
Étude comparative de l'habitat du lézard des murailles, *Podarcis muralis* (Laurenti), dans les friches industrielles et les milieux naturels.

Auteur : Baugnet, Hélène

Promoteur(s) : Monty, Arnaud; Martoglio, Justine

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

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

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/24172>

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.

**Etude comparative de l'habitat du lézard
des murailles, *Podarcis muralis* (Laurenti),
dans les friches industrielles et les milieux
naturels.**

Hélène BAUGNET

TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES
ESPACES NATURELS

Années académique 2024 - 2025

CO-PROMOTEURS: Ir. Justine Martoglio, Pr. Arnaud Monty

© 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.

**Etude comparative de l'habitat du lézard
des murailles, *Podarcis muralis* (Laurenti),
dans les friches industrielles et les milieux
naturels.**

Hélène BAUGNET

TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES
ESPACES NATURELS

Années académique 2024 - 2025

CO-PROMOTEURS: Ir. Justine Martoglio, Pr. Arnaud Monty

Remerciements

J'aimerais avant tout remercier mes deux promoteur.rice.s Arnaud Monty et Justine Martoglio. Merci pour votre confiance, vos conseils et votre motivation. J'aimerais adresser ma gratitude particulièrement à Justine pour sa présence, son écoute et son implication tout au long de ce TFE.

Merci à toutes les personnes de l'axe BEP qui ont aidé de près ou de loin à la bonne réalisation de ce mémoire, particulièrement aux personnes du service PATO qui ont toujours été à l'écoute et qui ont été d'une aide précieuse pour ce travail.

J'aimerais également remercier L'AG et ce comité 2023 qui m'a permis de grandir et de me découvrir. Une pensée toute particulière pour l'office qui m'a accueilli dès mon arrivée dans les vieux murs de Gembloux et qui n'a jamais quitté mon coeur.

Un énorme merci au Home, au Chalad, Au Mijolles, qui m'ont vu évoluer tout comme mes cokoteu.se.r.s qui sont devenus une véritable famille.

Merci à toutes mes copines qui m'ont suivie depuis longtemps, pour les rires, les partages, les perles et tous ces moments gravés à jamais.

Merci à ma famille qui m'a permis de réaliser l'impossible. Particulièrement à ma maman et ma cousine qui ont toujours pris le temps pour moi, professionnellement et personnellement.

Merci à cette merveilleuse collègue Franco-belge devenue une vraie amie. Le TFE n'aurait pas eu la même saveur sans toi, et sans la glacière à chocolat. Je sais que ce n'est qu'un au revoir...

Et pour finir, un merci rempli d'amour à la personne qui a partagé mes joies et mes peines, qui m'a écoutée, soutenue, encouragée et tellement épaulée en cette période. C'est grâce à toi si aujourd'hui je crois en moi.

Résumé

Les friches industrielles sont des sites abandonnés, affectés par leurs anciennes utilisations au sein de zones urbaines et connues pour accueillir une grande biodiversité. Le lézard des murailles, *Podarcis muralis* (Laurenti, 1768), est la seule espèce de reptile dont l'aire de répartition s'est agrandie sur les 18 dernières années en Wallonie malgré la dégradation de son habitat naturel. Sa limite d'expansion au nord du sillon Sambre et Meuse et sa sensibilité aux changements climatiques rendent cette espèce tout de même vulnérable dans cette région. L'espèce utilise notamment les voies ferrées pour se déplacer et coloniser de nouveaux milieux, comme les friches industrielles. Cette étude vise à évaluer la qualité de ces friches en tant qu'habitat pour ce lézard, en comparant la structure de l'habitat et la pression de prédatation avec celles de milieux naturels. Pour cela, 5 sites industriels et 5 sites naturels ont été sélectionnés. Dans chaque site, 4 axes de recherches ont été explorés : le taux de rencontre, un ensemble de variables biophysiques, le choix de potentiels microhabitats et 3 indices de prédatation (taux de queues prédatées, distance à l'abri et taux de prédatation sur des leurres). Les résultats n'ont montré aucune différence significative sur l'ensemble de ces analyses entre les sites industriels et naturels, à l'exception du recouvrement en gravier. Une différence a également été observée concernant l'utilisation de microhabitats, reflétant une structure plus diversifiée des sites industriels, spécifiquement en termes de composition de substrat. Ces friches semblent être des habitats favorables au regard de la structure et de la prédatation, les différences observées reflétant essentiellement la plasticité et le caractère opportuniste de l'espèce étudiée. Des perspectives potentielles sont la réalisation d'un échantillonnage plus large, des mesures de température au sol, des ressources alimentaires, de l'impact de la pollution des sols et du stress environnemental sur le lézard. Ces analyses démontreraient les avantages que peuvent offrir les friches industrielles au lézard des murailles ou à d'autres espèces.

Abstract

Brownfields are abandoned sites, affected by their former uses within urban areas, and are known to host high biodiversity. The common wall lizard, *Podarcis muralis* (Laurenti, 1768), is the only reptile species whose range has expanded over the past 18 years in Wallonia despite the degradation of its natural habitat. Its northern expansion limit, located beyond the Sambre–Meuse valley, together with its sensitivity to climate change, nevertheless makes it vulnerable in this region. The species notably uses railway lines to move and colonize new environments, such as brownfields. This study aims to assess the quality of these brownfields as habitat for this lizard, by comparing habitat structure and predation pressure with those of natural environments. To this end, 5 industrial sites and 5 natural sites were selected. At each site, four research axes were explored: encounter rate, a set of biophysical variables, selection of potential microhabitats, and three predation indices (rate of predated tails, distance to shelter, and predation rate on decoys). The results showed no significant differences across these analyses between industrial and natural sites, except for gravel cover. A difference was also observed in microhabitat use, reflecting a more diverse structure in industrial sites, specifically in terms of substrate composition. These brownfields appear to be favorable habitats in terms of structure and predation, with the observed differences mainly reflecting the plasticity and opportunistic nature of the studied species. Potential future perspectives include broader sampling, ground temperature measurements, assessment of food resources, and evaluation of the impact of soil pollution and environmental stress on the lizard. Such analyses could demonstrate the advantages that brownfields may offer to the common wall lizard or to other species.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

I	Introduction	1
II	Matériel et méthodes	5
1	Sites étudiés	5
2	Conditions d'études	6
3	Taux de rencontre et sélection des individus	6
4	Caractérisation de l'habitat biophysique	7
5	Analyse de l'utilisation de potentiels microhabitats	12
6	Quantification de la préation	13
7	Analyses statistiques	17
i	Analyse du taux de rencontre	17
ii	Analyse de la caractérisation de l'habitat biophysique	17
iii	Analyse de l'utilisation de potentiels microhabitats	18
iv	Analyse de la quantification de la préation	19
III	Résultats	21
1	Comparaison du taux de rencontre	21
2	Comparaison de la structure de l'habitat	22
i	Exploration des variables	22
ii	Étude du rayonnement	22
iii	Étude de la végétation	23
iv	Étude du substrat	23
3	Comparaison de l'utilisation de potentiels microhabitats	25
i	Comparaison des deux catégories de quadrats au sein des sites industriels .	25
ii	Comparaison des deux catégories de quadrats au sein des sites naturels .	26
4	Comparaison de la préation	27
i	Étude de la proportion de queue prédatées	27
ii	Étude de la distance moyenne parcourue par le lézard	27
iii	Étude des attaques enregistrées sur les leurres	28
IV	Discussion	30
V	Contribution personnelle	37
VI	Conclusion	38
VII	Bibliographie	39
VIII	Annexes	46

Liste des figures

1	Carte des différents sites visités et séparés en catégorie « industrielle » et « naturelle ».	
	Sites industriels : TB : Terril du Bourbier ; RE : Rivage et entrepôt de Chatelineau ; Ta : Parc d'activité économique de Tamines ; VM : Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne ; Es : Cour à marchandises de la gare de Poulseur et société Merbes-Sprimont.	
	Sites naturels : CN : Citadelle de Namur ; RG : Rochers des Grands-Malades ; CM : Chateau de Montaigle ; CC : Château de Crèvecœur ; RF : Rochers de Freyr	5
2	Représentation des différents lézards encodés sur le site du Terril du Bourbier reprenant les 12 lézards retenus (vert) et l'ensemble des lézard observés mais uniquement comptés pour le taux de rencontre (jaune).	7
3	Représentation d'un quadrat circulaire d'un mètre de rayon sur le site du Terril du Bourbier matérialisé par un tuyau d'arrosage.	8
4	Image représentant le référentiel en « L » utilisé pour mesurer 10 hauteurs aléatoires de substrat dans chaque quadrat à l'aide d'un télémètre. Le référentiel fait un mètre sur un mètre.	10
5	Image représentant le clinomètre mesurant les 4 angles d'obstacle en partant de l'horizontal, à un mètre du sol, jusqu'au sommet de l'obstacle. Plus l'angle est élevé, plus l'obstacle est proche ou haut, donc plus le quadrat est ombragé.	10
6	Représentation des 12 quadrats « utilisés » pour chaque lézards retenus (vert) et des 24 quadrats « non utilisés », définis aléatoirement (gris) dans les ruines du Château de Montaigle.	13
7	Images représentant (1) un lézard à queue normale (mâle), (2) un lézard à queue coupée (femelle) et (3) un lézard à queue cicatrisée (mâle).	14
8	Ensemble de photos représentant les différentes étapes de la formation des leurres : (1) Impression 3D du lézard des murailles (<i>Podarcis muralis</i> (Laurienti)), (2) impression fixé sur un socle, (3) Recouvrement de l'impression 3D par le silicone, (4) Durcissement du silicone pendant 48h, (5) Démoulage du moule, (6) Premiers test de moulage, (7) Test de la prédatation sur la plasticine (8) Test de couleurs, (9) Résultats final des leurres peints.	15
9	Photo comparant unurre en plasticine (droite) et un lézard des murailles (femelle) (gauche).	16
10	Représentation des différentes classes de leurres possibles après 48 heures sur un site : 1) Attaque de rongeur (pour la plasticine), 2) Attaque de limace (pour la plasticine), 3) Leurre classé en NA car écrasé, 4) Attaque de mammifère (prédatation du lézard), 5) Attaque d'oiseau (prédatation du lézard), 6) Attaque d'oiseau (prédatation du lézard).	16

11	Matrice de coordonnées des nouvelles variables ILR décrivant la composition du substrat, obtenues à partir des sept variables initiales de recouvrement (litière, éléments artificiels, éléments continus, blocs, gravier, sable et sol fin), après transformation par la méthode Isometric Log-Ratio (ILR). Pour chaque variable ILR, les «1» indiquent les variables incluses au numérateur du rapport, tandis que les «-1» indiquent celles présentes au dénominateur.	19
12	Barplot des taux de rencontre en nombre de lézards par heure homme dans chacun des sites, reprenant en pointillé les moyennes pour chacune des catégories de site (industriel et naturel).	21
13	Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les quadrats utilisés par le lézard dans les deux catégories de site (industriels et naturels), à partir de l'ensemble des variables caractérisant l'habitat.	22
14	Ensemble des Boxplots représentant les variables caractérisant le recouvrement des différentes compositions de substrats entre les sites naturels et industriels en pourcent.	24
15	Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les quadrats utilisés et non utilisé par le lézard dans site industriels à partir de l'ensemble des variables caractérisant l'habitat.	25
16	Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les quadrats utilisés et non utilisé par le lézard dans site naturels à partir de l'ensemble des variables caractérisant l'habitat.	26

Liste des tableaux

1	Listes des variables analysées dans un cercle de un mètre de rayon autour des 12 lézards retenus avec la méthode et le matériel utilisé pour chaque variable.	9
2	Comparaison des moyennes de recouvrement (%) des différents types de substrats entre les sites naturels et industriels , uniquement sur les quadrats utilisés par le lézard. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'ANOVA univariées (modèles linéaires mixtes) intégrant le facteur site comme effet aléatoire. Le tableau présente la valeur du <i>F</i> de Snedecor (<i>F</i> -value), la <i>p</i> -valeur (<i>p</i> -value), ainsi que les moyennes de recouvrement pour chaque type de substrat selon la catégorie de site (en %) accompagnées de leur écart-type. Une <i>p</i> -valeur inférieure à 0,05 indique une différence significative entre les types de sites.	24
3	Résultats de la significativité des variables d'habitat utilisées dans le GLM après sélection par stepwise afin de comparer les deux catégories de quadrats au sein des sites industriels. <i>z</i> -value est la valeur du <i>z</i> -test et <i>p</i> -value la <i>p</i> -valeur associée. Les variables avec une <i>p</i> -valeur inférieure à 0,05 sont considérées comme significativement différentes entre les catégories.	26
4	Résultats de la significativité des variables d'habitat utilisées dans le GLM après sélection par stepwise afin de comparer les deux catégories de quadrats au sein des sites naturels. <i>z</i> -value est la valeur du <i>z</i> -test et <i>p</i> -value la <i>p</i> -valeur associée. Les variables avec une <i>p</i> -valeur inférieure à 0,05 sont considérées comme significativement différentes entre les catégories.	27
5	Comparaison des pourcentages de leurres inutilisables selon les catégories de site (industriel et naturel). Le tableau présente la moyenne et l'écart-type (%) des différentes catégories de leurres inutilisables (prédatation sur la plasticine, leurres retirés, leurres abîmés) pour chaque type de site. Les résultats des tests du χ^2 (ddl = 1) et les <i>p</i> -valeurs associées sont également présentés.	28
A.1	Conditions de terrain pour chaque site étudié	46
A.2	Variables de structure de la végétation et du substrat selon les sites.	47
A.3	Recouvrement des différents types de composition de sol selon les sites.	48
A.4	Variables représentant la prédatation selon les sites.	49

Acronymes

AIC = Akaike Information Criterion (Critère d'Information d'Akaike)

ACP = Analyse en Composantes Principales

CABERNET = Concerted Action on Brownfields and Economic Regeneration

CNB = Cercle des Naturalistes de Belgique

DGRNE = Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement

GBIF = Global Biodiversity Information Facility

GLM = Generalized Linear Models (Modèles Linéaires Généralisés)

GLMM = Modèle Linéaire Mixte Généralisé

ILR = Isometric Log-Ratio

LMM = Linear Mixed Models (Modèles Linéaires Mixtes)

NACE = Nomenclature des Activités Économiques dans la Communauté Européenne

PDIR = Potentiel de Rayonnement Incident Direct

RDIR = Rayonnement Direct Incident Réel

SAR = Sites À Réaménager

SAED = Sites d'Activités Économiques Désaffectés

SBP = Sequential Binary Partition (Partition Binaire Séquentielle)

SVF = Sky View Factor (facteur d'ouverture du ciel)

I Introduction

Les friches sont définies par le dictionnaire *Larousse* (s.d.) comme des « terrains dépourvus de culture et abandonnés ». Ces sites particuliers peuvent être classés en différentes catégories, en fonction de leur contexte passé et présent. Baldin (2022) explique que certaines utilisations antérieures ont eu un impact irréversible sur ces territoires. Cet impact est d'autant plus marqué dans les anciens sites industriels, souvent exploités pour les activités extractives, sidérurgiques ou chimiques, appelé aujourd'hui friches industrielles.

En Europe, CABERNET (Concerted Action on Brownfields and Economic Regneration) définit les friches industrielles comme des « sites qui ont été affectés par les anciennes utilisations du site et des terres environnantes; qui sont abandonnés et sous-utilisés; qui peuvent avoir des problèmes de contamination réels ou perçus; qui se trouvent principalement dans des zones urbaines développées; et qui nécessitent une intervention pour les ramener à une utilisation bénéfique » (Oliver et al., 2005). Malgré les différences de typologies de chaque pays européen et de l'intérêt qu'ils portent à ces milieux, il a été estimé que l'Europe possède environ 3 millions de friches industrielles (European Environment Agency, 2010 cité par Jacek, 2021).

