *Conservation Genetics*, **16**(1), 181–194.
- Germano, J.M., & Bishop, P. J. (2009). Suitability of amphibians and reptiles for translocation. *Conservation biology*, **23**(1), 7–15.
- Graitson, E., & Denoël, M. (2007). Le Crapaud calamite, *Bufo calamita* Laurenti, 1768. Amphibiens et Reptiles de Wallonie, 142–151.
- Griffith, B., Scott, J. M., Carpenter, J. W., & Reed, C. (1989). Translocation as a species conservation tool: status and strategy. *Science*, **245**(4917), 477–480.
- Institut Royal Météorologique, 2021. Bilan climatique. Online : [https://www.meteo.be/resources/climatology/pdf/bilan\\_climatique\\_mensuel\\_202107.pdf](https://www.meteo.be/resources/climatology/pdf/bilan_climatique_mensuel_202107.pdf) , consulted 10/08/2021.
- IUCN/SSC (2013). Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0, IUCN Species Survival Commission, Gland, Switzerland, viiii + 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.
- La biodiversité en Wallonie (2021). Crapaud calamite (*Bufo calamita*). Online, <http://biodiversite.wallonie.be/fr/bufo-calamita.html?IDD=50334423&IDC=320>, Consulted 25/04/2021.
- Laudelout A. (2016). Actions pour le crapaud calamite en Wallonie. DGARNE éd., 31.
- Leader-Williams, N., Adams, W. M., & Smith, R. J. (Eds.). (2011). *Trade-offs in conservation: deciding what to save* (Vol. 8). John Wiley & Sons.
- Life in Quarries, 2021. Online, <http://www.lifeinquarries.eu>. Consulted 10/05/2021.
- Maes, J., Van Oosten, A. R., Van Houtte, N., & Matthyssen, E. (2019). Genetic structure of natterjack toad (*Epidalea calamita*) populations in Flanders, Belgium, and its implications for conservation *Amphibia-Reptilia*, **40**(2), 193–205.
- Mann, R. M., Hyne, R. V., Choung, C. B., & Wil-

- son, S. P. (2009). Amphibians and agricultural chemicals: review of the risks in a complex environment. *Environmental pollution*, **157**(11), 2903-2927.
- Martel, A., Spitzen-van der Sluijs, A., Blooi, M., Bert, W., Ducatelle, R., Fisher, M. C., ... & Pasmans, F. (2013). Batrachochytrium salamandrivorans sp. nov. causes lethal chytridiomycosis in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110**(38), 15325-15329.
- Parent, G.H. (1997). Chronique de la régression des batraciens et des reptiles en Belgique et au Grand-Duché de Luxembourg au cours du XXe siècle. *Les Nat. Belges*, **78**, 257-304.
- Pounds, J. A., Bustamante, M. R., Coloma, L. A., Consuegra, J. A., Fogden, M. P., Foster, P. N., ... & Young, B. E. (2006). Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, **439**(7073), 161-167.
- Rannap, R., Lõhmus, A., Tammaru, T., Brigg, L., De Vries, W. & Bibeliether, F. (2012). Northern natterjack toads (*Bufo calamita*) select breeding habitats that promote rapid development. *Behaviour*, **149**, 737-754.
- Région Wallonne (2002). Décret du 06/12/2001 relatif à la conservation des sites Natura 2000 ainsi que de la faune et de la flore sauvages, Moniteur Belge du 14/02/2002.
- Reyne, M., Helyar, S., Aubry, A., Emmerson, M., Marnell, F., & Reid, N. (2021). Combining spawn egg counts, individual photo-ID and genetic fingerprinting to estimate the population size and sex ratio of an endangered amphibian. *Integrative zoology*, **16**(2), 240-254.
- Rivest, L. P., Baillargeon, S., & Rivest, M. L. P. (2019). Package 'Rcapture'.
- Schulz, F. & Wiegleb, G. (2000). Development options of natural habitats in a post-mining landscape. *Land Degradation & Development*, **11**(2) :99-110.
- Semlitsch, R. (2002). Critical elements for biological based recovery plans of aquatic-breeding amphibians. *Conservation Biology*, **16**, 619-629.
- Sinsch, U. (1988). Temporal spacing of breeding activity in the natterjack toad, *Bufo calamita*. *Oecologia*, **76**(3), 399-407.
- Sinsch, U., Oromi, N., Miaud, C., Denton, J. & Sanuy, D., 2012. Connectivity of local amphibian populations: Modelling the migratory capacity of radio-tracked natterjack toads. *Animal Conservation*, **15**(4), 388-396.
- Sterrett, S.C., Katz, R.A., Brand A.B., Fields, W.R., A.E., Hocking, D.J., Foreman, T.M., Wiewel, A.N.M. & Grant, E.H.C. (2019). Proactive management of amphibians: challenges and opportunities. *Biology Conservation*, **236**, 404-410.
- Stevens, V.M., Wesselingh R.A. & Baguette M. (2003). Demographic processes in a small, isolated population of natterjack toads (*Bufo calamita*) in southern Belgium. *Herpetological Review*, **34**(4), 348.
- Temple, H.J. & Cox, N.A. (2009). European Red List of Amphibians, viii + 32pp + 4pp cover.
- Titeux, N. (2000). Ecologie comportementale du crapaud calamite (*Bufo calamita* Laurenti) et caractérisation démographique d'une population isolée en Brabant Wallon.
- Vojar, J., Doležalová, J., Solský, M., Smolová, D., Kopecký, O., Kadlec, T., & Knapp, M. (2016). Spontaneous succession on spoil banks supports amphibian diversity and abundance. *Ecological Engineering*, **90**, 278-284.
- White, G.C. & Burnham, K.P. (1999). Program MARK: Survival estimation form populations of marked animals. *Bird Study*, **46**, 120- 38.
- Yan, F., Lü, J., Zhang, B., Yuan, Z., Zhao, H., Huang, S., ... & Che, J. (2018). The Chinese giant salamander exemplifies the hidden extinction of cryptic species. *Current Biology*, **28**(10), R590-R592.

# Appendices

## A Details on translocations per quarry: years of translocation, number of eggs and tadpoles from each source site to the receptor quarry

Table 7: Summary of translocations of natterjack eggs and tadpoles from 2018 to 2020 in the Hermalles quarry

		<b>Hermalles-sous-Huy</b>					
Date		2018		2019		2020	
Stage		Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles
Source site		Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles
Saint Jean wood		0	0	5348	0	4488	0
Lion quarry		0	50	7274	6505	102630	10700
Total		0	50	12622	6505	14751	10700

Table 8: Summary of translocations of natterjack eggs and tadpoles from 2018 to 2020 in the Jemelle quarry.

		<b>Jemelle</b>					
Date		2019		2020		2021	
Stage		Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles
Source site		Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles
Wanlin		14088	3120	6124	400	4000	0
Total		14088	3120	6124	400	4000	0

Table 9: Summary of translocations of natterjack eggs and tadpoles from 2018 to 2020 in "Les Petons" quarry

		<b>Les Petons</b>					
Date		2019		2020		2021	
Stage		Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles
Source site		Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles	Eggs	Tadpoles
Frasn		3260	0	10539	724	2250	5
Merlemont		7295	0	6534	0	0	0
Lompriet		0	0	0	0	4500	0
Total		10555	0	17073	724	6750	5