En Wallonie, ces sites sont désormais répertoriés comme des sites d'activités économiques désaffectés (SAED) (Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE) cité par Oliver et al., 2005). Toutefois, comme de nombreux pays d'Europe de l'Ouest, ces sites sont désormais perçus comme des opportunités potentielles de réaménagement (Oliver et al., 2005 ; Jacek, 2021).

D'un point de vue écologique, les friches industrielles sont définies par la classification «Corine Biotope» comme des « espaces colonisés par des plantes pionnières, souvent nitrophiles, pouvant fournir des habitats pour de nombreuses espèces animales typiques des milieux ouverts » (inpn.mnhn.fr). Autrefois marquées par une activité humaine intense, l'absence de gestion stricte au sein des friches industrielles favorise aujourd'hui l'installation et le maintien d'une importante diversité floristique, contribuant indirectement à l'accueil d'une faune variée (Öckinger et al., 2009). C'est pourquoi ces milieux sont aujourd'hui reconnus comme des habitats riches et dynamiques, jouant un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité urbaine. Leur sol, souvent marqué par les activités industrielles passées, présente des caractéristiques spécifiques ainsi qu'une forte hétérogénéité structurelle et fonctionnelle, influençant la composition floristique et faunistique de ces milieux (Loures & Vaz, 2018 ; Bonthoux et al., 2014).

Ces caractéristiques permettent aux friches industrielles de se distinguer, premièrement, des autres milieux urbains par leur capacité à accueillir une forte biodiversité : plusieurs études ont montré que le nombre d'espèces recensées dans ces milieux peut être supérieur à celui d'autres espaces verts urbains tels que les parcs aménagés, les pelouses ou encore les forêts

urbaines (Bonthoux et al., 2014). Deuxièmement, ces sites se distinguent des écosystèmes naturels par la présence de technosols, issus d'origine humaine, marqués par les activités industrielles passées et présentant des traces de pollution organique ou de contamination aux métaux lourds. (Loures & Vaz, 2018). L'activité humaine a également impacté ces sols par l'apport de matériaux grossiers comme des briques ou des pierres à béton, provoquant une compaction et un imperméabilisation partielle de ceux-ci (Jacek, 2021). La capacité des friches industrielles à accueillir certains organismes les distingue également, notamment en raison de la présence d'espèces adaptées aux environnements secs et ouverts, des conditions devenues peu présentes en milieu naturel (Jacek, 2021). Finalement, ces espaces se caractérisent par des assemblages écologiques atypiques, combinant des espèces rarement observées ensemble dans les écosystèmes naturels (Angold et al., 2006).

En 18 ans, la richesse herpétologique en Wallonie s'est affaiblie. 14 espèces d'amphibiens et 7 de reptiles sont indigènes dans cette région mais 43% d'entre elles sont menacées ou éteintes. Le lézard des murailles, *Podarcis muralis* (Laurenti, 1768), fait quant à lui exception, puisque il est le seul dont l'aire de répartition s'est étendue en Wallonie depuis 1850 (Jacob et al., 2007).

Bien que cette espèce subméditerranéenne soit répandue du nord de l'Espagne jusqu'au sud des Pays-Bas, elle bénéficie néanmoins d'un statut de protection intégrale à l'échelle européenne. En effet, elle reste extrêmement rare au nord du sillon Sambre et Meuse et est considérée comme menacée ou vulnérable dans d'autres pays d'Europe comme l'Allemagne, le Grand-Duché de Luxembourg et le nord de la France (Graitson & Jacob, 2007).

Cette espèce thermophile, active en général de mars à octobre, est le plus souvent retrouvée dans les habitats rocheux ensoleillés. En Wallonie, elle colonise principalement trois types de milieux : des zones anthroposées comme les voies de chemin de fer ou les carrières, ou des zones naturelles comme les affleurements rocheux. Autrement dit, les sites anthroposés représentent un habitat particulièrement favorable pour ce lézard (Graitson & Jacob, 2007).

L'abondance d'une espèce dépend de l'équilibre entre natalité et mortalité, cette dernière étant en partie déterminée par la prédateur. La survie des proies est, en effet, influencée par l'abondance et le comportement des prédateurs, notamment le taux de consommation des proies (Miller et al., 2006). L'abondance du lézard des murailles dépend en partie de la pression de préation exercée par la couleuvre lisse (*Coronella austriaca*) et dans certains cas la vipère péliade (*Vipera berus*) mais également certains oiseaux comme la pie (*Pica pica*), le corbeau (*Corvus corax* et *Corvus corone*), l'épervier (*Accipiter nisus*) et les faucons (*Falco peregrinus* et *Falco tinnunculus*) ou encore certains mammifères comme la belette (*Mustela nivalis*) ou le chat (*Felis silvestris* et *Felis catus*) (Amo et al., 2004 b ; Graitson et al., 2012 ; Perreau, 1948).

Pour survivre, ce lézard est capable de détecter la présence d'un prédateur et d'adopter des comportements de fuite ou de protection en conséquence (Amo et al., 2004 b). En effet, cette espèce a adopté différentes stratégies antiprédateurs comme la fuite ou le repli dans un

refuge de proximité (Amo et al., 2004 b; Diego-Rasilla, 2003 ; Gifford et al., 2008 ; Martin & López, 1999). Pour éviter une trop grande perte d'énergie et améliorer leurs conditions physiques, les populations de lézards, lors de la fuite, adaptent leurs comportements antiprédateurs en fonction de leur environnement et des menaces présentes (Brock & Bednekoff, 2025). Cette stratégie souligne la capacité du lézard à percevoir les risques dans son environnement et à adapter sa distance au refuge en conséquence, reflétant les risques pris par les individus. Cette espèce est également capable de recourir à l'autotomie en se libérant volontairement de sa queue. Toutefois, cette stratégie est limitée puisque la queue régénérée est généralement cartilagineuse et ne permet plus une autotomie efficace lors de futures attaques (Barr et al., 2019 ; Diego-Rasilla, 2003 ; Gifford et al., 2008 ; Perreau, 1948). Le taux de consommation des prédateurs mais également la capacité des individus à recourir aux techniques antiprédateurs va donc influencer la densité de ce lézard sur les divers sites.

Afin d'estimer au mieux le taux de prédation, plusieurs méthodes ont déjà été explorées. Comme l'expliquent Gifford et al. (2008), le taux de lézards à queue prédatée peut constituer un indice indirect de la pression exercée par les prédateurs. L'utilisation de leurres en plasticine a également été largement adoptée dans plusieurs études afin d'estimer ce taux sur divers reptiles (Anderson et Burgin, 2008 ; Coombs, 2016 ; Diego-Rasilla, 2003 ; Duchesne, 2024 ; Farallo & Forstner, 2012 ; Gifford et al., 2008 ; Husak et al., 2006 ; Keehn, 2018).

Ce lézard est menacé par l'enrichissement des milieux rocheux, l'usage de pesticides sur les voies ferrées, le colmatage des vieux murs ou encore l'aménagement des sites rocheux naturels (Graitson & Jacob, 2007). Ces menaces, accompagnées du dérèglement climatique, force le lézard des murailles à se déplacer dans de nouveaux habitats de substitution (Jacob et al., 2007). Les voies ferrées constituent un excellent moyen de dispersion pour cette espèce fouillant les milieux altérés (Graitson, 2006). Cependant, comme dis précédemment, certains sites anthropisés comme les friches industrielles, présentent des caractéristiques les distinguant des habitats naturels comme le taux de pollution ou le type de substrat. L'arrivée de jeunes populations dans ces milieux pose donc question quant à leur capacité d'y survivre.

Dans ce contexte d'altération profonde des habitats naturels, une réflexion globale s'est développée sur l'intérêt écologique ou sur les potentiels pièges écologiques que peuvent représenter les friches industrielles pour des espèces comme le lézard des murailles.

Un piège écologique est un milieu de mauvaise qualité choisi par certaines espèces suite à des changements environnementaux rapides. Les changements rapides induits par l'homme par exemple conduisent les individus à sélectionner des habitats qui semblent favorables pour l'espèce, mais qui vont, par la suite, impacter négativement leur valeur sélective. Ces types d'écosystèmes peuvent être identifiés grâce à plusieurs observations, comme la survie ou le succès reproducteur des espèces. Ces pièges peuvent impacter la croissance de des populations jusqu'à conduire à l'extinction de celles-ci (Schwartz, 2021).

Pour répondre en partie à cette réflexion, ce travail se focalisera sur les aspects structurels de l'habitat ainsi que les pressions liées à la prédatation de ce lézard menacé, avec comme question de recherche: Les friches industrielles représentent-elles un environnement favorable, en termes de structure et de prédatation, pour le lézards des murailles *Podarcis muralis* (Laurenti, 1768), en comparaison avec les milieux naturels ?

Afin d'aborder au mieux à cette question de recherche et de prendre en compte un ensemble d'éléments pouvant altérer la présence et l'abondance de cette espèce, l'étude a été divisée en 4 axes : l'estimation, à l'aide d'un proxy, de la densité du lézard des murailles, la caractérisation de son habitat biophysique, l'analyse de sa potentielle utilisation de micro-habitat et la quantification de la prédatation au sein de deux catégories de sites : naturel et industriel.

II Matériel et méthodes

1 Sites étudiés

Pour mener cette étude, cinq sites industriels et cinq sites naturels ont été sélectionnés. Ce choix a été basé sur les observations de lézard des murailles recensées sur les plateformes Global Biodiversity Information Facility (GBIF) et observation.be. Les données collectées les années précédentes par Justine Martoglio (Doctorante au sein de l'axe Biodiversité-Ecosystèmes-Paysages) et les bénévoles du Cercle des Naturalistes de Belgique (CNB) ont également complété cette base. Les sites industriels ont été sélectionnés parmi une liste de Sites A Réaménager (SAR) en Wallonie, en ne retenant que ceux considérés comme industriels selon la nomenclature NACE (nomenclature des activités économiques dans la communauté européenne) et selon les activités passées. Les sites naturels, quant à eux, ont été choisis parmi l'ensemble des sites Natura 2000 de Wallonie présentant également des observations de cette espèce. Le nombre final de sites étudiés a été déterminé pendant le déroulement du travail de terrain, en fonction des contraintes de faisabilité (sites non réaménagés, présence actuelle de lézards, accessibilité) et du temps disponible. Les sites étudiés sont illustrés sur la Figure 1

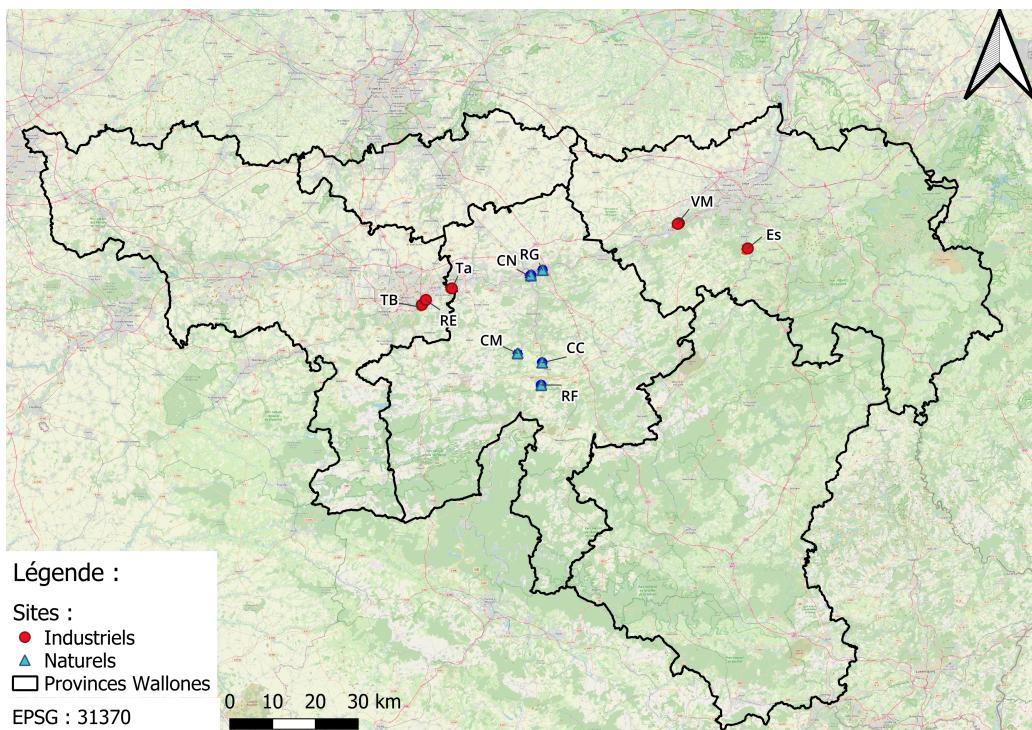


Figure 1: Carte des différents sites visités et séparés en catégorie « industrielle » et « naturelle ».

Sites industriels : **TB** : Terril du Bourbier ; **RE** : Rivage et entrepôt de Chatelineau ; **Ta** : Parc d'activité économique de Tamines ; **VM** : Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne ; **Es** : Cour à marchandises de la gare de Poulseur et société Merbes-Sprimont.

Sites naturels : **CN** : Citadelle de Namur ; **RG** : Rochers des Grands-Malades ; **CM** : Chateau de Montaigle ; **CC** : Château de Crèvecoeur ; **RF** : Rochers de Freyr

2 Conditions d'études

L'étude s'est déroulée d'avril à juin, durant des journées réunissant les conditions optimales pour l'observation du lézard des murailles : journées sèches et ensoleillées avec des températures se situant entre 10° et 25° (Williams, 2019) entre 9h et 18h. Afin de s'assurer que ces conditions ont été respectées, plusieurs paramètres ont été systématiquement enregistrés comme l'heure d'arrivée sur le site et les conditions météorologiques (température, couverture nuageuse et vent). Les conditions de chaque journée de terrain sont reprises dans les annexes en Table A.1.

3 Taux de rencontre et sélection des individus

Au début de chaque terrain, le nombre de personnes présentes pour l'étude a été encodé. Pendant une durée appelée « temps de recherche », une recherche d'individus de lézard sur le site a été réalisée. A chaque détection visuelle, un point GPS (reprenant la latitude et la longitude) au sein d'une application « GPS Tracks » (version 4.9.6) a été enregistré. Un proxy de la densité a été réalisé en calculant le taux de rencontre du lézard des murailles. Ce taux représente le nombre d'individus enregistrés dans l'application « GPS Tracks » divisé par le temps recherche et le nombre de personnes présentes. Ce taux est donc mesuré en nombre de lézard par heure par homme.

A chaque lézard observé, en plus du point GPS, l'heure d'observation, la présence de cicatrices et/ou de queue coupée, le stade de développement (mâle, femelle ou juvénile) ainsi qu'une mesure de la distance à l'abri (distance en centimètre entre le point d'observation et l'abri utilisé : trou, crevasse, rocher, végétation dense) ont été notés. Lorsque toutes ces informations ont été validées, un capuchon coloré a été placé pour marquer l'endroit précis où le lézard (appelé « lézard retenu ») a été observé. La recherche a été interrompue dès que 12 lézards retenus ont été localisés. Lorsqu'un lézard s'est échappé trop rapidement et qu'il n'a pas été possible de voir toutes ces informations ou qu'il s'est trouvé à moins de deux mètres d'une autre observation, l'individus n'a pas été retenu pour le reste des analyses. Seul un point GPS a été encodé pour le calcul du taux de rencontre. Un exemple de la répartition des lézards observés au sein du Terril de Bourbier se trouve en Figure 2.

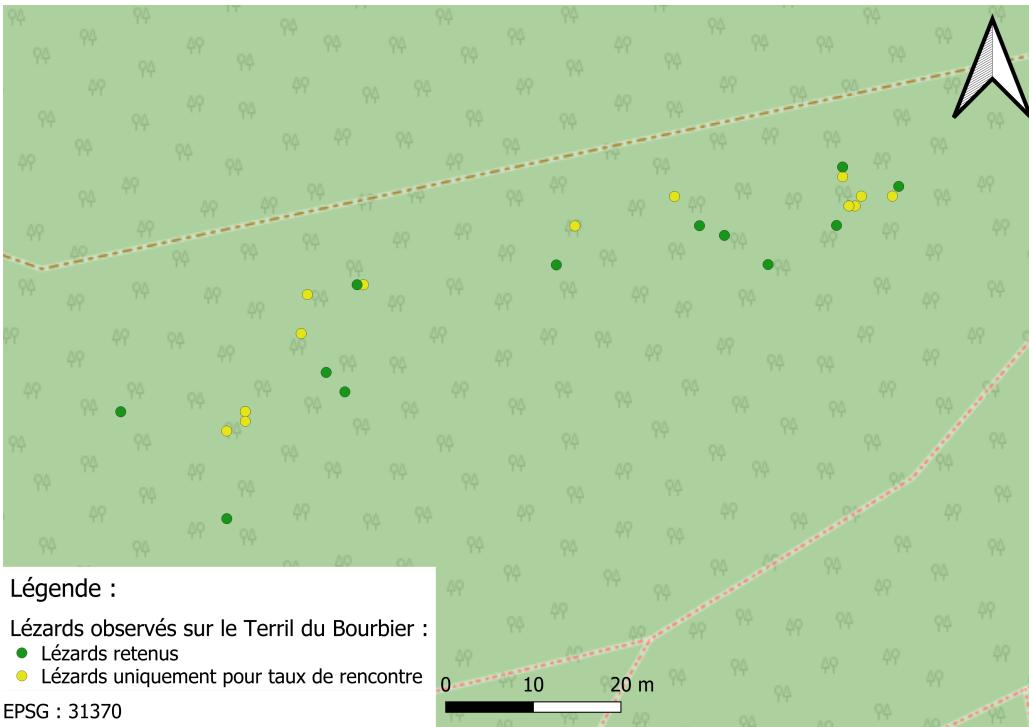


Figure 2: Représentation des différents lézards encodés sur le site du Terril du Bourbier reprenant les 12 lézards retenus (vert) et l'ensemble des lézard observés mais uniquement comptés pour le taux de rencontre (jaune).

A la fin des journées de terrain, un indice de fréquentation humaine (allant de 0 à 5, basé sur le nombre de touristes ou promeneurs croisés dans la journée) a été encodé. Un indice 0 a été donné lorsque aucune personne n'a été observée sur un site, alors qu'un indice 5 correspond à un site fortement touristique et visité.

4 Caractérisation de l'habitat biophysique

Les 12 lézards retenus ont permis de définir les 12 quadrats nommés « utilisés », employés pour l'analyse de l'habitat et de la prédatation. Chaque quadrat circulaire pour limiter les effets de bord (Southwood & Henderson, 2000), mesurant un mètre de rayon, a été matérialisé par un tuyau d'arrosage soudé bout à bout comme montré en Figure 3.

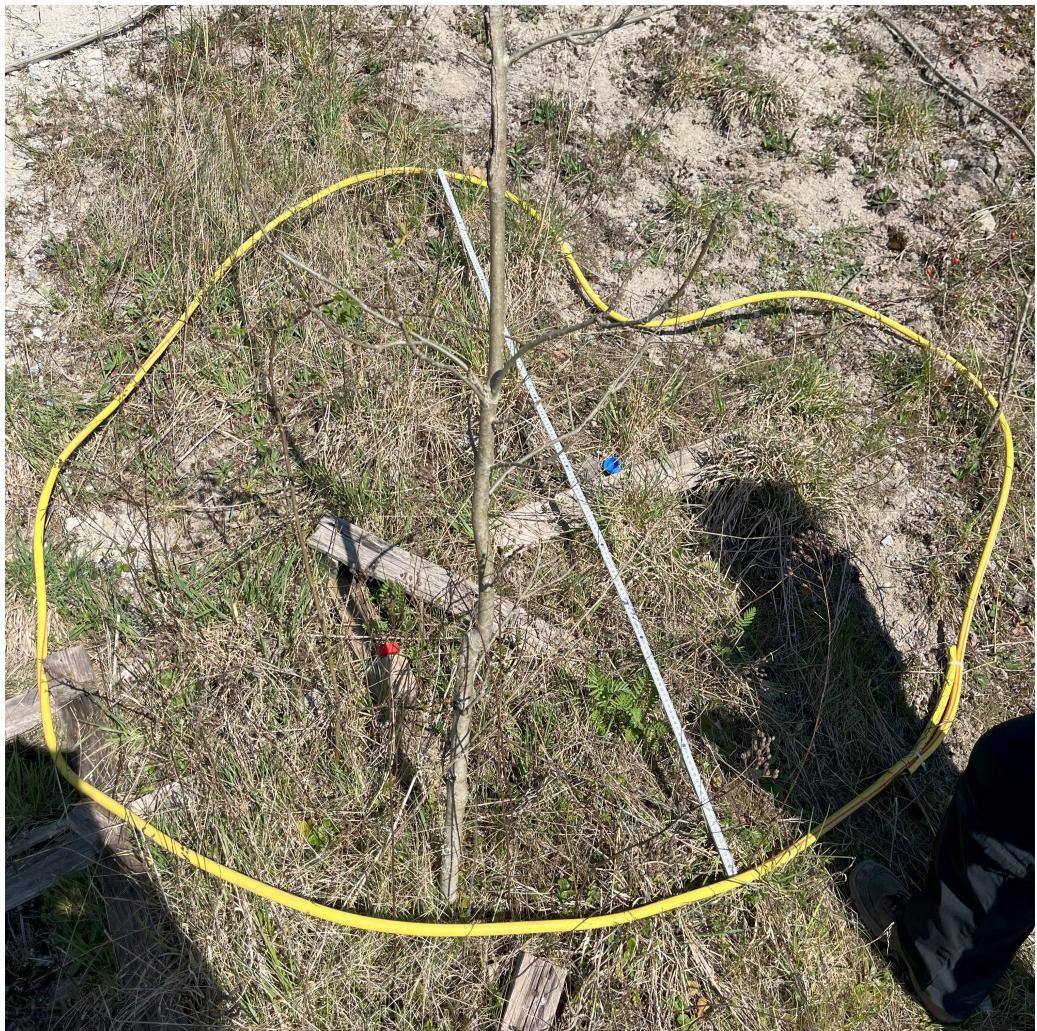


Figure 3: Représentation d'un quadrat circulaire d'un mètre de rayon sur le site du Terril du Bourbier matérialisé par un tuyau d'arrosage.

Un ensemble de variables décrites dans la Table 1 a été mesuré au sein de ces quadrats. Ces variables analysées sont basées sur le travail de Williams (2019).

Table 1: Listes des variables analysées dans un cercle de un mètre de rayon autour des 12 lézards retenus avec la méthode et le matériel utilisé pour chaque variable.

Variable	Méthode	Équipement
Recouvrement de la végétation (%)	Évaluation visuelle du pourcentage de recouvrement de la végétation.	/
Hauteur moyenne de la végétation (cm)	Mesure de 5 hauteurs aléatoires et calcul d'une moyenne de ces hauteurs.	Mètre
Recouvrement (%) et composition du sol	Évaluation visuelle du pourcentage de recouvrement des substrats : <ul style="list-style-type: none"> • Litière • Éléments artificiels / détritus • Éléments continus (> 200 mm) • Blocs (100–200 mm) • Graviers (2–100 mm) • Sable (1–2 mm) • Fins (< 1 mm) 	/
Hétérogénéité de la hauteur du substrat (cm)	Mesure de 10 hauteurs aléatoires du substrat. Ces mesures ont été prises à un mètre de haut par rapport au centre du quadrat à l'aide d'un référentiel en « L ». Un calcul de l'écart-type de ces hauteurs a été réalisé.	Télémètre et référentiel en « L » représenté en Figure 4
Pente (rad)	Mesure du dénivélé au centre du quadrat.	Téléphone (application : « Bubble Level » version 4.0)
Orientation (rad)	Mesure de l'orientation de la pente.	Téléphone (application : « Bubble Level »)
Angles d'obstacle (°)	Mesure de 4 angles d'obstacle, à chaque angle azimutal. Mesure prise de l'horizontal à un mètre du sol (0°) jusqu'au point atteignant le sommet de l'obstacle. Plus l'angle est élevé, plus l'obstacle est proche ou haut, donc plus le quadrat est ombragé.	Clinomètre représenté en Figure 5



Figure 4: Image représentant le référentiel en « L » utilisé pour mesurer 10 hauteurs aléatoires de substrat dans chaque quadrat à l'aide d'un télémètre. Le référentiel fait un mètre sur un mètre.



Figure 5: Image représentant le clinomètre mesurant les 4 angles d'obstacle en partant de l'horizontal, à un mètre du sol, jusqu'au sommet de l'obstacle. Plus l'angle est élevé, plus l'obstacle est proche ou haut, donc plus le quadrat est ombragé.

A noter que les mesures de pourcentage de recouvrement ont toujours été estimées par la même personne afin d'éviter les biais potentiels et de garder la même échelle d'évaluation.

Le calcul de l'hétérogénéité de la hauteur du substrat a pour but de mettre en lumière les sites possédant, potentiellement, plus de refuges pour le lézard. Un substrat avec une forte hétérogénéité aura potentiellement tendance à présenter plus de refuges qu'un substrat dont l'hétérogénéité est faible.

Grâce à la pente, la latitude et à l'orientation, un calcul de l'indice potentiel de rayonnement incident direct (PDIR) a pu être réalisé. Cette valeur théorique représente la quantité maximale de rayonnement solaire direct qu'un point au sol pourrait recevoir, influençant la thermorégulation d'espèces comme le lézard des murailles. L'équation détaillée a été décrite par McCune et Keon (2002) (Équation 1). Cette équation adimensionnelle présente des valeurs comprises entre 0,03 et 1,11. Les valeurs les plus élevées correspondent à un rayonnement incident direct particulièrement intense, typique des pentes abruptes orientées vers le sud (Harzé et al., 2016).

$$\begin{aligned} \ln(\mathbf{PDIR}) = & -1,467 + 1,582 \cdot \cos(\mathbf{L}) \cdot \cos(\mathbf{S}) \\ & - 1,5 \cdot \cos(\mathbf{A}) \cdot \sin(\mathbf{S}) \cdot \sin(\mathbf{L}) \\ & - 0,262 \cdot \sin(\mathbf{L}) \cdot \sin(\mathbf{S}) + 0,607 \cdot \sin(\mathbf{A}) \cdot \sin(\mathbf{S}) \end{aligned} \quad (1)$$

Équation 1 : Formule de l'indice potentiel de rayonnement solaire direct incident, où **PDIR** est le rayonnement solaire direct potentiel annuel, **L** la latitude (en radians), **S** la pente (en radians), et **A** l'orientation (en radians).

Le calcul du facteur Sky View (SVF) a également été réalisé, mesurant la portion de ciel visible depuis un point donné au sol, délimité par la végétation, les bâtiments ou les reliefs potentiellement présents. Ce facteur est adimensionnel et possède une valeur entre 0 et 1, où 1 correspond à une zone totalement dégagée (Chapman et al., 2001). La première définition de ce facteur a été donnée par Oke en 1981.

Aujourd'hui, plusieurs techniques ont été développées afin de calculer l'ouverture au ciel comme l'analyses photographiques en œil de poisson, les modèles numériques d'élévation ou l'utilisation d'angles d'obstacle (Johnson & Watson, 1984 ; Middel et al., 2018).

Dans ce travail, la technique utilisée est l'angle d'obstacle mesuré à l'aide d'un clinomètre comme expliqué dans la Table 1. L'estimation est basée sur l'article de Géron et al. (2021) (Équation 2).

$$\mathbf{SVF} = \frac{(90 - \mathbf{N}) + (90 - \mathbf{E}) + (90 - \mathbf{S}) + (90 - \mathbf{O})}{360} \quad (2)$$

Équation 2 : Formule pour calculer le sky view factor, où **N**, **E**, **S**, **O** représentent les directions azimutales utilisées pour mesurer les angles d'obstruction en radians à chaque centre de quadrat.

Afin de mesurer le rayonnement direct tout en prenant en compte les effets d'ombrage locaux de chaque quadrat, un indice appelé Rayonnement Direct Incident Réel (RDIR) a été calculé sur base de ces deux derniers indices (Équation 3). Cet indice ne possède pas d'unité et se situe entre 0 et 1,11, où 1,11 correspond à un quadrat complètement dégagé avec un rayonnement particulièrement intense.

$$\text{RDIR} = \text{SVF} \times \text{PDIR} \quad (3)$$

Équation 3 : Formule pour approximer le Rayonnement Direct Incident Réel (**RDIR**) reçu en multipliant les deux indices d'exposition : le Sky View Factor (**SVF**) et l'indice potentiel de rayonnement incident direct (**PDIR**).

5 Analyse de l'utilisation de potentiels microhabitats

Afin de caractériser l'utilisation des sites par le lézard, deux quadrats aléatoires ont été analysés en plus des quadrats « utilisés » par lézard retenu. L'objectif étant de déterminer si le lézard des murailles effectue des choix de microhabitats spécifiques ou si l'ensemble des sites lui correspond.

Un ballon de baudruche à moitié gonflé a été utilisé afin de générer un positionnement aléatoire des quadrats dit « non utilisés », selon la méthode décrite par Williams (2019). Le ballon a été gonflé à l'aide de quatre coups de pompe à main puis relâché depuis le centre du quadrat où un lézard a été observé. Le lâcher s'est fait en direction d'habitats potentiellement favorables et accessibles en évitant les plans d'eau, les forêts denses ou les falaises abruptes. Le point de chute du ballon a déterminé le centre du quadrat « non utilisé », garantissant un placement aléatoire dans l'environnement. En cas de chute trop proche par rapport au quadrat initial, une distance supplémentaire de deux mètres a été parcourue dans la direction indiquée par l'extrémité du ballon au sol, afin d'éviter tout chevauchement. Un exemple de répartition des catégories de quadrats au sein des ruines du Château de Montaigle se trouve Figure 6.

Pour cette analyse, les mêmes relevés que ceux décrits au point 2.4 ont été réalisés dans les quadrats « non utilisés ». De plus, ces quadrats ont servis pour l'analyse de la prédatation par la pose de leurre en plasticine comme expliqué au point suivant.