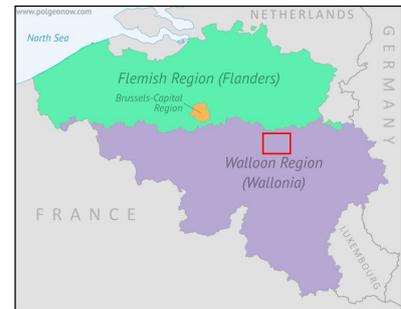
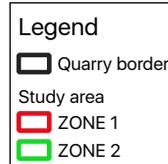
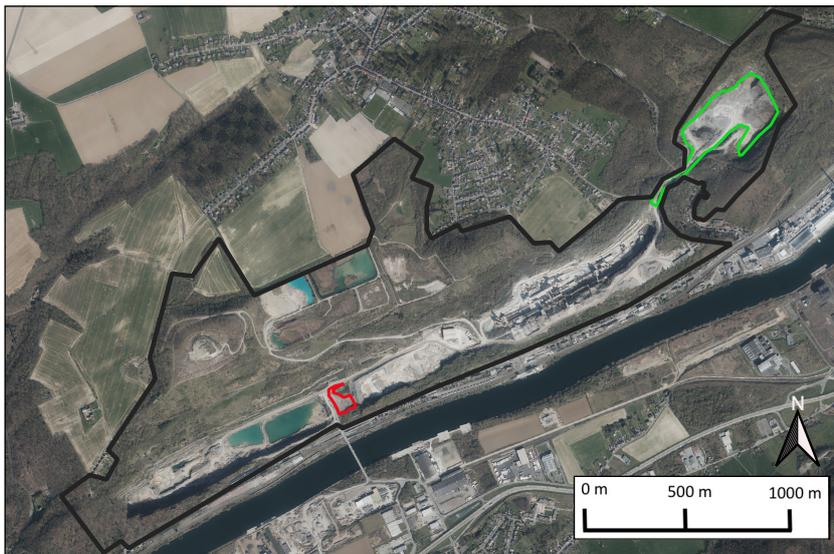
**B** Details for each quarry, a map representing the position of the studied zone in relation to the entire quarry, a map per zone detailing the position of the introduction ponds, the observed spawns, and all the captured natterjack toads

## Map of Hermalle quarry

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370)  
Background image : orthophoto 2020



Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021

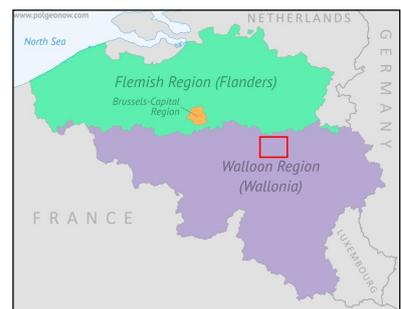
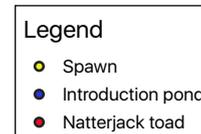


## Map of Hermalle quarry – ZONE 1

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370)  
Background image : orthophoto 2020



Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021

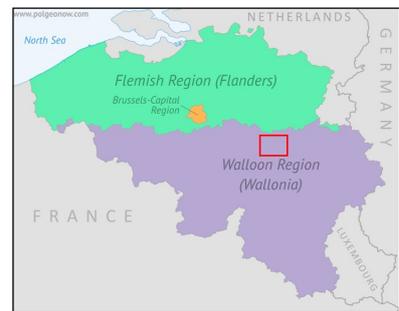
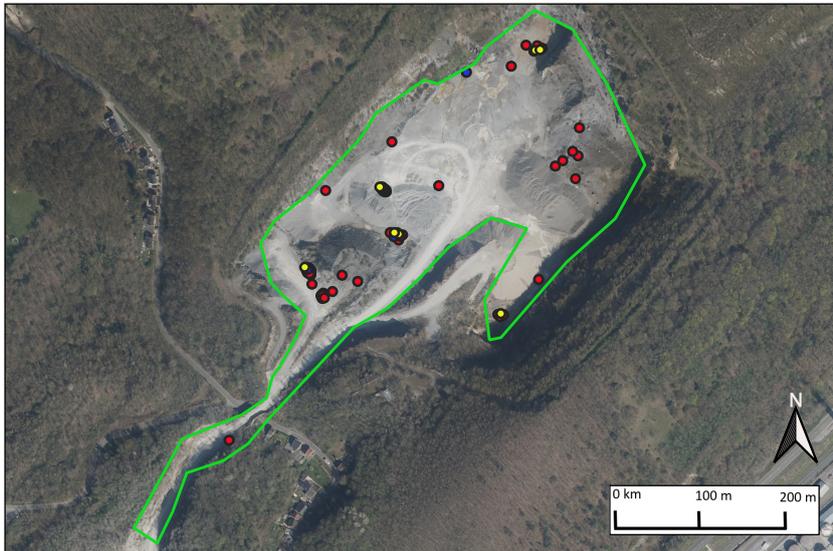


# Map of Hermalle quarry – ZONE 2

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370)  
Background image : orthophoto 2020



Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021

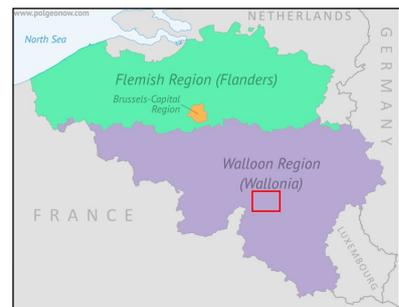
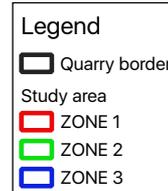
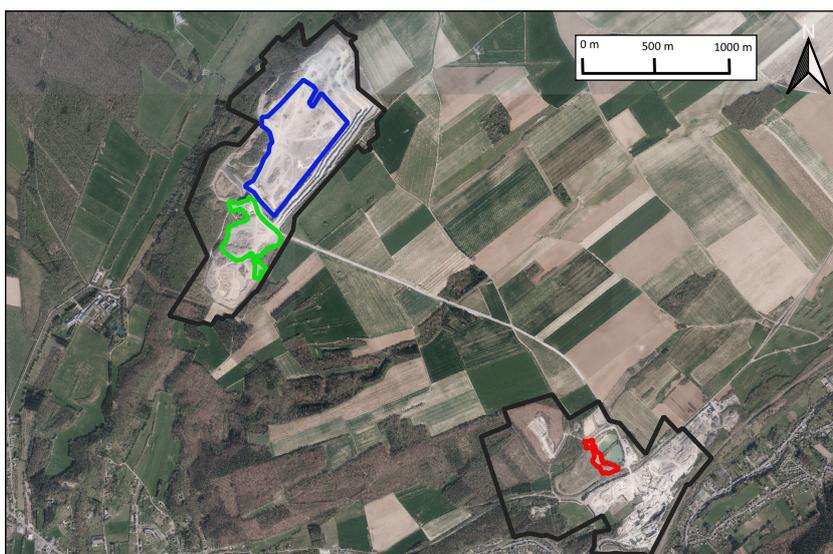


# Map of Jemelle quarry

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370)  
Background image : orthophoto 2020



Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021



# Map of Jemelle quarry – ZONE 1

SCR : Lambert 1972 , EPSG : 31370 ,  
Background image : orthophoto 2020

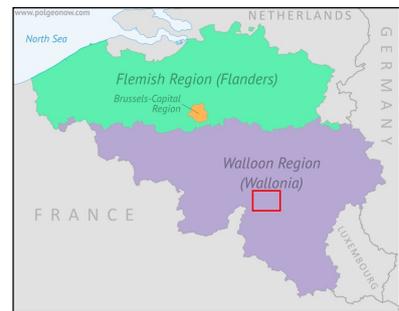


Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021



**Legend**

- Introduction pond
- Spawn
- Natterjack toad

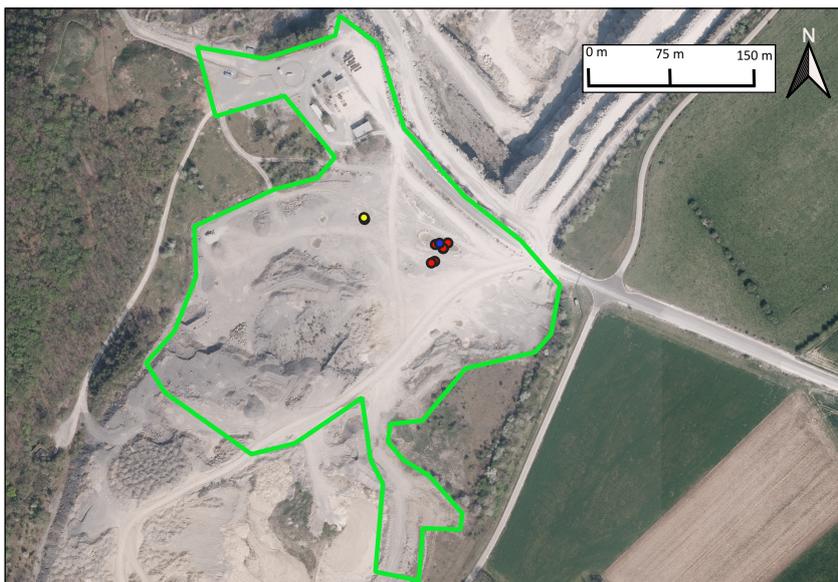


# Map of Jemelle quarry – ZONE 2

SCR : Lambert 1972 , EPSG : 31370 ,  
Background image : orthophoto 2020

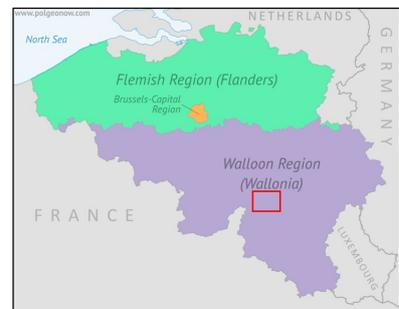


Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021



**Legend**

- Introduction pond
- Spawn
- Natterjack toad

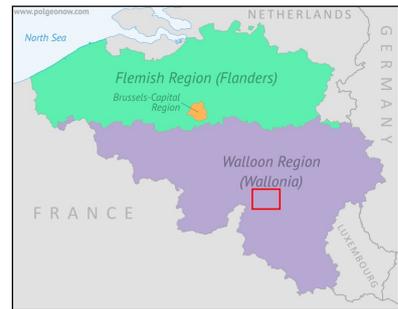


# Map of Jemelle quarry – ZONE 3

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370 )  
 Background image : orthophoto 2020



Autor : Aurore Deflandre  
 Date : August 8, 2021

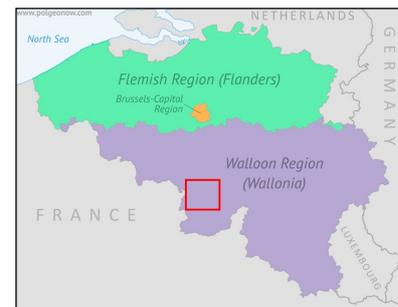
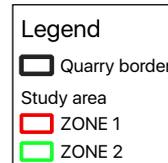


# Map of "Les Petons" quarry

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370 )  
 Background image : orthophoto 2020



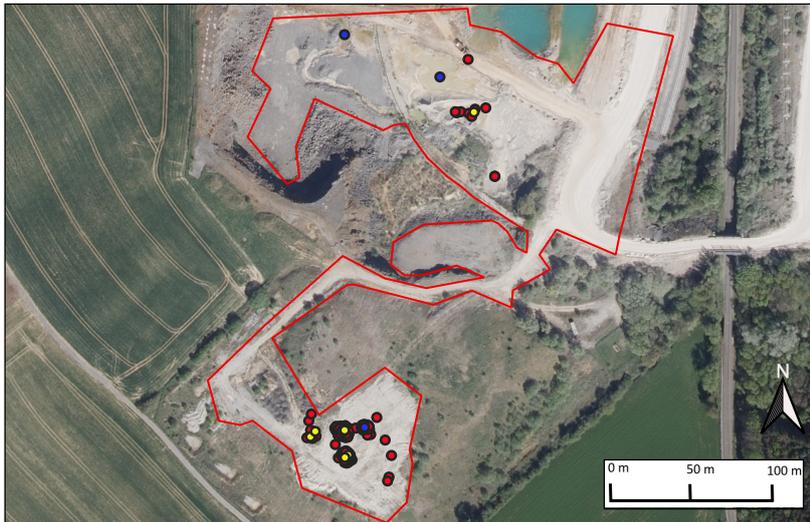
Autor : Aurore Deflandre  
 Date : August 8, 2021



# Map of "Les Petons" quarry – ZONE 1

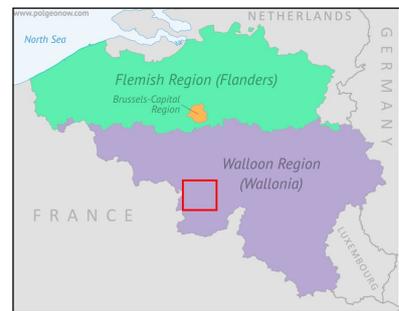
SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370)  
Background image : orthophoto 2020

Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021



**Legend**

- Spawn
- Introduction pond
- Natterjack toad



# Map of "Les Petons" quarry – ZONE 2

SCR : Lambert 1972 (EPSG : 31370)  
Background image : orthophoto 2020

Autor : Aurore Deflandre  
Date : August 8, 2021

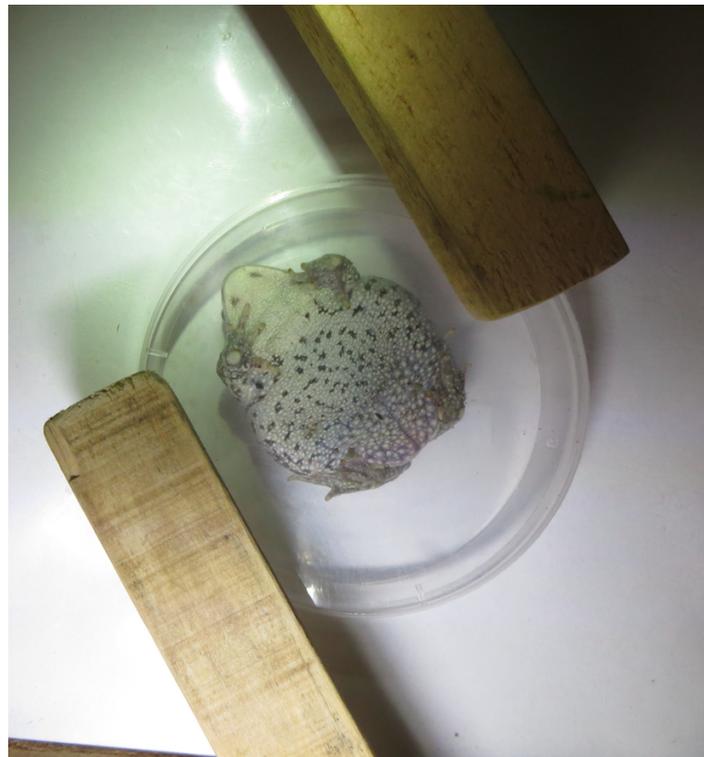
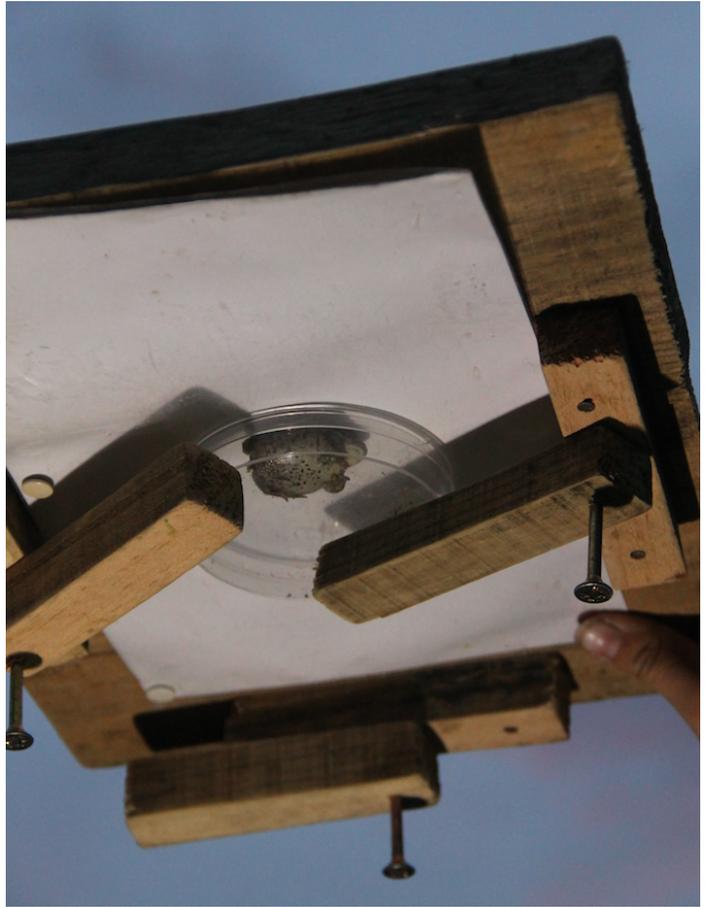


**Legend**

- Spawn
- Introduction pond
- Natterjack toad



**C Photographic equipment and wooden box used for the toads marking phase**



## **PARTIE 3 - CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS**

## Rappel des objectifs

Le but de cette étude était d'évaluer le succès et l'efficacité des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite (*Epidalea calamita*) dans 3 carrières participant au projet Life in Quarries (LIFE 14 NAT/BE/000364).