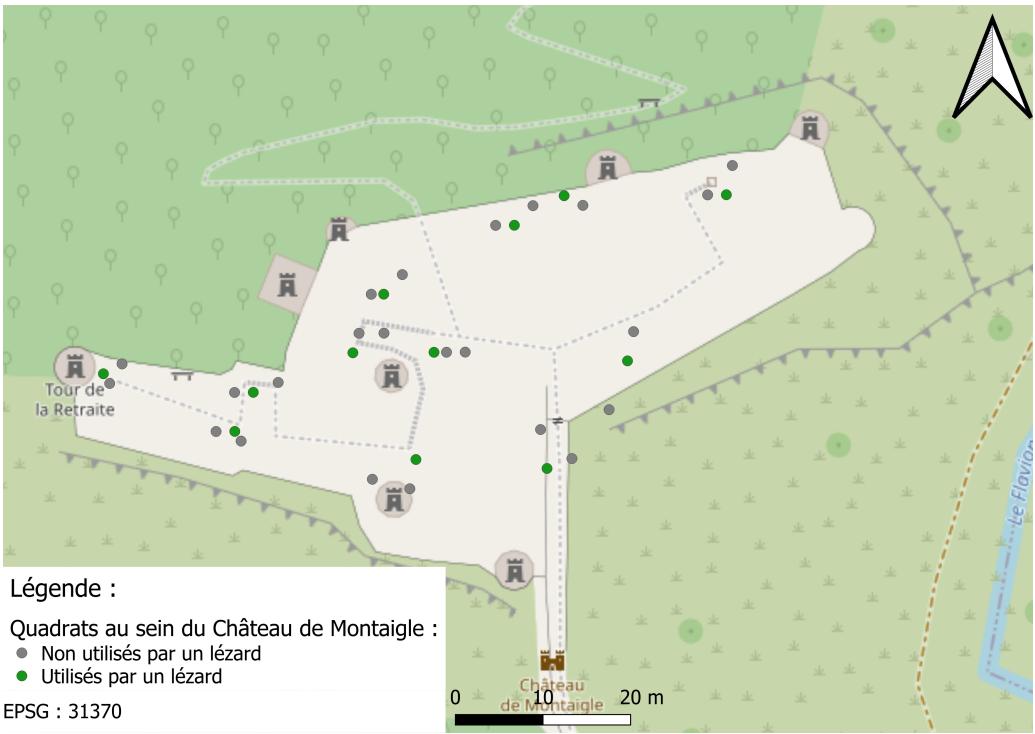


Figure 6: Représentation des 12 quadrats « utilisés » pour chaque lézards retenus (vert) et des 24 quadrats « non utilisés », définis aléatoirement (gris) dans les ruines du Château de Montaigle.

6 Quantification de la prédatation

Afin de mesurer la prédatation subie par les populations de lézard des murailles sur les différents sites, trois proxys ont été utilisés: le taux d'individus présentant une queue absente ou avec une cicatrice, la distance à l'abri et le nombre d'attaques observées sur des leurres en plasticine.

Pour commencer, le taux d'individus avec une queue prédatée (cicatrisée ou coupée) peut potentiellement représenter la pression de prédatation subie par les lézards. Ce proxy a été calculé par observation des 12 lézards retenus et en calculant le pourcentage de queues prédatées sur le nombre total de lézards analysés. Un exemple des trois types de queues rencontrés est représenté en Figure 7.



(1)

(2)

(3)

Figure 7: Images représentant (1) un lézard à queue normale (mâle), (2) un lézard à queue coupée (femelle) et (3) un lézard à queue cicatrisée (mâle).

Deuxièmement, la distance à l'abri correspond à la distance parcourue par le lézard des murailles avant de se réfugier. Cette variable est hypothétiquement plus courte lorsque le lézard subit une forte prédatation. De plus, cette distance permet de comparer, entre les sites, le niveau de risque pris par les individus avant de pouvoir se protéger des prédateurs. Pour rappel, la distance à l'abri correspond à la distance, en centimètres, séparant le lézard de l'abri qu'il a rejoint en fuyant à l'approche d'un observateur. Cette mesure a été prise à chaque lézard retenu pendant le temps de recherche comme expliqué au point 3.

Et pour finir, un proxy de la pression émise par les prédateurs a également été mesuré avec l'utilisation de leurres en plasticine. En effet, le taux d'attaque sur les leurres peut décrire le taux de pression du lézard des murailles sur les différents sites.

Une rencontre et une discussion avec une équipe scientifique d'Anvers spécialisée en biologie, et plus particulièrement en herpétologie ont permis de définir la méthodologie utilisée pour la formation des leurres. Ces leurres ont été fabriqués à partir d'un moule en élastomère de silicone (de la marque « Résine et Moulage ») réalisé à partir d'un modèle de *Podarcis muralis* (Laurenti) imprimé en 3D. La plasticine de la marque JOVI - Plastilina a été utilisée. Après différents tests, la meilleure couleur a semblé être la « chair » ajustée avec une bombe de peinture MTN94 couleur marron chocolat (RV-35) pour un rendu gris taupe. Différents tests en extérieur ont également été réalisés afin d'observer si la plasticine était plus ou moins attaquée par les rongeurs et les limaces, avec ou sans ajout de couleur. Les résultats n'ont montré aucune différence entre ces deux modalités et l'utilisation de la peinture a donc été tout à fait acceptable. Des ajustements ont été effectués à l'aide de marqueurs POSCA marron foncé et ivoire afin de reproduire les caractéristiques phénotypiques du lézard des murailles. Lors de la manipulation des leurres, des gants en latex ont été portés afin d'éviter de laisser une odeur susceptible d'influencer les résultats. Un résumé des étapes a été illustré dans la Figure 8.



Figure 8: Ensemble de photos représentant les différentes étapes de la formation des leurres : (1) Impression 3D du lézard des murailles (*Podarcis muralis* (Laurenti)), (2) impression fixé sur un socle, (3) Recouvrement de l'impression 3D par le silicone, (4) Durcissement du silicone pendant 48h, (5) Démoulage du moule, (6) Premiers test de moulage, (7) Test de la prédateur sur la plasticine (8) Test de couleurs, (9) Résultats final des leurres peints.

Au total, 72 leurres ont été disposés sur chaque site dans un rayon de deux mètres autour des centres des 36 quadrats utilisés et non utilisés par un lézard. Leur positionnement a été adapté en fonction de la configuration des sites afin d'éviter leur exposition excessive au passage du public tout en les maintenant visibles pour les prédateurs potentiels. La Figure 9 compare l'allure d'unurre réalisé en plasticine par rapport à un vrai lézard des murailles. Deux jours après leur installation, les leurres ont été récupérés et classés en quatre catégories: « intact »,

« attaqué », « retiré » ou « NA » lorsque les leurres ont été écrasés ou abimés par la pluie et qu'aucune conclusion n'a pu être faite quant à leur état. Les responsables des attaques ont été identifiés par groupe de prédateurs, en séparant les potentielles prédatation de lézard (oiseaux et mammifères) des attaques pour la plasticine (rongeurs et limaces). La Figure 10 illustre les différents classements possibles.



Figure 9: Photo comparant unurre en plasticine (droite) et un lézard des murailles (femelle) (gauche).



Figure 10: Représentation des différentes classes de leurres possibles après 48 heures sur un site : 1) Attaque de rongeur (pour la plasticine), 2) Attaque de limace (pour la plasticine), 3) Leurre classé en NA car écrasé, 4) Attaque de mammifère (prédatation du lézard), 5) Attaque d'oiseau (prédatation du lézard), 6) Attaque d'oiseau (prédatation du lézard).

7 Analyses statistiques

Toute les analyses ont été réalisées avec la version 4.3.1 de Rstudio et les packages utilisés sont dplyr, ggplot2, lme4, lmerTest, car, emmeans, factoextra, multcomp et tidyr. Un alpha de 0,05 a été utilisé pour tous les tests statistiques.

i Analyse du taux de rencontre

Afin de comparer le taux de rencontre entre sites naturels et industriels, une analyse de la déviance a été réalisée à l'aide d'un test du rapport de vraisemblance basé sur la loi du Chi², appliqué à un modèle de Poisson. Aucune transformation n'a été nécessaire puisque aucune surdispersion des résidus n'a été observée sur ce modèle. Par ailleurs, une régression linéaire a été effectuée pour tester l'effet de l'indice de fréquentation humaine sur le taux de rencontre du lézard.

ii Analyse de la caractérisation de l'habitat biophysique

Pour commencer, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de visualiser les potentielles relations entre les variables structurant l'habitat (RDIR, hauteur de la végétation, recouvrement de la végétation, hétérogénéité de la hauteur du substrat, ainsi que les variables de composition du substrat) des quadrats utilisés, ainsi que d'identifier les variables potentiellement discriminantes entre les catégories de sites étudiés.

Ensuite, des modèles linéaires mixtes (LMM), incluant les sites comme effet aléatoire, ont été utilisés. L'objectif a été de comparer chaque variable caractérisant la structure de l'habitat entre les deux catégories de sites, en se concentrant sur les quadrats utilisés par le lézard, tout en tenant compte de la variabilité inter-sites. Un test de Wald a été appliqué à chacun des modèles afin d'évaluer si le coefficient associé à la catégorie de sites était significativement différent de zéro, ce qui indiquerait une différence marquée entre les sites naturels et industriels au sein des quadrats occupés.

Les conditions d'application (normalité des résidus et homoscédasticité des variances) n'étant pas respectées, plusieurs transformations ont été effectuées: Une transformation en log a été utilisée pour la variable « hauteur de végétation » et « hétérogénéité du substrat », une transformation sur les rangs a été utilisée pour la variable « RDIR » et l'ensemble des variables « composition de substrat » et aucune transformation n'a été nécessaire pour le recouvrement de la végétation.

iii Analyse de l'utilisation de potentiels microhabitats

Tout d'abord, afin de caractériser l'utilisation des sites par le lézard des murailles, une visualisation a été faite grâce à une Analyse en Composantes Principales (ACP) des variables structurant l'habitat pour l'ensemble des sites. L'objectif était de discriminer les quadrats avec et sans observation de lézard au sein des sites industriels d'une part, et des sites naturels d'autre part.

Ensuite, des modèles linéaires généralisés (GLM) à distribution binomiale ont été utilisés pour l'analyse de ces variables « habitats ». Ce type de modèle a permis de modéliser la probabilité de présence du lézard dans les différents quadrats en fonction des variables décrivant la structure de l'habitat. Le choix du meilleur modèle a été réalisé par comparaison de plusieurs modèles selon leur critère d'information d'Akaike (AIC), à l'aide d'une sélection pas à pas (stepwise). L'objectif était de retenir le modèle le plus parcimonieux, incluant uniquement les variables les plus pertinentes pour expliquer la variance entre les quadrats utilisés et non utilisés, au sein des deux catégories de sites. Enfin, un test de Wald a été utilisé pour vérifier si les coefficients estimés diffèrent significativement de zéro. Ces analyses ont été conduites séparément pour les sites industriels et les sites naturels, afin d'évaluer si les facteurs expliquant la présence de cette espèce diffèrent selon la catégorie de sites.

Pour le bon fonctionnement de ces modèles, plusieurs modifications ont été réalisées :

Premièrement, la composition du substrat étant mesurée selon sept variables représentant des proportions dont la somme est contrainte (100 %), ces données ont été transformées selon la méthode Isometric Log-Ratio (ILR) (Egozcue et al., 2023 ; Filzmoser & Hron, 2009 ; Oh et al., 2024). Cette transformation a permis aux nouvelles variables de respecter les propriétés de la géométrie des compositions tout en évitant les problèmes de colinéarité et de dépendance. La transformation ILR a généré six nouvelles variables orthogonales représentant les contrastes (rapport log-transformé) entre les groupes de substrats. Les coordonnées ILR utilisées sont définies grâce à une base, construite manuellement selon une logique granulométrique et écologique appelée « partition binaire séquentielle » (SBP). La structure hiérarchique utilisée pour la construction des six contrastes ILR est détaillée dans le Figure 11, chaque ligne représentant une séparation binaire entre groupes.

	artificial	bloc	continu	gravier	litiere	sable	sol.fin
ILR 6	0	0	0	0	0	1	-1
ILR 5	0	0	0	1	0	-1	-1
ILR 4	0	-1	1	0	0	0	0
ILR 3	0	1	1	-1	0	-1	-1
ILR 2	0	-1	-1	-1	1	-1	-1
ILR 1	-1	1	1	1	1	1	1

Figure 11: Matrice de coordonnées des nouvelles variables ILR décrivant la composition du substrat, obtenues à partir des sept variables initiales de recouvrement (litière, éléments artificiels, éléments continus, blocs, gravier, sable et sol fin), après transformation par la méthode Isometric Log-Ratio (ILR). Pour chaque variable ILR, les «1» indiquent les variables incluses au numérateur du rapport, tandis que les «-1» indiquent celles présentes au dénominateur.

iv Analyse de la quantification de la prédatation

Afin d'analyser au mieux la prédatation du lézard des murailles, une analyse a été réalisée en trois étapes.

Premièrement, le nombre moyen de queues prédatées (avec cicatrice ou coupées) a été comparé entre les deux catégories de sites par un rapport de vraisemblance (loi de Chi²). L'influence du stade de vie des lézards sur la prédatation des queues a également été testée de la même manière.

Deuxièmement, la distance moyenne parcourue par le lézard a été confrontée entre les deux catégories de sites en appliquant une transformation sur les rangs, suivie de la réalisation d'un modèle linéaire mixte avec un test de Wald pour évaluer l'effet du site. Par ailleurs, un autre modèle linéaire mixte a été utilisé pour tester la corrélation entre la distance parcourue et l'indice de fréquentation des sites.

Finalement, le taux de prédatation sur les leurres a été analysé en comparant tout d'abord le taux de leurres inutilisables (leurres retirés, classés en NA, ou attaqués pour la plasticine par majoritairement des rongeurs et des limaces), ensuite le taux de prédatation sur les leurres utilisables (leurres intacts ou attaqués par des oiseaux ou des mammifères), et pour finir en calculant le nombre d'attaques moyen commis par les oiseaux contre le nombre causé par les

mammifères. Un test de Wald, réalisé sur un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM) à famille binomiale, a été utilisé pour les deux premières analyses.

Les leurres ont volontairement été analysés à l'échelle du site plutôt qu'à celle du quadrat. La taille de ces derniers (2 mètres minimum) a induit un chevauchement entre eux, ce qui a rendu une analyse plus fine moins pertinente.

III Résultats

1 Comparaison du taux de rencontre

En moyenne, le taux de rencontre dans les sites industriels est de $6,17 \pm 4,58$ (moyenne \pm écart-type) lézards par heure et par homme et de $4,00 \pm 1,43$ lézards par heure et par homme dans les sites naturels.

Ces moyennes ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre ($\chi^2(1) = 2,33 ; p = 0,13$).

Le terril du Bourbier possède le plus grand taux de rencontre avec 14,88 lézards par heure homme alors que, le minimum, soit 1,38 lézards par heure homme, a été observé dans les rochers de Freyr. La Figure 12 montre les valeurs de taux de rencontre pour chacun des sites étudiés.