1. L'objectif principal était d'estimer la taille des populations présentes dans chaque carrière réceptrice des translocations. L'effectif a été estimé à l'aide de la méthode de capture-marquage-recapture photographique.
2. Un deuxième objectif était de déterminer la capacité de reproduction de ces populations. Cela a été réalisé à l'aide de dénombrements de pontes, permettant d'estimer un nombre minimum de femelles matures, et à l'aide du comptage de mâles chanteurs (présents dans l'eau) permettant d'estimer le nombre de mâles matures.
3. Un troisième objectif consistait à étudier la capacité de dispersion de la population au sein des carrières. Cela a été réalisé en cartographiant la présence des crapauds et en calculant leur distance par rapport aux mares d'introduction les plus proches.

Les résultats ont été confrontés aux trois critères de succès à évaluer pour l'introduction (Denton et al., 1997):

1. Le *succès initial*, atteint lorsqu'au moins une dizaine de crapauds ont émergé au cours d'au moins une des deux années de réintroduction ;
2. Le *succès intermédiaire*, atteint lorsque les adultes sont revenus se reproduire dans les 3 ans (âge de la maturité sexuelle) suivant le début de la réintroduction ;
3. Le *succès complet*, atteint lorsque la reproduction s'est poursuivie sur le site pendant au moins 5 ans, que le nombre d'adultes est resté stable ou a augmenté au cours de cette période et que des crapauds issus de la reproduction de deuxième génération ont pu être observés.

L'échec étant attribué à toute tentative qui ne se serait pas traduite par le retour et la reproduction réussie d'adultes dans les 10 ans suivant la première translocation.

## Contribution personnelle de l'étudiant

Tout d'abord, l'étudiante a visité 3 des 5 carrières wallonnes ayant bénéficiées des translocations d'œufs et de têtards de crapaud calamite réalisées de 2018 à 2021. La visite de ces carrières a été réalisée avec Maxime Séleck et Pascal Hauteclair et a permis à l'étudiante d'établir un premier contact avec les responsables des sites. Elle y est retournée à plusieurs reprises en journée afin de s'adapter aux fonctionnements des sites (consignes de sécurité et accès aux sites propres à chaque carrière). Ensuite, l'étudiante s'est chargée de la partie administrative (signer le cahier des charges et introduire la demande de dérogation aux mesures de protection des espèces animales à la région wallonne).

La méthodologie d'échantillonnage s'est appuyée sur une recherche bibliographique approfondie et a été réalisée en collaboration avec les co-promoteurs Grégory Mahy et Maxime Séleck.

Lors de la phase terrain, l'étudiante a pris toutes ses dispositions pour obtenir et positionner le matériel requis (commande du matériel, construction du dispositif en bois pour l'acquisition des photos, pose des bandes transporteuses, etc.). Elle a de plus réalisé un planning de terrain, a fait, seule, les inventaires de journées et à sollicité, coordonné et coopéré avec les personnes nécessaires pour la réalisation des 21 inventaires nocturnes.

Une fois les données acquises, les photos ont été traitées manuellement par l'étudiante. Ensuite, cette dernière a utilisé le langage de programmation R pour modéliser les différentes estimations de taille de population. Elle a de plus utilisé le logiciel QGIS pour générer l'ensemble des cartes.

Finalement ce travail contribue au rapport du Life in Quarries (LIFE 14 NAT/BE/000364) destiné à l'Union Européenne, et toutes les données d'observation ont été encodées sur le site OFFH (Observation de la Faune, de la Flore et des Habitats) du SPW.

## Conclusion générale et recommandations

### Carrière de Hermalle-sous-Huy

Durant l'étude, la carrière a été divisée en 2 zones (figure 1). Un total de **48 individus différents** a été capturé durant les relevés de plaques et les captures de nuit : 30 femelles et 18 mâles. **Dès lors, le succès initial des translocations est atteint puisque plus de 10 individus sont issus des translocations.** Alors qu'un seul individu, mâle, a été observé sous plaque dans la zone 1 (figure 2), 47 individus ont été trouvés dans la zone 2 (figure 3). La mare d'introduction en zone 1 n'ayant jamais été sous eau durant la période d'étude, le fait de ne pas avoir trouvé d'individus durant les relevés de nuit n'est pas surprenant. On remarque que les individus présents dans la zone 2 occupent principalement les mares d'introduction, **mais également 3 "nouvelles mares" qui méritent une attention particulière étant donné l'observation de pontes de crapaud calamite (figure 3).** Un total de 10 pontes naturelles a été observé dans la zone 2 (figure 3). Ce nombre est probablement sous-estimé étant donné que l'étude s'est terminée fin juin alors que des pontes de crapaud calamite peuvent être observées jusqu'au mois d'août. Selon la littérature scientifique, les femelles sont généralement matures après 3 ans, or les premières translocations ont eu lieu en 2019 (seulement 50 têtards introduit en 2018). Dès lors, les individus observés ont maximum 2 ans. Par conséquent, on peut conclure que **le succès intermédiaire est atteint.**

Pour obtenir une population viable sur le long terme la littérature recommande une population de 100 individus. **Sur base des séances de Capture-marquage-recapture (c'est-à-dire des différents passages), les modèles d'estimation prédisent une taille de population totale d'environ 50 individus.** Cependant, l'estimation de la taille de la population semble sous-estimée étant donné que l'introduction est encore récente, la population n'étant peut-être pas encore développée totalement. La période d'étude a eu lieu durant la période de reproduction, les individus détectés sont donc probablement des individus capables de se reproduire, et correspondent sans doute à ceux issus des translocations de 2019. Il est aussi possible que les individus issus des translocations de 2020 ne soient pas encore détectés. Ceci pourrait conduire à une forte croissance du nombre d'individus reproducteurs en 2022. Ces individus auront probablement atteint la maturité, et les pontes de 2021 et de 2022 feront également croître la population dans les années à venir. Par ailleurs, les crapauds calamite issus des translocations dans la zone 1 pourraient avoir migré dans un autre endroit de la carrière puisqu'un seul individu a été retrouvé dans cette zone. **Une attention particulière lors des suivis futurs pourrait, à terme, permettre de détecter des individus en dehors des zones de réintroduction.**

De manière générale, plus on s'approche de la mare d'introduction et plus le nombre de crapauds capturés est élevé. 50% des individus capturés se trouvaient à plus de 60m de la mare d'introduction la plus proche (figure 4). Ce qui signifie que la moitié de la population détectée se déplace dans l'ensemble de l'espace disponible (figure 3).

Pour parler de *succès complet* des translocations, une échelle de temps plus grande devra être considérée. Il serait intéressant de réitérer l'évaluation de la population **dans 3 ans. Dans le cas où aucune augmentation de la population n'est observée à la fin de cette période, l'opportunité d'adapter les mesures de gestion pourra être étudiée.** Les causes probables de nombreuses pertes des translocations sont la concurrence avec le crapaud commun et la sécheresse de 2019. Il est important de prendre en compte ces deux facteurs lors de futures évaluations.

D'autres observations ont été faites durant l'étude et méritent d'être soulignées. Tout d'abord, la présence du **hibou grand-duc** chantant de nuit et **3 juvéniles** observés en pleine journée dans le bois des gattes. Le **petit gravelot** chantait toutes les nuits dans le bois des gattes. A noter également la présence de nombreux lézards des murailles (très souvent situés sous les bandes transporteuses en pleine journée).

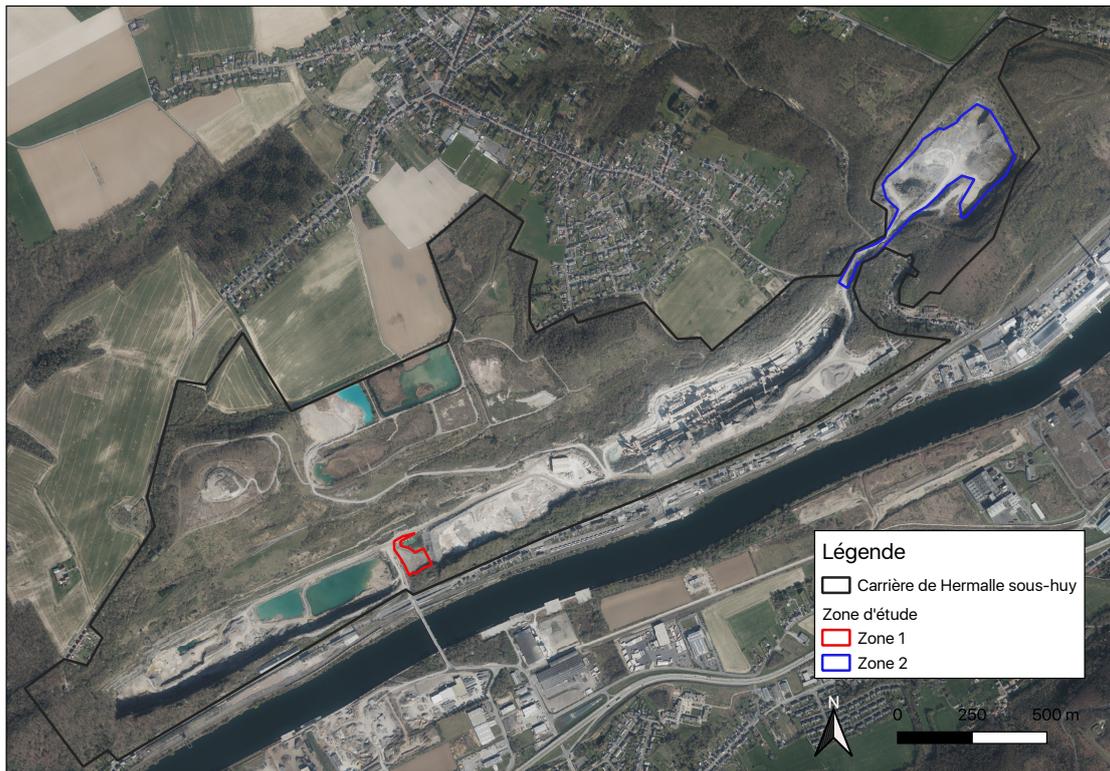


Figure 1: Carte représentant les deux zones d'étude dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy



Figure 2: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 1 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy

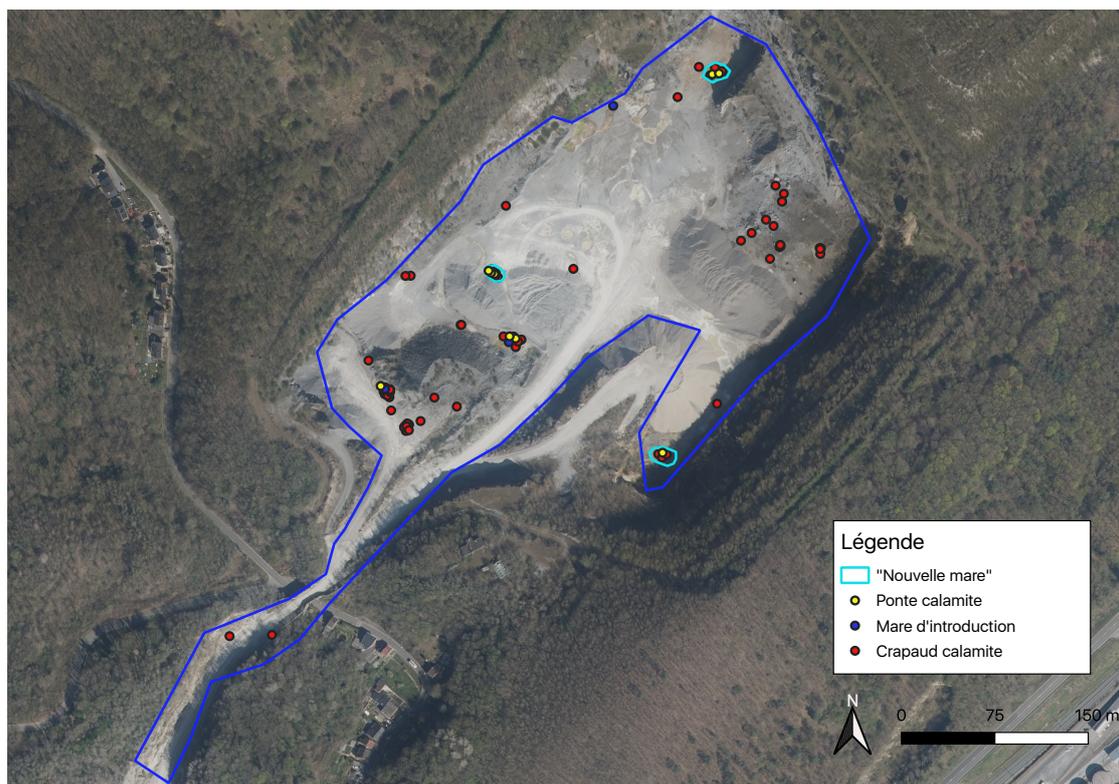


Figure 3: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 2 (bois des gattes) durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy

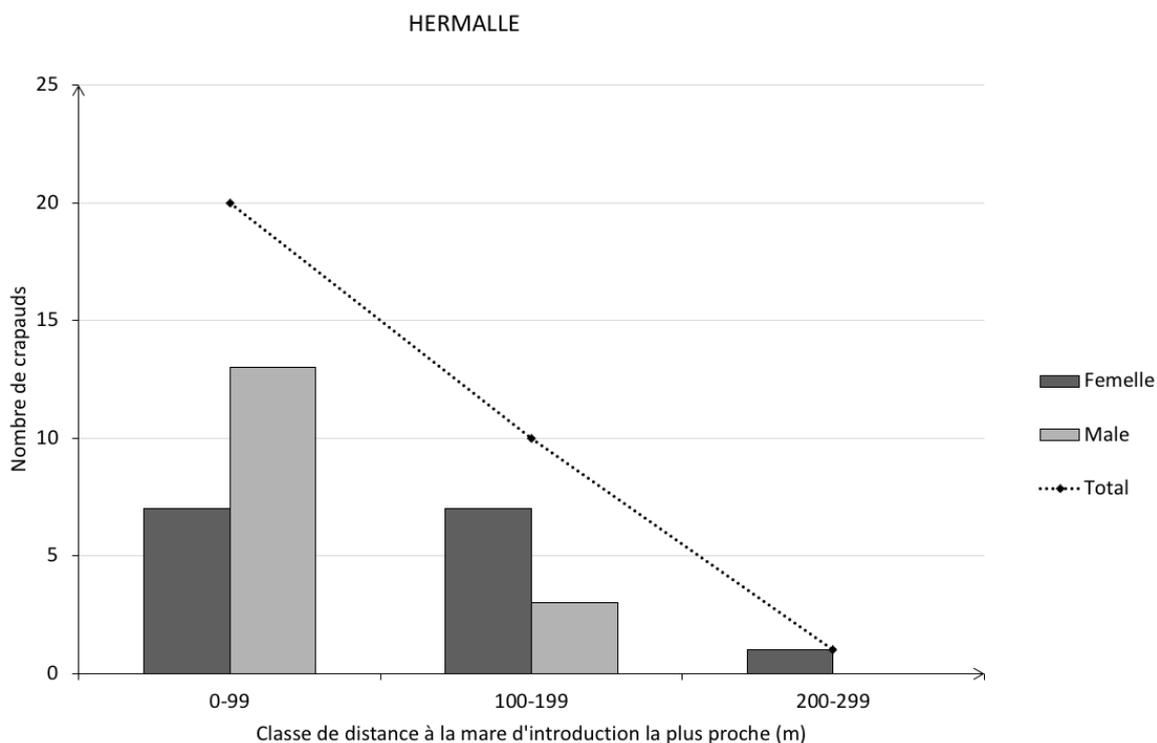


Figure 4: Distribution de crapaud calamite par classe de distance à la mare d'introduction la plus proche dans la carrière de Lhoist à Hermalle-sous-Huy.