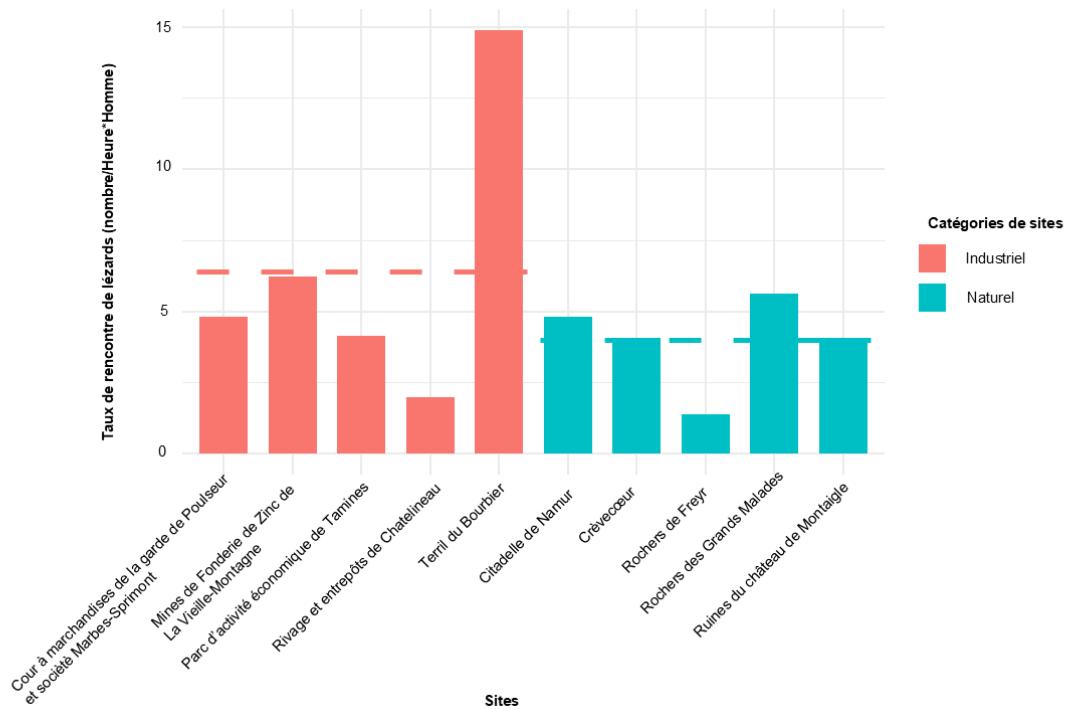


Figure 12: Barplot des taux de rencontre en nombre de lézards par heure homme dans chacun des sites, reprenant en pointillé les moyennes pour chacune des catégories de site (industriel et naturel).

Les résultats indiquent également qu'aucune relation significative n'a été mise en évidence entre l'indice de la fréquentation humaine et le taux de rencontre des lézards ($F(1 ; 8) = 0,33 ; p = 0,58 ; R^2 = 0,04$).

2 Comparaison de la structure de l'habitat

i Exploration des variables

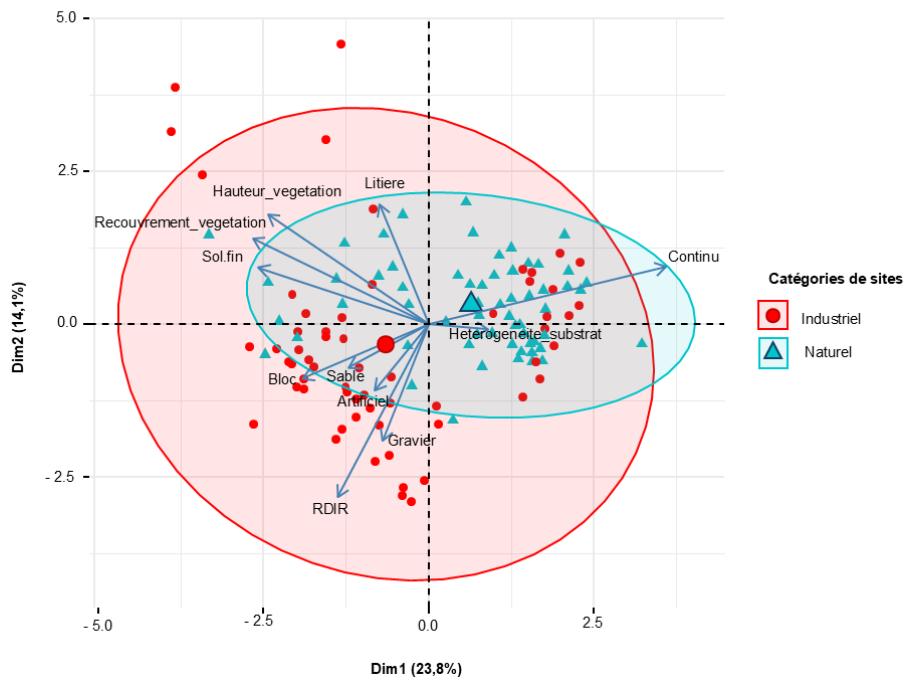


Figure 13: Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les quadrats utilisés par le lézard dans les deux catégories de site (industriels et naturels), à partir de l'ensemble des variables caractérisant l'habitat.

L'analyse en composantes principales (ACP) présente en Figure 13 permet de visualiser la dispersion entre les quadrats utilisés des deux catégories de sites. Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 37,90% de la variance totale. L'axe 1 est principalement structuré par la variable « Eléments continus » (30,73%), le recouvrement de la végétation (16,81%) et la hauteur de végétation (14,05%), tandis que l'axe 2 est principalement influencé par le RDIR (32,14%), le pourcentage de gravier (14,45%) et de litière (15,54%). L'ensemble des moyennes et écart-types de chaque variable représentant la structure de l'habitat pour chaque site est repris en Table A.2 et A.3 dans les annexes.

ii Étude du rayonnement

Le rayonnement moyen des sites industriels est de $0,42 \pm 0,18$ (moyenne \pm écart-type) et celui des sites naturels est de $0,37 \pm 0,18$. Cette différence de rayonnement moyen entre les deux catégories de sites n'est pas significative ($\chi^2(1) = 2,16 ; p = 0,14$). Le rayonnement maximal est de 0,52 au sein du parc d'activité économique de Tamines, alors que le plus petit rayonnement est de 0,28 au sein du site «rivage et entrepôts de Chatelineau».

iii Étude de la végétation

Premièrement, il est possible d’analyser la hauteur de végétation moyenne des quadrats utilisés par le lézard au sein des sites. Cette variable est en moyenne de $16,47 \pm 26,43$ cm au sein des sites industriels avec une hauteur de végétation maximale observée sur le site du « Terril du Bourbier », atteignant 38,10 cm. La moyenne de hauteur de végétation au sein des sites naturels est de $8,34 \pm 10,06$ cm avec une hauteur minimale observée aux ruines de Crève-cœur (3,47cm). La différence de cette variable entre les deux catégories de sites est non significative ($\chi^2(1) = 0,37$; $p = 0,55$).

Ensuite, en moyenne, le recouvrement de la végétation des quadrats utilisés par le lézard est de $46,48 \pm 30,73\%$ dans les sites industriels, cette moyenne est égale à $43,16 \pm 28,41\%$ dans les sites naturels. Statistiquement, aucune différence significative n’a été signalée entre ces deux catégories de sites ($\chi^2(1) = 0,11$; $p = 0,74$). Encore une fois, le site du Terril du Bourbier possède les quadrats avec le plus grand taux de recouvrement (69,42%) alors que le site de «Rivage et entrepôts de Chatelineau» possède les quadrats les moins recouverts avec 23,92% de recouvrement moyen.

iv Étude du substrat

Tout d’abord, l’hétérogénéité de la hauteur de substrat au sein des quadrats utilisés par le lézard dans les sites industriels est en moyenne de $14,15 \pm 12,31$ cm et de $24,19 \pm 38,24$ cm dans les sites naturels. La différence entre ces moyennes n’est pas significativement différente ($\chi^2(1) = 0,67$; $p = 0,41$). La plus grande hétérogénéité a été observée aux rochers de Freyr (47 cm) alors que la plus faible a été observée sur le site « Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne » avec une hétérogénéité de 8,84 cm.

Ensuite, un modèle linéaire mixte pour chaque variable « composition de substrat » entre les deux catégories de sites a été réalisé. L’ensemble des résultats sont présents dans la Table 2. Ce dernier met en lumière une différence significative entre les deux catégories de sites uniquement pour la variable « Recouvrement de gravier ».

Table 2: Comparaison des moyennes de recouvrement (%) des différents types de substrats entre les sites naturels et industriels, uniquement sur les quadrats utilisés par le lézard. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'ANOVA univariées (modèles linéaires mixtes) intégrant le facteur site comme effet aléatoire. Le tableau présente la valeur du F de Snedecor (F -value), la p -valeur (p -value), ainsi que les moyennes de recouvrement pour chaque type de substrat selon la catégorie de site (en %) accompagnées de leur écart-type. Une p -valeur inférieure à 0,05 indique une différence significative entre les types de sites.

Variable	F -value	p -value	Naturel (%)	Industriel (%)
Litière	0,04	0,84	$2,00 \pm 5,78$	$5,23 \pm 18,03$
Artificiel	4,03	0,08	$0,58 \pm 2,45$	$9,67 \pm 23,01$
Continu	4,79	0,06	$72,35 \pm 33,64$	$29,31 \pm 41,28$
Bloc	1,85	0,21	$3,12 \pm 10,20$	$18,87 \pm 29,86$
Gravier	5,74	0,04	$1,32 \pm 4,09$	$15,15 \pm 27,01$
Sable	2,01	0,19	$0,50 \pm 3,87$	$5,40 \pm 15,30$
Sol fin	0,02	0,90	$17,40 \pm 24,63$	$16,18 \pm 21,50$

La Figure 14 ainsi que les moyennes présentes dans la Table 2 permettent de démontrer les tendances entre les catégories de sites comme le recouvrement de bloc, de substrat artificiel, de graviers et de sable qui sont en moyenne plus importants dans les sites industriels alors que le recouvrement de substrat continu est plus important dans les sites naturels.

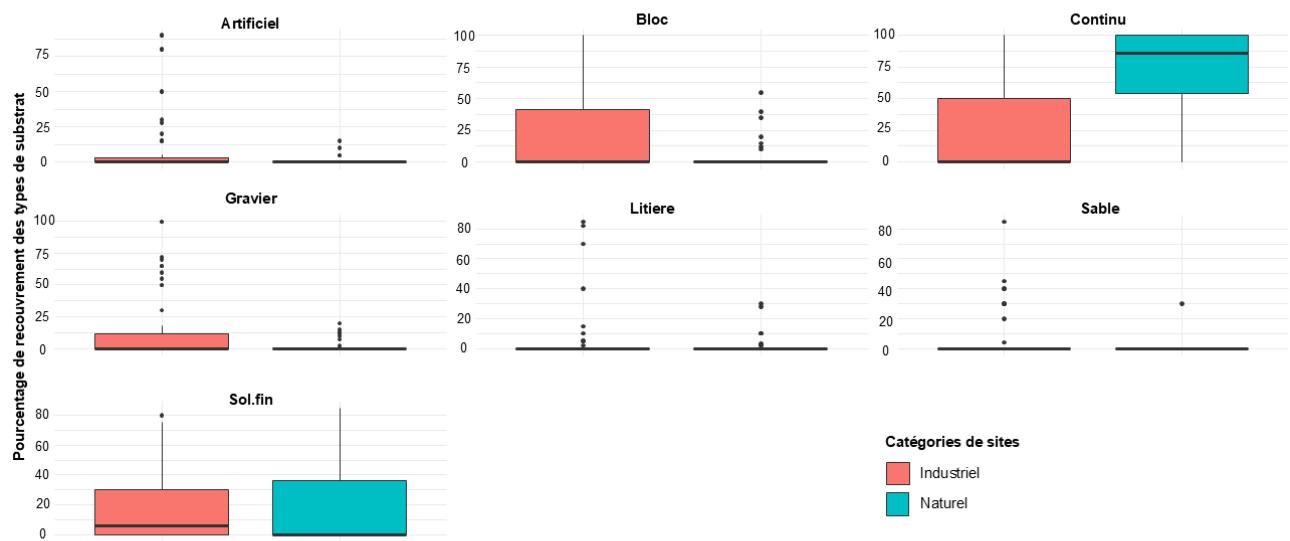


Figure 14: Ensemble des Boxplots représentant les variables caractérisant le recouvrement des différentes compositions de substrats entre les sites naturels et industriels en pourcent.

3 Comparaison de l'utilisation de potentiels microhabitats

i Comparaison des deux catégories de quadrats au sein des sites industriels

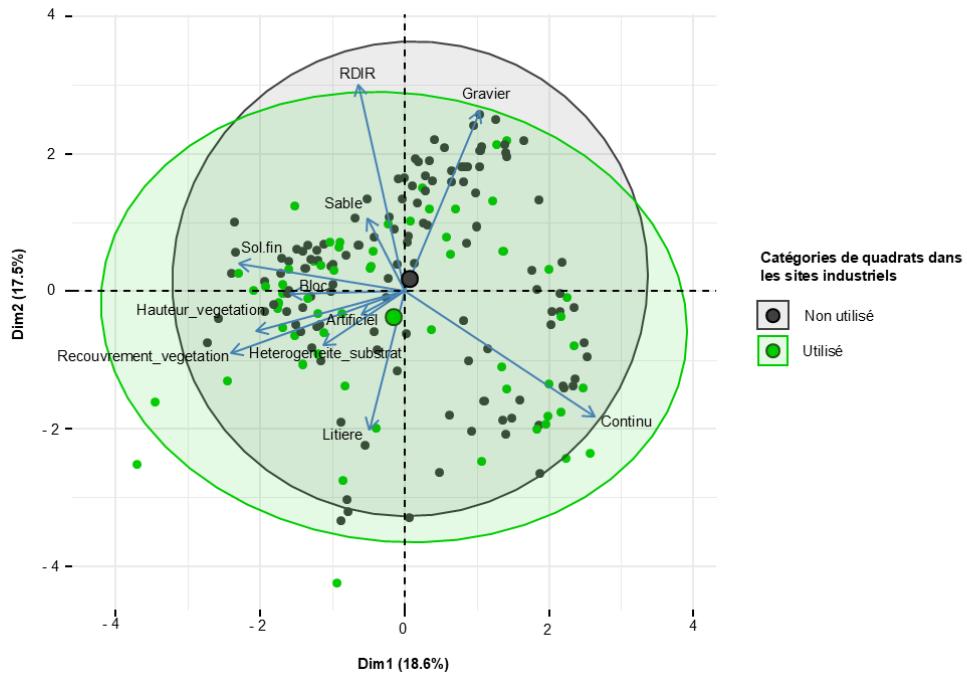


Figure 15: Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les quadrats utilisés et non utilisé par le lézard dans site industriels à partir de l'ensemble des variables caractérisant l'habitat.

L'analyse en composantes principales (ACP) présente dans la Figure 15 permet de visualiser la dispersion entre les quadrats utilisés et non utilisés des sites industriels. Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 36,10% de la variance totale. Les variables «Eléments continus» (24,46%), « recouvrement végétal » (20,38%), « sol fin » (18,68%) et « hauteur de végétation » (14,87%) dominent le premier axe, tandis que le second axe est essentiellement structuré par les variables « RDIR » (34,21%), « Gravier » (26,04%) et « Litière » (15,22%).

Les résultats du modèle linéaire mixte ont montré que la présence du lézard dans un quadrat est influencée positivement par la hauteur de végétation, l'hétérogénéité du substrat, la présence majoritaire d'éléments grossiers comparée à celle des éléments fins (ILR3) et par la présence majoritaire de gravier par rapport au sable ou sol fin (ILR5). L'ensemble des moyennes et des *p*-valeurs qui ressortent dans le modèle sont représentées dans la Table 3.

Table 3: Résultats de la significativité des variables d'habitat utilisées dans le GLM après sélection par stepwise afin de comparer les deux catégories de quadrats au sein des sites industriels. z -value est la valeur du z -test et p -value la p -valeur associée. Les variables avec une p -valeur inférieure à 0,05 sont considérées comme significativement différentes entre les catégories.

Variable	z -value	p -value	Quadrats utilisés	Quadrats non utilisés
Hauteur_végétation (cm)	2,57	0,01	$16,50 \pm 26,40$	$9,06 \pm 13,60$
Hétérogénéité_substrat (cm)	2,33	0,02	$14,20 \pm 12,30$	$6,10 \pm 8,63$
Ilr3 (Él. grossiers / fins)	3,59	<0,01	$0,13 \pm 0,32$	$-0,09 \pm 0,33$
Ilr4 (Él. continu / blocs)	-1,47	0,14	$0,07 \pm 0,43$	$0,11 \pm 0,29$
Ilr5 (Gravier / sable et sol fin)	2,11	0,03	$0,04 \pm 0,25$	$0,05 \pm 0,33$

ii Comparaison des deux catégories de quadrats au sein des sites naturels

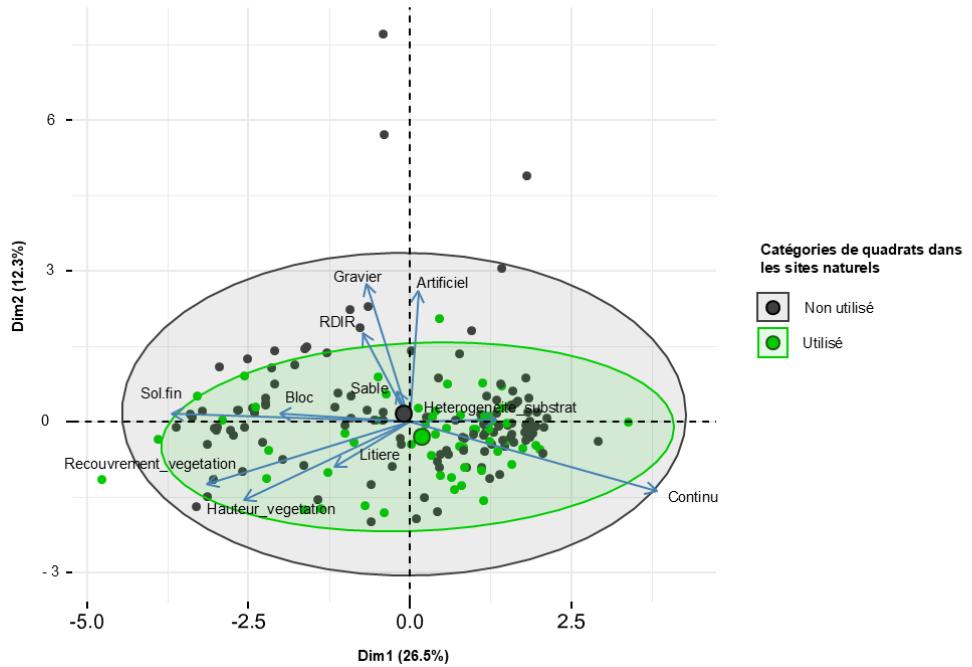


Figure 16: Analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les quadrats utilisés et non utilisés par le lézard dans des sites naturels à partir de l'ensemble des variables caractérisant l'habitat.

L'analyse en composantes principales (ACP) présente en Figure 16 permet à nouveau de visualiser la dispersion entre les quadrats utilisés et non utilisés mais cette fois au sein des sites naturels. Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 38,80% de la variance totale. L'axe 1 oppose les microhabitats selon les variables « Eléments continus » (27,64%), « Sol fin » (25,65%) et recouvrement de la végétation (18,62%) ainsi que la hauteur de végétation (12,52%). L'axe

2 est fortement influencé par les variables « Gravier » (30,50%) et « Eléments artificiels » (27,40%) qui dominent mais également le RDIR (12,73%) et la hauteur de végétation (10,05%).

Les résultats du modèle linéaire mixte ont montré que seule la présence majoritaire d'éléments grossiers comparée à celle des éléments fins (ILR3) influence positivement la présence du lézard des murailles dans les quadrats. L'ensemble des moyennes et des *p*-valeurs des variables utilisées dans le modèle est représenté dans la Table 4.

Table 4: Résultats de la significativité des variables d'habitat utilisées dans le GLM après sélection par stepwise afin de comparer les deux catégories de quadrats au sein des sites naturels. *z*-value est la valeur du *z*-test et *p*-value la *p*-valeur associée. Les variables avec une *p*-valeur inférieure à 0,05 sont considérées comme significativement différentes entre les catégories.

Variable	<i>z</i> -value	<i>p</i> -value	Quadrats utilisés	Quadrats non utilisés
Hauteur_végétation (cm)	0,32	0,05	$8,34 \pm 10,06$	$6,90 \pm 7,28$
Ilr3 (Él. grossiers / fins)	2,80	<0,01	$0,36 \pm 0,24$	$0,22 \pm 0,36$
Ilr5 (Gravier / sable et sol fin)	-1,29	0,20	$-0,06 \pm 0,10$	$-0,07 \pm 0,19$

4 Comparaison de la prédatation

i Étude de la proportion de queue prédatées

En moyenne, $13,33 \pm 15,14\%$ (moyenne \pm écart-type) des lézards ont une queue prédatée dans les sites industriels alors que ce nombre s'élève à $6,67 \pm 6,97\%$ dans les sites naturels.

Cependant, aucune différence significative n'a été démontrée entre le nombre de queues prédatées (coupées et cicatrisées) des catégories de sites ($\chi^2(1) = 0,90$; $p = 0,34$).

Après avoir testé s'il y a une corrélation entre le stade de vie du lézard et la prédatation qu'il subit, il en a été conclu qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative du queues prédatées entre sexes ($\chi^2(1) = 0,26$; $p = 0,87$).

ii Étude de la distance moyenne parcourue par le lézard

En moyenne, les lézards parcourent $61,02 \pm 79,14$ cm pour se réfugier dans les sites industriels et $94,57 \pm 163,55$ cm dans les sites naturels. Ces moyennes ne sont significativement pas différentes entre les catégories de sites ($\chi^2(1) = 0,90$; $p = 0,34$).

Cette distance a été modélisée en fonction de la fréquentation humaine des sites mais les résultats montrent que cet effet n'est pas significatif ($\beta = 2,86 \pm 2,71$; $t(8) = 1,06$; $p = 0,32$), suggérant l'absence de lien linéaire clair entre ces deux variables.

iii Étude des attaques enregistrées sur les leurres

Premièrement, $26,39 \pm 14,40\%$ des leurres dans les sites industriels contre $46,67 \pm 12,79\%$ des leurres dans les sites naturels sont inutilisables. La différence de nombre de leurres inutilisables moyen par catégorie est hautement significative ($\chi^2(1) = 6,85$; $p = 0,0089$). Les raisons pour lesquelles certains leurres n'ont pas pu être utilisés sont globalement similaires entre les deux catégories de sites puisqu'aucune classe de non-utilisation ne se distingue significativement. Toutefois, le Tableau 5 met en évidence une tendance à un plus grand nombre de leurres prédatés par des rongeurs ou des limaces dans les sites naturels.

Table 5: Comparaison des pourcentages de leurres inutilisables selon les catégories de site (industriel et naturel). Le tableau présente la moyenne et l'écart-type (%) des différentes catégories de leurres inutilisables (prédatation sur la plasticine, leurres retirés, leurres abîmés) pour chaque type de site. Les résultats des tests du χ^2 (ddl = 1) et les p -valeurs associées sont également présentés.

Catégorie deurre	Type de site	Moyenne (%)	Écart-type (%)	$\chi^2(1)$	p -value
Taux de prédatation sur					
la plasticine	Industriel	17,78	38,29	3,13	0,08
	Naturel	30,28	46,01		
Taux de leurres					
retirés	Industriel	7,22	25,92	0,02	0,89
	Naturel	6,94	25,46		
Taux de leurres					
abîmés	Industriel	2,78	16,46	2,43	0,12
	Naturel	11,39	31,81		

Deuxièmement, sur les 265 leurres utilisables dans les sites industriels, $5,52 \pm 2,70\%$ d'entre eux ont été prédatés. En naturel, 192 leurres sont utilisables et $8,40 \pm 3,23\%$ d'entre eux ont été prédatés. Cette différence de prédatation n'est pas significative ($\chi^2(1) = 1,26$; $p = 0,26$). Le taux de prédatation le plus faible a été observé sur le site « Rochers de Freyr » car aucune attaque n'a été enregistrée sur les leurres alors que 10 leurres sur les 51 utilisables ont été attaqués dans le château de Montaigle.

Finalement, sur les 5,52% de leurres attaqués dans les sites industriels, 73% des attaques sont causées par la prédatation aviaire. Dans les sites naturels, ce taux s'élève à 66% sur les 8,40% attaqués. Cela signifie que 11 attaques sur 15 ont été causées par un oiseau sur l'ensemble des sites industriels et 11 attaques sur 16 sur l'ensemble des sites naturels.

L'ensemble des proxys analysés expliquant la prédation par site sont donnés dans les annexes en Table A.4. Aucune différence significative n'a été observée pour les trois indices entre les deux catégories de sites. Il est donc possible de conclure que la prédation est la même entre les sites industriels et naturels.

IV Discussion

Pour rappel, cette étude vise à comparer l'utilisation des sites naturels et industriels par le lézard des murailles *Podarcis muralis* (Laurenti) en termes de taux de rencontre, de structure d'habitat, d'utilisation de microhabitat et de pression de préation. Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les deux catégories de sites pour l'ensemble des variables analysées, que ce soit le taux de rencontre ou la préation. Seule la structure de l'habitat se différencie selon le pourcentage de recouvrement en gravier dans les quadrats utilisés par le lézard. En outre, les variables significativement associées à la présence de l'espèce diffèrent entre les sites industriels et naturels. La présence d'un substrat grossier, tels que des éléments continus ou des blocs, ressort comme la variable structurelle la plus déterminante, indépendamment du type de sites.

Il est toutefois nécessaire de discuter certains points avant de répondre à la question de recherche.

L'ensemble des tests statistiques effectués a rarement aboutis à une différence significative même lorsque une différence entre les moyennes est marquée. Il est donc pertinent de se demander si le jeu de données, et plus particulièrement la taille de celui-ci, a été une des raisons qui a influencé cette significativité. Bien qu'aucun chiffre ne définisse un jeu de donné petit ou grand, plusieurs articles montrent que des échantillons de petite taille peuvent limiter la puissance des tests statistiques tout en augmentant le risque de ne pas détecter un effet significatif même s'il existe (Nelson et al., 2015 ; Serdar et al., 2021). Cependant, des échantillons de grande taille peuvent aussi avoir leurs problématiques et il est important de trouver le juste équilibre en fonction des tests effectués et de l'objectif de l'étude (Andrade, 2020). Cette étude étant contrainte par le temps, il n'a pas été possible de réaliser davantage de relevés. Il serait néanmoins pertinent d'étudier les mêmes variables sur un plus grand nombre de sites et de données, afin d'élargir la base de comparaison et de potentiellement renforcer la portée des résultats.

Aucune différence significative concernant le taux de rencontre entre les sites industriels et naturels n'a été mise en lumière. Ces résultats semblent montrer que les friches industrielles sont tout aussi accueillantes pour le lézard que les sites naturels. Aucun article ne parle spécifiquement du lézard des murailles au sein des friches industrielles. Le rapport de Cornier et al. (2025) a tout de même démontré que les friches industrielles en Wallonie accueillent une grande diversité de reptiles et d'amphibiens comme la coronnelle lisse (*Coronella austriaca*), le triton crêté (*Triturus cristatus*), le crapaud calamite (*Epidalea calamita*) mais également l'orvet fragile (*Anguis fragilis*) et le lézard vivipare (*Zootoca vivipara*). La présence de ces espèces protégées ou remarquables, suggèrent que certains lézards comme *Podarcis muralis* (Laurenti) peuvent s'adapter à l'urbanisation, justifiant la présence de cette espèce avec un taux de rencontre équivalent au sein des deux catégories de sites.

Il est important de rappeler que ce taux de rencontre peut être influencé non seulement par la densité des individus, mais également par les conditions météorologiques, la structure des sites, ainsi que par la capacité des observateurs à détecter des lézards capables d'adapter leur coloration au substrat pour se camoufler (Marshall et al., 2015). Les conditions météorologiques étant respectées et la méthodologie étant adaptée, l'équivalence des taux suggère que les sites industriels peuvent accueillir cette espèce de manière favorable. Pour comparer de manière plus précise les densités entre les différents sites, la méthode de capture-marquage-recapture (CMR) pourrait être mise en œuvre, et semble particulièrement pertinente (Rosa et al., 2022).

Aucun impact de la fréquentation humaine sur ce taux n'a été mis en évidence avec l'indice utilisé. L'indice de fréquentation étant arbitraire et analysé sur une journée, il semble pertinent de s'interroger sur sa capacité à représenter la pression humaine subie par les lézards sur les différents sites. Dans les références bibliographiques analysées, aucune n'étudie l'impact direct de la densité humaine sur l'utilisation de site par le lézard des murailles. Cependant, une étude sur le lézard des souches (*Lacerta agilis*) a montré que les milieux urbains peuvent servir d'habitat à cette espèce. Seule la présence d'animaux domestiques ont eu des effets négatifs importants sur sa densité (Becker & Buchholz, 2016). Bien que cet article a eu pour objectif d'étudier la tolérance de *Lacerta agilis* à l'urbanisation, aucun indice précis de fréquentation n'a été réalisé. Il serait tout de même intéressant, dans ce mémoire, d'étudier l'impact réel de cette fréquentation humaine en mesurant par exemple un indice plus représentatif sur plusieurs jours. Le type de pression humaine pourrait également être pris en compte en différenciant les promeneurs discrets des grimpeurs susceptibles de perturber davantage l'habitat. Pour évaluer réellement l'impact de la fréquentation humaine, la méthode la plus pertinente consisterait à observer directement ces effets sur les lézards eux-mêmes. Une étude menée en milieu alpin sur le lézard vivipare (*Zootoca vivipara*) et le lézard des souches (*Lacerta agilis*) a par exemple montré que les populations exposées à une forte pression anthropique présentent des variations morphologiques, suggérant un stress environnemental (Andjelković et al., 2023).

Un habitat qui permet au lézard des murailles de prospérer est un habitat qui lui propose des proies en suffisance. Bien que la structure de l'habitat ne s'avère pas différer entre les deux catégories de sites, il semble logique que l'urbanisation entraîne des modifications de microhabitats qui peuvent, par exemple, influencer la disponibilité des ressources alimentaires. Une étude réalisée en parallèle de celle-ci a notamment montré que la masse d'invertébrés récoltée est en moyenne plus importante dans les friches industrielles que dans les sites naturels (Lipschitz, 2025).

L'analyse en composantes principales discriminant les deux catégories de sites selon les variables structurant l'habitat (Figure 10) permet de mettre en évidence les différences et les liens entre certaines variables.

Premièrement, une corrélation entre les variables « Eléments continus » et « Hétérogénéité du substrat » a été observée, ce qui semble logique. Les éléments continus, souvent représentés par des murs en brique ou en pierre, présentent de nombreuses cavités favorables aux lézards.

Ensuite, les variables « Litière », « Sol fin », « Hauteur végétation » et « Recouvrement végétation » sont regroupées, partiellement opposée aux « Eléments continus » reflétant une dynamique cohérente. Les sols fins favorisent le développement de la végétation, les strates arborées peuvent mieux se développer créant une hauteur de végétation plus importante, et toute cette végétation produit davantage de litière. L'étude de Waters et al. (2017) montre que la composition du sol, ainsi que la granulométrie, affecte la couverture végétale et la biodiversité.

Le RDIR quant à lui s'oppose partiellement à la variable « Eléments continus », qui correspond majoritairement à des éléments verticaux. Ces structures, souvent très pentues, réduisent à la fois l'ouverture au ciel (ce qui fait baisser le Sky View Factor) ainsi que le PDIR puisque la pente n'a pas un effet linéairement positif sur le rayonnement. Lorsque la pente dépasse l'angle optimal pour une exposition donnée, l'angle d'incidence du soleil peut devenir trop aigu, réduisant l'énergie reçue par unité de surface et donc le rayonnement direct incident diminué (Lai et al., 2010 ; McCune & Keon, 2002). La combinaison de ces deux effets entraîne une diminution du RDIR dans les quadrats comportant de tels éléments continus.