## Carrière des Petons

Durant l'étude, la carrière a été divisée en 2 zones (figure 5). Alors qu'aucun individu n'a été observé dans la zone 2 (figure 7), **53 individus différents ont été capturés** dans la zone 1 (figure 6) durant les relevés de plaques et les captures de nuit : 15 femelles et 38 mâles. Dès lors, **le succès initial des translocations est atteint, puisque plus de 10 individus sont issus des translocations**. Un total de **6 pontes naturelles a été observé dans la zones 1** (figure 6). Ce nombre est probablement sous-estimé étant donné que l'étude s'est terminée fin juin alors que des pontes de crapaud calamite peuvent être observées jusqu'au mois d'août. Selon la littérature scientifique, les femelles sont généralement matures après 3 ans, or les premières translocations ont eu lieu en 2019. Dès lors, les individus observés ont maximum 2 ans. Par conséquent, on peut conclure que **le succès intermédiaire est atteint**.

Pour obtenir une population viable sur le long terme la littérature recommande une population de 100 individus. **Sur base des séances de Capture-marquage-recapture (c'est-à-dire des différents passages), les modèles d'estimation prédisent une taille de population totale d'environ 56 individus**. Cependant, l'estimation de la taille de la population semble sous-estimée étant donné que l'introduction est encore récente, la population n'étant peut-être pas encore développée totalement. La période d'étude a eu lieu durant la période de reproduction, les individus détectés sont donc probablement des individus capables de se reproduire, et correspondent sans doute à ceux issus des translocations de 2019. Les individus issus des translocations de 2020 n'étaient pas encore détectés. Ceci pourrait conduire à une forte croissance du nombre d'individus reproducteurs en 2022. De plus, ces individus auront probablement atteint la maturité, et les pontes de cette année et de l'année prochaine feront également croître la population dans les années à venir. De plus, les translocations qui ont eu lieu cette année 2021 dans la zone 2, devraient aussi faire croître la population au cours des prochaines années.

On remarque que les individus présents dans la zone 1 occupent uniquement les mares d'introduction, à l'exception de **2 "nouvelles mares" qui mériteraient une attention particulière** (figure 6). En effet, les mares d'introduction dans la zone 1, sur le plateau pâturé, sont destinées à être des mares permanentes. Ce type de mare risque de perdre son intérêt à terme pour le crapaud calamite, dû à la végétalisation, la concurrence du crapaud commun et la présence de prédateurs d'œufs et de têtards comme les tritons. Or, c'est dans cette partie de la zone que la plupart des individus ont été capturés. **Il est donc fortement conseillé de maintenir des mares pionnières sur ou à proximité de ce plateau**. Finalement, dans la partie basse de la zone 1, les mares d'introduction ont un caractère permanent étant donné qu'elles sont toujours alimentées par le tuyau. De plus, la présence de tritons, de crapauds communs ainsi que de **nombreux poissons**, n'est pas du tout favorable au développement du crapaud calamite. **Il est donc fortement conseillé de permettre un assèchement de ces mares pionnières en interrompant l'apport d'eau en fin d'été afin d'assurer l'avenir de la population présente**.

De manière générale, plus on s'approche de la mare d'introduction et plus le nombre de crapauds capturés est élevé. Mais 100% des individus ont été capturés à moins de 50m de la mare d'introduction la plus proche (figure 8) et près de 56% des individus ont été capturés dans les mares d'introduction. Ce qui signifie que la population détectée ne se déplace actuellement que très peu et n'occupe pas l'ensemble de l'espace disponible.

Pour parler de *succès complet* des translocations, une échelle de temps plus grande devra être considérée. Il serait intéressant de réitérer l'évaluation de la population **dans 3 ans**.

D'autres observations ont été faite durant l'étude et méritent d'être soulignées. D'une part, **la présence du petit gravelot a été notée lors de chaque passage de nuit dont un nid, contenant 4 œufs, trouvé dans la zone 1 sur le plateau**. D'autre part, **la présence du hibou grand-duc**, qui a été observé une fois de nuit, en plein vol, près de l'entrée du site.



Figure 5: Carte représentant les deux zones d'étude dans la carrière Solvay "Les Petons" à Walcourt.

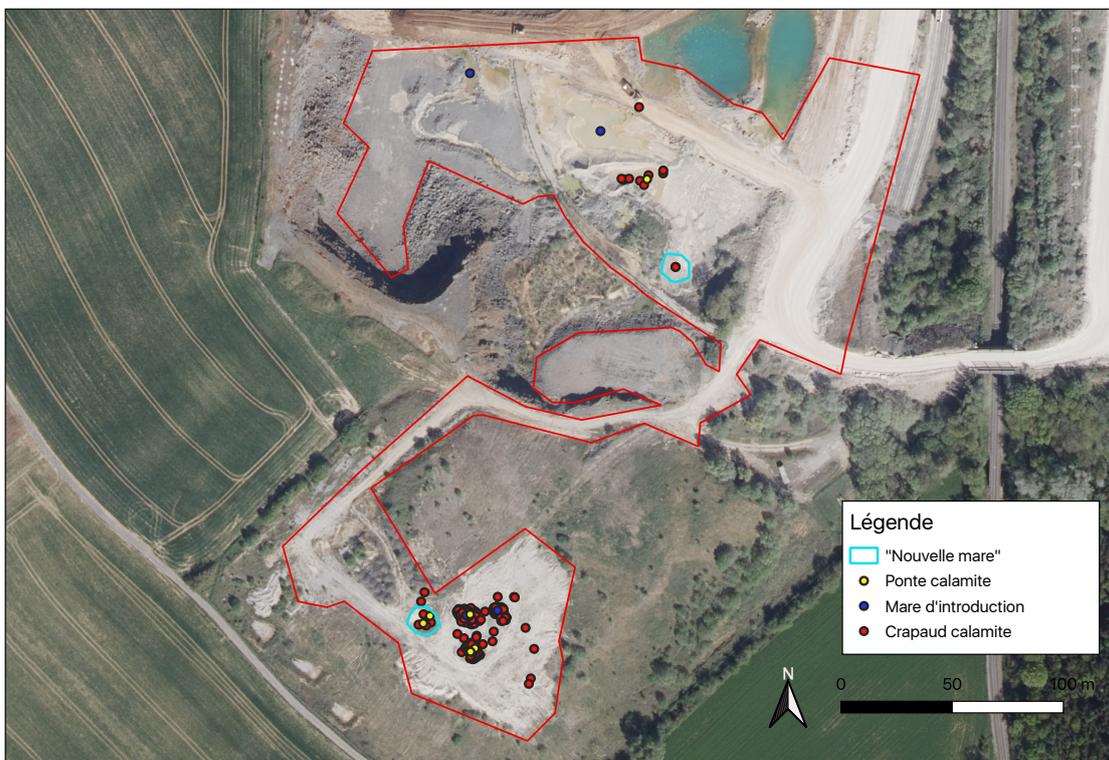


Figure 6: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares dans la zone 1, observés durant toute la période d'étude, dans la carrière de Solvay "Les Petons".



Figure 7: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares dans la zone 2, observés durant toute la période d'étude, dans la carrière de Solvay "Les Petons".