Enfin, les quadrats « Naturels » se situent logiquement à distance des variables « Eléments artificiels » et « Bloc », représentatives de déchets ou de bloc de béton, peu présents en milieu naturel.

Les analyses effectuées sur les variables structurant l'habitat ont mis en lumière une utilisation des mêmes types d'habitat, en moyenne, dans les deux catégories de sites par le lézard des murailles. Seule la composition en substrat (Tableau 2 et Figure 11) se différencie légèrement entre les deux, notamment par le recouvrement en gravier. Ce recouvrement est plus important dans les friches industrielles que dans les sites naturels.

Les éléments artificiels et continus ont quant à eux une *p*-valeur proche de la significativité (respectivement 0,08 et 0,06) (Tableau 2). Ayant subi une transformation sur les rangs, qui est une transformation très poussée, il est possible que cette dernière ai lissé une différence réelle. Zimmerman (2004) montre qu'une *p*-valeur légèrement supérieure à 0,05 peut masquer une différence en raison de la perte d'informations dans les rangs, bien que cet effet ne peut pas être garanti. De plus, une différence significative semblerait logique puisque les « Eléments artificiels » représentent essentiellement des détritus ou des palettes qui sont bien plus présents dans les sites industriels. À l'inverse, le substrat continu est davantage représenté dans les sites naturels, où la présence de ruines ou de falaises (notées comme « Eléments continus ») est systématique. Les friches industrielles ayant une composition de substrat plus diversifiée, les éléments continus sont également fréquemment associés aux quadrats occupés par le lézard, mais dans une moindre mesure que dans les sites naturels.

Les variables qui influencent la présence ou non du lézard dans les quadrats étudiés se différencient entre les deux catégories de sites. Au sein des sites industriels, la sélection du lézard des murailles semble être influencée par certaines caractéristiques, notamment par l'hétérogénéité du substrat, par une préférence pour les éléments grossiers comparé aux

éléments fins (ILR3), et par une préférence pour les substrats de type « Gravier » plus tôt que « Sol fin » et « Sable » (ILR5) (Tableau 3). Les variables qui prédisent la présence du lézard des murailles au sein des sites naturels, quant à elles, semblent plus restreintes. Seul le rapport entre les éléments grossiers et fin (ILR3) est significatif (Tableau 4).

Toutes les différences citées précédemment mettent en lumière une hétérogénéité structurelle plus importante dans les sites industriels comparée à celle dans les sites naturels. Ce caractère montre une différence entre les deux catégories de sites, particulièrement du point de vue du substrat, mais ne définit en rien la capacité du lézard à mieux prospérer dans l'un ou l'autre milieu. Le lézard des murailles est connu pour sa capacité d'adaptation et son opportunisme face à son environnement. Cet avantage est observé à différentes échelles : au niveau trophique (Mou, 1987), au niveau phénotypique (Cheylan, 1988) et même vis-à-vis de son comportement de fuite (Brock & Bednekoff, 2025). Cela dans une certaine limite de tolérance (Rugiero et al., 2021). Il est donc capable de faire preuve de plasticité et d'opportunisme dans sa sélection de microhabitats et de sites, utilisant différentes ressources selon le type de milieux (Mou, 1987) et en s'adaptant morphologiquement selon la prédation et les microhabitats présents (Kaliotzopoulou et al., 2010 ; Marshall et al., 2015). Ce comportement suggère donc que les différences entre les catégories de sites, comme la proportion de gravier, n'impactent pas directement l'espèce. Certains substrats sont utilisés par l'espèce lorsqu'ils sont disponibles, mais ils ne lui sont pas indispensables.

Simon et Cresswell (2025) ont mis en évidence les variables environnementales ayant un impact sur la présence de *Podarcis muralis* (Laurenti). Parmi ces variables, la température du sol a été identifiée comme le facteur prédictif le plus significatif pour la présence de ce lézard, avec une préférence pour des températures modérées. C'est pourquoi les habitats favorables pour le lézard des murailles incluent des zones avec un bon accès à la lumière du soleil et des abris, essentiels pour la thermorégulation et la survie de cette espèce (Amo et al., 2004 a).

Au sein de cette étude, cela se traduit par le RDIR. Cette variable ne ressort pas au sein des GLMs réalisés entre les quadrats utilisés et non utilisés et aucune différence n'est observée entre industriels et naturels. En vérité, cette analyse met en lumière la faible variation de rayonnement au sein des sites dans lequel le lézard des murailles a été observé (Table A.2 en annexe). Elle démontre que cette variable semble importante pour le lézard qui se déplace dans l'ensemble des sites naturels et industriels pour satisfaire ses besoins de thermorégulation. Il est cependant important de noter qu'un rayonnement identique à deux endroits ne se traduira pas forcément par une même température au sol. En effet, McCune et Keon (2002) expliquent qu'une pente exposée à l'est (rayonnement du matin) aura une température au sol inférieure à celle d'une même pente exposé à l'ouest (rayonnement de l'après-midi). Cela signifie qu'il est possible que le lézard ne choisisse pas forcément un endroit avec un certain rayonnement mais plus tôt une température spécifique.

Il serait pertinent de comparer la température au sol entre les quadrats utilisés et non utilisés par le lézard. La mesure de l'albédo de surface pourrait également être envisagée afin d'examiner son lien avec la température au sol et d'identifier d'éventuelles différences,

potentiellement influencées par les flux radiatifs et les échanges de chaleur avec l'atmosphère (Arioli, 2024).

Les sites industriels, souvent plus variables en termes de structure, peuvent voir cette hétérogénéité influencer directement leurs conditions microclimatiques. Les quadrats utilisés par le lézard des murailles présentent une hétérogénéité de hauteur du substrat et une hauteur de végétation plus élevées que les quadrats non utilisés (Tableau 3). Les zones présentant moins de végétation (quadrats non utilisées) et moins d'hétérogénéité semblent être majoritairement constituées de grandes dalles de béton, connues pour accumuler davantage de chaleur en raison de leurs propriétés physiques et du microclimat propre aux milieux industriels (Ai & Kim, 2025 ; Cetin et al., 2024). Ces surfaces bétonnées peuvent offrir un avantage thermique lorsque l'ensoleillement est suffisant mais que les températures ambiantes restent basses, permettant ainsi au lézard une thermorégulation optimale. Cependant, elles peuvent devenir défavorables lors d'épisodes de fortes chaleurs, créant un microclimat excessivement chaud. C'est dans cette situation que les quadrats présentant une végétation plus haute ainsi qu'un substrat offrant davantage de cavités et de variations pourraient permettre au lézard d'accéder à des zones plus fraîches, dont les conditions se rapprochent de celles rencontrées dans les milieux naturels. Dans un contexte de changement climatique marqué par l'augmentation des extrêmes thermiques, il est possible que ces sites deviennent progressivement moins adaptés aux besoins du lézard. La propagation des espèces exotiques envahissantes (EEE) étant reconnue dans divers milieux (Golivets, 2014), ces espèces pourraient hypothétiquement augmenter la proportion et la hauteur moyenne de végétation au cours du temps au sein de ces sites, offrant ainsi davantage d'évapotranspiration et de zones ombragées. L'étude de Lipschitz (2025), réalisée en parallèle de ce mémoire, a notamment montré que l'espèce *Buddleja davidii* (arbre aux papillons) est une espèce exotique envahissante, indicatrice des friches industrielles, pouvant potentiellement être bénéfique pour le lézard si les température deviennent trop importantes. Un suivi conjoint des températures et des déplacements du lézard des murailles au sein des sites industriels permettrait d'évaluer si, à long terme, les friches resteront des habitats favorables, en fonction des évolutions climatiques, structurelles et végétales.

Au sein de la comparaison de la structure de l'habitat, l'hétérogénéité de la hauteur du substrat a pour objectif de représenter les potentiels refuges présents. Cette variable manque de précision pour plusieurs raisons. Premièrement, le référentiel n'étant pas parfaitement stable et induisant de légères variations d'angle, l'écart-type calculé a présenté une fluctuation même lorsque le quadrat était parfaitement plat. Deuxièmement, le référentiel a toujours été placé perpendiculairement à la pente mesurée, c'est-à-dire au centre du quadrat. Cependant, dans un cercle de un mètre de rayon, la pente peut varier autour du centre du cercle. Plus la pente varie et plus l'hétérogénéité est importante, hors aucun trou n'est présent pour représenter un refuge. Finalement, la pertinence de cette variable peut être remise en question, car les fortes hétérogénéités mesurées correspondent essentiellement à de grandes cavités ou variations visibles. Il a été directement observé sur le terrain que les lézards utilisent fréquemment de très fines crevasses, parfois à peine visibles à l'œil nu. Cette espèce est même capable de creuser

elle-même son propre refuge (Perreau, 1948).

Bien qu'il n'y ai pas de différence significative entre les catégories de sites, la distance à l'abri ne dépend pas uniquement de la disponibilité des refuges mais aussi du comportement des lézards. La distance à l'abri a été mesurée au moment où le lézard s'enfuyait à l'approche d'un humain. Une étude sur le lézard des murailles en Italie a montré que cette espèce en ville se laisse plus facilement approcher avant de fuir face à un humain. Une hypothèse est que les lézards vivant avec les humains doivent davantage faire face à diverses pressions, entraînant des comportements plus risqués (Brock & Bednekoff, 2025). Bien qu'aucune analyse spécifique du comportement craintif du lézard n'a été réalisée dans ce travail, une plus forte présence humaine a été observée dans les sites naturels. Cela peut potentiellement démontrer pourquoi la distance à l'abri dans ces sites a tendance à être plus grande que dans les sites industriels.

Une étude a montré que le lézard évite certains refuges en fonction des signaux chimiques potentiellement présents (Amo et al., 2004 a). La forte variation de la distance pour les deux catégories de sites peut donc être expliquée par une perception de risque plus importante dans certains refuges. Ce type de comportement antiprédateur est amplifié et dure plus longtemps une fois leur queue autotomisée (Fernández-Rodríguez & Braña, 2022). Cela suggère que le lézard est capable de modifier son comportement pour minimiser les risques en fonction de la situation. Il est également pertinent de se demander si ces comportements n'ont pas influencés le nombre de lézards à queue coupée détectés sur les différents sites.

Le taux de queues prédatées ne montre aucune différence statistique alors que les moyennes passent du simple (sites naturels) au double (sites industriels). Cette non significativité peut potentiellement être due à l'effet aléatoire du site qui est très important pour cette analyse ou la robustesse du test face au nombre de sites analysés.

Le taux d'attaque enregistré sur les leurres n'est également pas significativement différent entre les catégories de sites. Le taux de prédation habituellement rencontré sur ce type deurre se situe entre 10 et 13% (Duchesne, 2024 ; Farallo & Forstner, 2012 ; Keehn, 2018) ce qui confirme le bon fonctionnement des leurres placés, bien que les taux calculés restent assez bas, en particulier pour les sites industriels (Tableau A.4). En réalité, Fischer et al. (2012) expliquent que dans les milieux urbains, le nombre de prédateurs peut être plus important, mais le taux de prédation sera souvent plus faible qu'en milieu naturel. Ce contresens s'explique par une modification des échanges au sein de la chaîne trophique. L'urbanisation diminue le rôle de régulateur exercé par les prédateurs en augmentant la disponibilité de ressources alimentaires ce qui réduit la prédation sur certaines espèces spécifiques comme le lézard (Keehn, 2018).

Une différence significative a été observée quant aux nombres de leurres inutilisables. Beaucoup ont été attaqués par des rongeurs ou des limaces et cela est encore plus marqué dans les sites naturels (Tableau 5). Il serait intéressant de tester la même étude avec un plus grand nombre de leurres et/ou en remplaçant les leurres au fur et à mesure de l'étude. La

probabilité de risque d'attaques serait alors maintenue et permettrait de confirmer l'hypothèse de la diminution du taux de prédation dans les sites industriels (Duchesne, 2024).

Bien qu'enormément employé dans la littérature, l'utilisation de leurres en plasticine possède certaines limites. Tout d'abord, cette méthode est plus adaptée pour quantifier la prédation des oiseaux que celle causée par les mammifères comme le suggère les résultats (point III.4.iii). La présence d'attaque de cette classe sur les leurres permet tout de même de confirmer leur efficacité dans cette étude. Une étude sur la prédation du mulot montre que l'ajout de leur odeur sur les leurres a augmenté la prédation par les mammifères (Bocz et al., 2022). On peut donc se demander si l'odeur de la plasticine n'a pas eu un effet dissuasif chez les mammifères, voire également chez les oiseaux, bien que dans une moindre mesure. Ensuite, lors de l'identification des prédateurs, les attaques de test ou de prédation n'ont pas été différenciée. Une possibilité, pour éviter ce questionnement, est d'étudier les zones du corps attaquées sur leurre pour différentier une vrai attaque qui a pour objectif de rapidement tuer le lézard d'une attaque de test ou de jeu (Duchesne, 2024).

L'étude réalisée a eu pour objectif de mettre en lumière le potentiel que représente les friches industriels pour le lézard des murailles. La réponse semble positive concernant les 4 axes étudiés. Cependant, l'épanouissement d'une espèce ne dépend pas que de son habitat. En effet, Lazić et al. (2017) comparent la fitness et l'état de santé, à travers des indicateurs de stress environnemental et de parasitisme, de populations de lézards des murailles vivant en milieux ruraux et urbains. Leurs résultats montrent que les lézards présentent une condition physique plus faible, suggérant une diminution de leur fitness en environnement urbanisé. Cette étude compare des milieux ruraux avec des milieux urbains et non avec des friches industrielles. Ces dernières étant potentiellement plus accueillantes pour la biodiversité que d'autres milieux urbains (Bonthoux et al., 2014), il serait intéressant d'observer ces variables sur le lézard des murailles en friches industrielles. Plusieurs analyses pourraient être réalisées comme l'étude du stress vécu par cette espèce, en étudiant par exemple les différences morphologiques avec les lézards en milieux naturels. En connaissant les différences de concentration de pollution et de métaux lourds dans les sols en milieux naturels et industriels, il peut également être intéressant de mesurer l'impact de ces sols sur cette espèce (Lafeuille, 2013 ; Remon, 2006). Finalement, les villes étant de plus en plus bâties, les zones ouvertes disponibles pour la biodiversité diminuent (Angel et al., 2012). Une étude à plus large échelle permettrait donc d'explorer le rôle potentiel des friches industrielles en tant que corridor écologique au sein des paysages urbains. Il serait également pertinent de mettre en lumière les services écosystémiques que ces friches pourraient offrir à la société, en plus de leur fonction d'accueil de la biodiversité.

V Contribution personnelle

L'étudiante en charge de ce mémoire a réalisé :

1. La sélection des sites naturels et industriels à étudier.
2. La préparation et les tests concernant le matériel de terrain avec l'aide de Maureen Lipschitz (Stagiaire au sein de l'axe Biodiversité - Ecosystèmes - Paysages), Justine Martoglio (Doctorante au sein de l'axe Biodiversité - Ecosystèmes - Paysages) et Sébastien Steels (Technicien au sein de l'axe Biodiversité - Ecosystèmes - Paysages) (tuyaux représentant le quadrat, formation des moules en silicone, tests couleur, création du référentiel, etc.).
3. La formation de 720 leurres avec l'aide de Maureen Lipschitz (stagiaire).
4. L'ensemble du travail de terrain détaillé dans la section « Matériel et Méthodes » avec l'aide de Maureen Lipschitz.
5. L'encodage et les analyses statistiques.