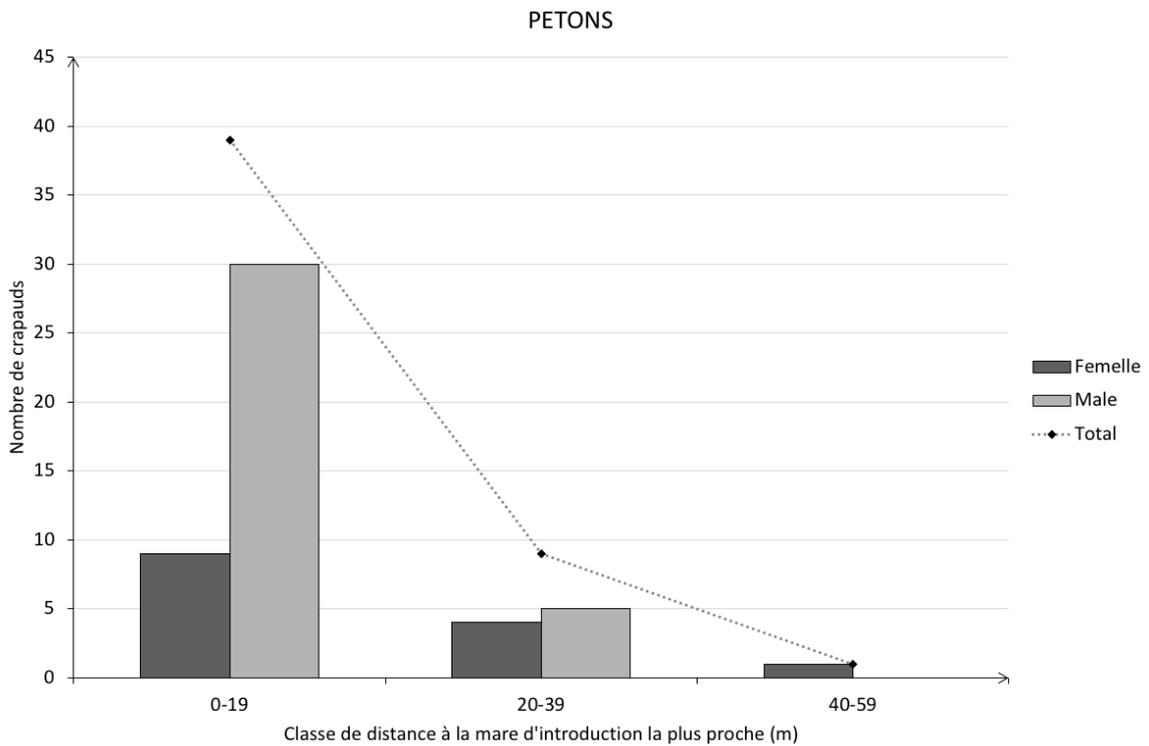


Figure 8: Distribution de crapaud calamite par classe de distance à la mare d'introduction la plus proche, dans la carrière de Solvay "Les Petons".

## Carrière de Jemelle

Durant l'étude, la carrière a été divisée en 3 zones (figure 9 ). Lors des 7 passages de nuit, **40 individus différents ont été capturés** toutes zones confondues : 15 femelles et 25 mâles (figure 10,11 et 12) et ce malgré les 2 premiers sans observations. Dès lors, **le succès initial des translocations est atteint puisque plus de 10 individus sont issus des translocations.** Un total de **6 pontes naturelles a été observé sur l'ensemble des 3 zones** (figure 10,11 et 12). Ce nombre de ponte est probablement sous-estimé étant donné que l'étude s'est terminée fin juin alors que des pontes de crapaud calamite peuvent être observées jusqu'au mois d'août. Selon la littérature scientifique, les femelles sont généralement matures après 3 ans, or les premières translocations ont eu lieu en 2019. Dès lors, les individus observés ont maximum 2 ans. Par conséquent, on peut conclure que **le succès intermédiaire est atteint.**

Pour obtenir une population viable sur le long terme la littérature recommande une population de 100 individus. **Sur base des séances de Capture-marquage-recapture (c'est-à-dire des différents passages), les modèles d'estimation prédisent une taille de population totale d'environ 80 individus.** Cependant, l'estimation de la taille de la population semble sous-estimée étant donné que l'introduction est encore récente, la population n'étant peut-être pas encore développée totalement. La période d'étude a eu lieu durant la période de reproduction, les individus détectés sont donc probablement des individus capables de se reproduire, et correspondent sans doute à ceux issus des translocations de 2019. Les individus issus des translocations de 2020 n'étaient pas encore détectés. Ceci pourrait conduire à une forte croissance du nombre d'individus reproducteurs en 2022. De plus, ces individus auront probablement atteint la maturité, et les pontes de 2021 et de 2022 feront également croître la population dans les années à venir. De plus, les translocations qui ont eu lieu en 2021 dans la zone 3, devraient aussi faire croître la population au cours des prochaines années.

Pour la zone 1, une seule des deux mares mises en place dans le cadre du Life in Quarries est fonctionnelle, la deuxième n'ayant jamais eu d'eau durant la période de l'étude. En effet, **cette dernière était envahie de ronces, d'orties et de chardons, empêchant la mare de se remplir et d'assurer sa fonction.** Dans la zone 2, **une attention particulière est à porter sur une "nouvelle mare"** où plusieurs individus ont été observés et ont tenté de se reproduire (amplexus) alors que les machines la traversait quotidiennement (figure 11). Finalement, dans la zone 3, **une attention particulière devrait être portée sur une "nouvelle mare"** où beaucoup de mâles chanteurs ont été observés (figure 12). **Il est également important de poursuivre les efforts mis en place concernant la présence du raton laveur, grand prédateur des amphibiens, étant donné les nombreuses traces relevées dans toutes les mares contenant du crapaud calamite.**

On observe que, de manière générale, plus on s'approche de la mare d'introduction et plus le nombre de crapauds capturés est élevé. 50% des individus capturés se trouvaient à plus de 160m de la mare d'introduction la plus proche (figure 13). Ce qui signifie que la population détectée se déplace dans l'ensemble de la carrière, occupant tant les mares d'introduction que les "nouvelles mares" (figure 11). De plus, un crapaud a été retrouvé sur la route et d'autres ont été entendus dans la partie nord près de la zone 1 (figure 10). **Une attention particulière lors des suivis futurs pourrait, à terme, permettre de détecter d'autres individus en dehors des zones de réintroduction.**

Pour parler de *succès complet* des translocations, une échelle de temps plus grande devra être considérée même si cela est en très bonne voie. Il serait intéressant de réitérer l'évaluation de la population **dans 3 ans.**

Une autre observation a été faite durant l'étude et méritent d'être soulignées : **la présence du petit gravelot a été notée lors de chaque passage de nuit dont un nid, contenant 4 œufs, trouvé dans la zone 3.**

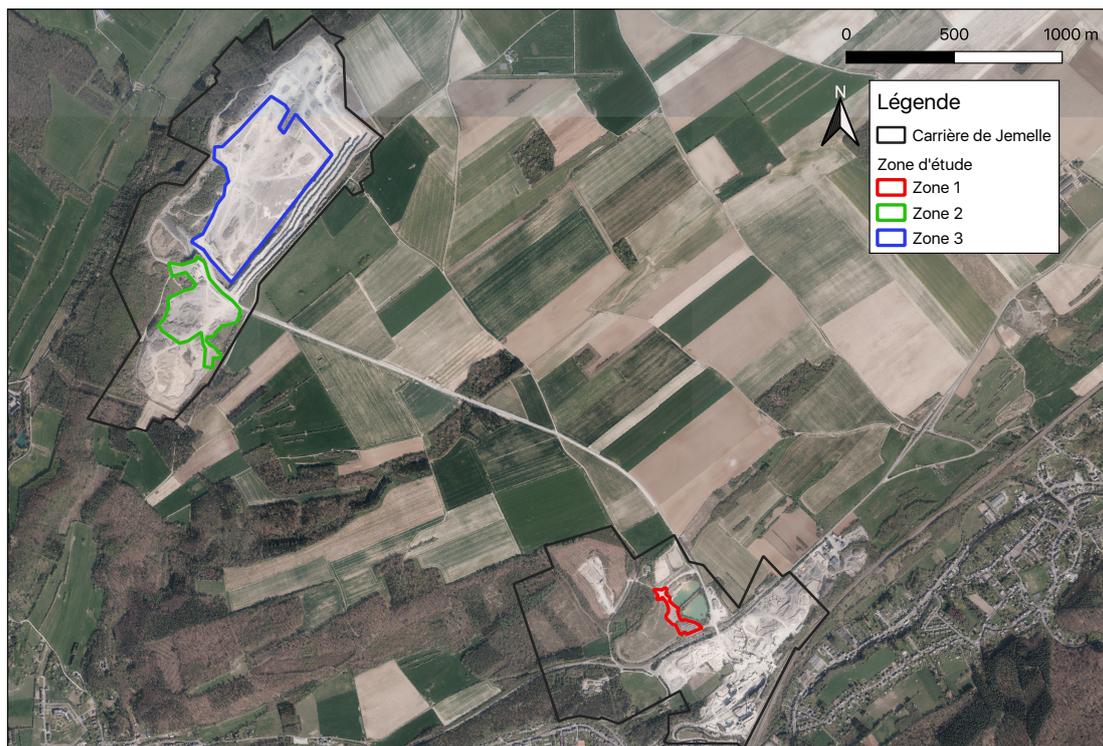


Figure 9: Carte représentant les trois zones d'étude dans la carrière de Lhoist à Gemelle



Figure 10: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 1 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Gemelle

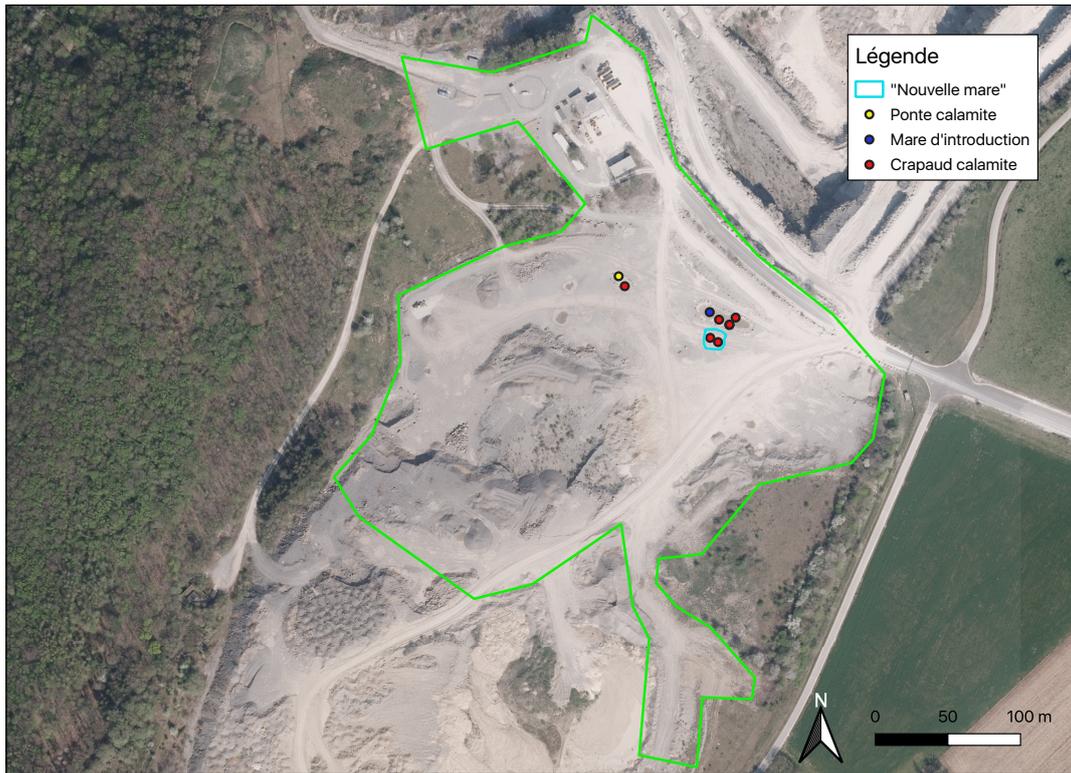


Figure 11: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 2 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Gemelle

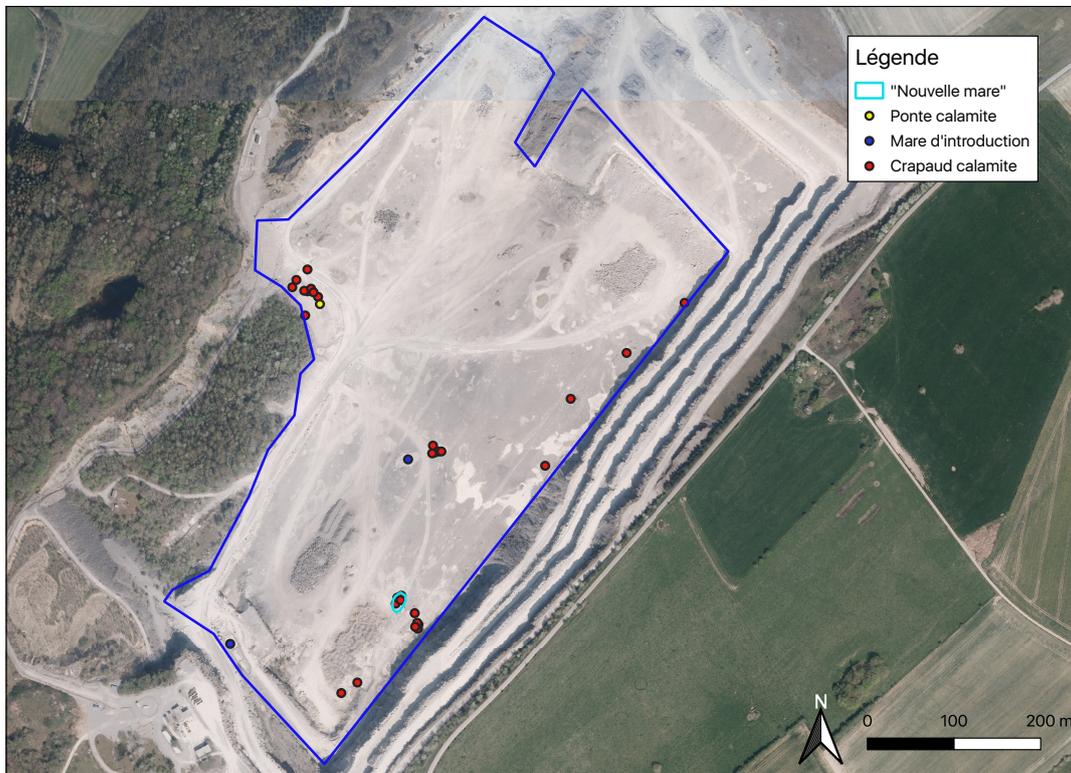


Figure 12: Répartition spatiale des crapauds calamites, des pontes et des mares observés dans la zone 3 durant toute la période d'étude dans la carrière de Lhoist à Gemelle

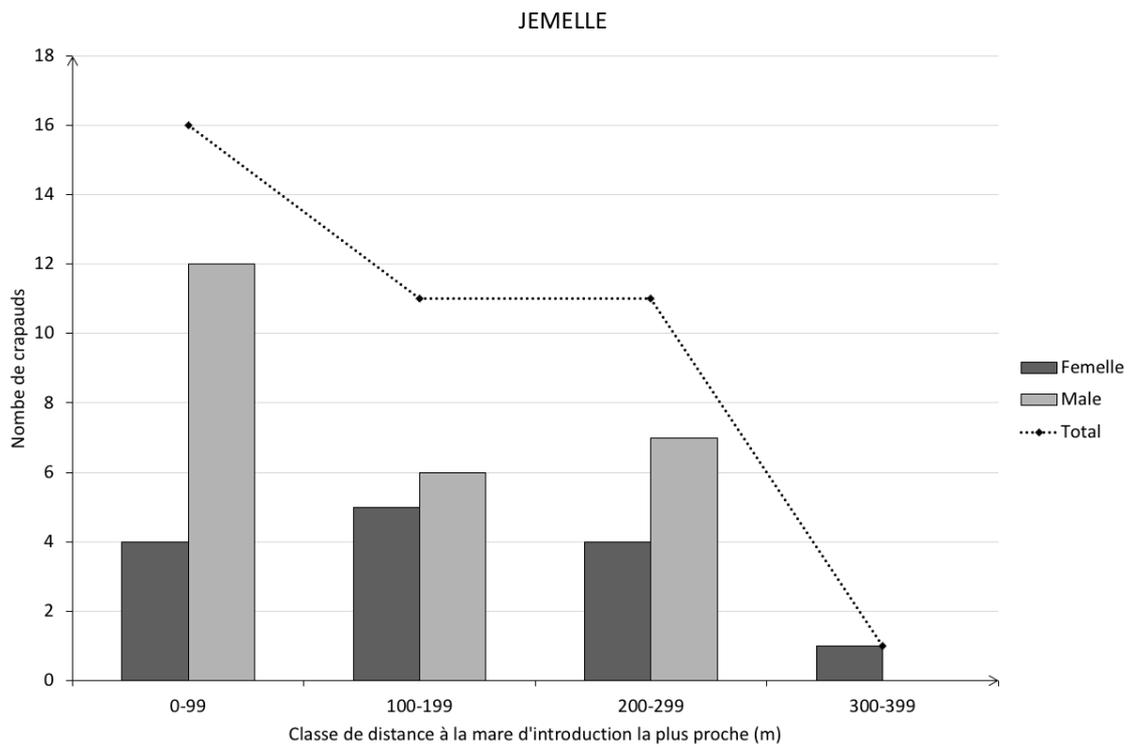


Figure 13: Distribution de crapaud calamite par classe de distance à la mare d'introduction la plus proche dans la carrière de Lhoist à Jemelle.