VI Conclusion

Pour rappel, la question de recherche de ce mémoire s'intègre dans un objectif plus large qui est de démontrer le potentiel des friches industrielles en temps qu'habitat de substitution au vu des dégradations observées dans certains milieux naturels. Cela a été réalisé au travers de l'étude d'une espèce vulnérable, connue pour son arrivée dans ces nouveaux sites d'intérêt : le lézard des murailles, *Podarcis muralis* (Laurenti).

Aucune différence majeure n'a été observée en termes de taux de rencontre, de structure d'habitat, ou de prédation en comparaison avec les milieux naturels. Seul le recouvrement en gravier se différencie des deux types de sites. L'analyse du choix de microhabitats a montré une plus grande hétérogénéité au sein des sites industriels. Ces résultats ont mis en lumière la capacité de ce lézard à s'adapter à son environnement. Au final, les sites les plus favorables pour cette espèce sont ceux qui lui offrent des zones propices à la thermorégulation, à la sécurité, ainsi qu'à l'accès aux ressources alimentaires.

Grâce à ce mémoire, une hypothèse peut être dessinée : Les friches industrielles semblent représenter des environnements favorables, en termes de structure et de prédation, pour le lézards des murailles (*Podarcis muralis* Laurenti), en comparaison avec les milieux naturels. Ces sites particuliers représentent, pour le lézard des murailles, des endroits favorables qui répondent à ses besoins, possédant les mêmes risques de prédation que dans les sites naturels.

Ce résultat reste toutefois à approfondir. Une piste d'amélioration serait d'agrandir le jeu de données, afin d'éviter des transformations trop fortes susceptibles de lisser les résultats. Bien que la taille limitée de l'échantillon ait pu réduire la robustesse des tests statistiques, de très faibles différences ont été mises en évidence entre les sites industriels et naturels, fournissant des signaux encourageants. Les friches industrielles apparaissent alors comme des milieux prometteurs pour le lézard des murailles.

Parmi les perspectives de recherche, l'étude des différences morphologiques du lézard des murailles pourrait permettre d'identifier d'éventuels stress environnementaux ainsi que les impacts possibles des pollutions des sols. Enfin, une analyse d'écologie du paysage offrirait un regard plus global sur le rôle potentiel des friches industrielles en tant que corridors écologiques au sein de milieux urbains de plus en plus fragmentés.

VII Bibliographie

Ai, J., & Kim, M. (2025). Research on Plant Landscape Design of Urban Industrial Site Green Space Based on Green Infrastructure Concept. *Plants*, 14(5), 747. <https://doi.org/10.3390/plants14050747>

Amo, L., López, P., & Martín, J. (2004). *Trade-offs in the choice of refuges by common wall lizards: Do thermal costs affect preferences for predator-free refuges?* 82(6), 897 901.

Amo, L., López, P., & Martín, J. (2004). Wall lizards combine chemical and visual cues of ambush snake predators to avoid overestimating risk inside refuges. *Animal Behaviour*, 67(4), 647 653. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.08.005>

Andželković, M., Mirč, M., Ajduković, M., Cvijanović, M., Vukov, T., Vučić, T., Kijanović, A., & Urošević, A. (2023). Is Fluctuating Asymmetry a Sufficient Indicator of Stress Level in Two Lizard Species (*Zootoca vivipara* and *Lacerta agilis*) from Alpine Habitats? *Symmetry*, 15(3), 721. <https://doi.org/10.3390/sym15030721>

Anderson, L., & Burgin, S. (2008). Patterns of bird predation on reptiles in small woodland remnant edges in peri-urban north-western Sydney, Australia. *Landscape Ecology*, 23(9), 1039 1047. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9252-5>

Andrade, C. (2020). Sample Size and its Importance in Research. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 42(1), 102 103. https://doi.org/10.4103/IJPSYM.IJPSYM_504_19

Angel, S., Parent, J., & Civco, D. L. (2012). The fragmentation of urban landscapes : Global evidence of a key attribute of the spatial structure of cities, 1990–2000. *Environment & Urbanization*, 24(1), 249 283. <https://doi.org/10.1177/0956247811433536>

Angold, P. G., Sadler, J. P., Hill, M. O., Pullin, A., Rushton, S., Austin, K., Small, E., Wood, B., Wadsworth, R., Sanderson, R., & Thompson, K. (2006). Biodiversity in urban habitat patches. *Science of The Total Environment*, 360(1 3), 196 204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.035>

Arioli, S. (2024). *Techniques de mesure in-situ de l'albédo et de la température de surface de la neige pour l'amélioration de la validation satellite et la compréhension des processus de la neige.*[Thèse]

Baldin, E. (2022). La friche PCUK entre dépollution, renaturation et régénération paysagère. Projets de paysage. *Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, 27, Article 27. <https://doi.org/10.4000/paysage.32044>

Barr, J. I., Boisvert, C. A., Somaweera, R., Trinajstic, K., & Bateman, P. W. (2019). Re-regeneration to reduce negative effects associated with tail loss in lizards. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55231-6>

Becker, M., & Buchholz, S. (2016). The sand lizard moves downtown – habitat analogues for an endangered species in a metropolitan area. *Urban Ecosystems*, 19(1), 361–372. <https://doi.org/10.1007/s11252-015-0497-x>

Bocz, R., Batáry, P., & Purger, J. J. (2022). Scent, rather than fur pattern, determines predation of mice: An in-the-wild experiment with plasticine mouse models. *Journal of Zoology*, 316(3), 223–228. <https://doi.org/10.1111/jzo.12948>

Bonthoux, S., Brun, M., Di Pietro, F., Greulich, S., & Bouché-Pillon, S. (2014). How can wastelands promote biodiversity in cities? A review. *Landscape and Urban Planning*, 132, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.010>

Brock, K. M., & Bednekoff, P. (2025). *The town lizard and the country lizard : Urban wall lizards have more bold and variable escape behaviours than non-urban wall lizards.*

CABERNET Concerted Action on Brownfield and Economic Regeneration Network. (s. d.). Consulté 26 mars 2025, à l'adresse <https://www.eugris.info/displayproject.asp?Projectid=4415?Projectid=4415>

Cetin, M., Ozenen Kavlak, M., Senyel Kurkcuoglu, M. A., Bilge Ozturk, G., Cabuk, S. N., & Cabuk, A. (2024). Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities : The case of Kayseri, Türkiye. *Natural Hazards*, 120(6), 5509–5536. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>

Chapman, L., Thornes, J. E., & Bradley, A. V. (2001). Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. *Theoretical and Applied Climatology*, 69(1–2), 81–89. <https://doi.org/10.1007/s007040170036>

Cheylan, M. (1988). Variabilité phénotypique du lézard des murailles *Podarcis muralis* sur les îles de la côte provençale, France. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, 43(3), 287–321. <https://doi.org/10.3406/revec.1988.5425>

Coombs, G. (2016). Quantifying predation pressure and the protective role of sheltered basking sites for small snakes in South Africa. *Phylomedusa: Journal of Herpetology*, 15(2), Article 2. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v15i2p155-162>

Cornier B., Monty A., Jacquemin J., Teller J., Mahy G. (2025) FrichNat : *La science*

participative révèle la biodiversité des friches industrielles wallonnes. Projet FrichNat, Plan de Relance de la Wallonie, Fiche 123, 151p

Diego-Rasilla, F. J. (2003). Influence of predation pressure on the escape behaviour of *Podarcis muralis* lizards. *Behavioural Processes*, 63(1), 1-7. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(03\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(03)00026-3)

Duchesne, T. (2024). *De l'échelle locale à l'échelle globale : L'importance d'une approche intégrée pour la conservation d'une espèce de reptile en déclin, la vipère péliaude (Vipera berus, L. 1758)* -.

Egozcue, J. J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G., & Barcelo-Vidal, C. (2023). *Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis*.

Farallo, V. R., & Forstner, M. R. J. (2012). Predation and the Maintenance of Color Polymorphism in a Habitat Specialist Squamate. *PLoS ONE*, 7(1), e30316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030316>

Fernández-Rodríguez, I., & Braña, F. (2022). Behavioral patterns in the early-stage antipredator response change after tail autotomy in adult wall lizards. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 337(3), 250-257. <https://doi.org/10.1002/jez.2562>

Filzmoser, P., & Hron, K. (2009). Correlation Analysis for Compositional Data. *Mathematical Geosciences*, 41(8), 905-919. <https://doi.org/10.1007/s11004-008-9196-y>

Fischer, J. D., Cleeton, S. H., Lyons, T. P., & Miller, J. R. (2012). Urbanization and the Predation Paradox : The Role of Trophic Dynamics in Structuring Vertebrate Communities. *BioScience*, 62(9), 809-818. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.9.6>

GBIF. (s. d.). Consulté 25 février 2025, à l'adresse <https://www.gbif.org/>

Géron, C., Lembrechts, J. J., Nijs, I., & Monty, A. (2021). Shielded environments reduce stress in alien Asteraceae species during hot and dry summers along urban-to-rural gradients. *Ecology and Evolution*, 11(15), 10613-10626. <https://doi.org/10.1002/ece3.7872>

Gifford, M. E., Herrel, A., & Mahler, D. L. (2008). The evolution of locomotor morphology, performance, and anti-predator behaviour among populations of *Leiocephalus* lizards from the Dominican Republic: EVOLUTION OF PERFORMANCE IN CURLY TAILED LIZARDS. *Biological Journal of the Linnean Society*, 93(3), 445-456. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2007.00909.x>

Golivets, M. (2014). Ecological and biological determination of invasion success of non-native plant species in urban woodlands with special regard to short-lived monocarps. *Urban Ecosystems*, 17(1), 291–303. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0313-4>

Graitson, E. (2006). *Répartition et écologie des reptiles sur le réseau ferroviaire en Wallonie.*

Graitson, E., Hussin, J., & Vacher, J.-P. (2012). *Synthèse de 24 années de suivi d'une communauté de reptiles typiques du nord de l'Europe.*

Graitson, E., & Jacob, J.-P. (2007). Le lézard des murailles *Podarcis muralis* (laurenti, 1768). *Le lézard des murailles Podarcis muralis (laurenti, 1768).*

Harzé, M., Mahy, G., & Monty, A. (2016). *Functional traits are more variable at the intra- than inter-population level : A study of four calcareous dry-grassland plant species.* <https://doi.org/10.14471/2016.36.018>

Husak, J. F., Macedonia, J. M., Fox, S. F., & Sauceda, R. C. (2006). Predation Cost of Conspicuous Male Coloration in Collared Lizards (*Crotaphytus collaris*): An Experimental Test Using Clay-Covered Model Lizards. *Ethology*, 112(6), 572–580. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2005.01189.x>

INPN. (s. d.). *87.1—Terrains en friche (CORINE biotopes)—Présentation.* Consulté 18 juillet 2025, à l'adresse https://inpn.mnhn.fr/habitat/cd_hab/1354

Jacek, G. (2021). *Suivi et évaluation de la requalification de friches industrielles en zone de compensation écologique: le cas de l'ancienne raffinerie pétrolière de Reichstett.* [Thèse]

Jacob, J.-P., Percsy, C., Wavrin, H. D., Graitson, E., Kinet, T., Denoël, M., Paquay, M., Percsy, N., & Remacle, A. (2007). *L'évolution du peuplement herpétologique en Région wallonne (Belgique).*

Johnson, G. T., & Watson, I. D. (1984). *The Determination of View-Factors in Urban Canyons.* https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/2/1520-0450_1984_023_0329_tdovfi_2_0_co_2.xml

Kalontzopoulou, A., Carretero, M. A., & Llorente, G. A. (2010). Intraspecific ecomorphological variation : Linear and geometric morphometrics reveal habitat-related patterns within *Podarcis bocagei* wall lizards. *Journal of Evolutionary Biology*, 23(6), 1234–1244. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.01984.x>

Keehn, J. E. (2018). Predator attack rates and anti-predator behavior of Side-blotted

Lizards (*Uta stansburiana*) at southern California wind farms, USA. *Herpetological Conservation and Biology*.

Lafeuille, C. (2013). *La prise en compte de la pollution des sols dans le renouvellement urbain des friches industrielles en France* [These de doctorat, Lille 1]. <https://theses.fr/2013LIL10140>

Lai, Y.-J., Chou, M.-D., & Lin, P.-H. (2010). Parameterization of topographic effect on surface solar radiation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D1). <https://doi.org/10.1029/2009JD012305>

Larousse, É. (s. d.). *Définitions : Friche - Dictionnaire de français Larousse*. Consulté 31 juillet 2025, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/friche/35238>

Lazić, M. M., Carretero, M., Živković, U., & Crnobrnja-Isailović, J. (2017). *City life has fitness costs : Reduced body condition and increased parasite load in urban common wall lizards, Podarcis muralis*.

Lézard des murailles—Podarcis muralis. (s. d.). Observations.be. Consulté 20 juillet 2025, à l'adresse <https://observations.be/species/452/>

Lipschitz, M. (2025). Les friches industrielles, pièges écologique ou opportunités pour le lézard des murailles (*Podarcis muralis* (Laurenti, 1768)) ? Comparaison des Habitats industriels avec des habitats naturels du lézard des murailles : conditions de milieux, ressources alimentaire et utilisation de l'espace [Mémoire de master non publié]. Université de Bordeaux Sciences Agro.

Loures, L., & Vaz, E. (2018). Exploring expert perception towards brownfield redevelopment benefits according to their typology. *Habitat International*, 72, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.11.003>

Marshall, K. L. A., Philpot, K. E., Damas-Moreira, I., & Stevens, M. (2015). *Intraspecific Colour Variation among Lizards in Distinct Island Environments Enhances Local Camouflage*. 10(9), e0135241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135241>

Martin, J., & López, P. (1999). An Experimental Test of the Costs of Antipredatory Refuge Use in the Wall Lizard, *Podarcis muralis*. *Oikos*, 84(3), 499–505. <https://doi.org/10.2307/3546428>

McCune, B., & Keon, D. (2002). Equations for Potential Annual Direct Incident Radiation and Heat Load. *Journal of Vegetation Science*, 13(4), 603–606.

Middel, A., Lukasczyk, J., Maciejewski, R., Demuzere, M., & Roth, M. (2018).

Sky View Factor footprints for urban climate modeling. *Urban Climate*, 25, 120–134. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.05.004>

Miller, D. A., Grand, J. B., Fondell, T. F., & Anthony, M. (2006). Predator functional response and prey survival : Direct and indirect interactions affecting a marked prey population. *Journal of Animal Ecology*, 75(1), 101–110. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.01025.x>

Mou, Y.-P. (1987). Ecologie trophique d'une population de lézards des murailles *Podarcis muralis* dans l'Ouest de la France. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, 42(1), 81–100. <https://doi.org/10.3406/revec.1987.5396>

Nelson, M. S., Wooditch, A., & Dario, L. M. (2015). Sample size, effect size, and statistical power : A replication study of Weisburd's paradox. *Journal of Experimental Criminology*, 11(1), 141–163. <https://doi.org/10.1007/s11292-014-9212-9>

Öckinger, E., Dannestam, Å., & Smith, H. G. (2009). The importance of fragmentation and habitat quality of urban grasslands for butterfly diversity. *Landscape and Urban Planning*, 93(1), 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.05.021>

Oh, J., Kyoung-Ho, K., Ho-Rim, K., Sunhwa, P., & Seong-Taek, Y. (2024). *Using isometric log-ratio in compositional data analysis for developing a groundwater pollution index*. 14(1), 12196. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63178-6>

Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237–254. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>

Oliver, L., Ferber, U., Grimski, D., Millar, K., & Nathanail, P. (2005). *The Scale and Nature of European Brownfields*.

Perreau, A. (1948). Etude sur les Lacertidés communs en Auvergne. *Revue des sciences naturelles d'Auvergne*, 14(2), 112–119. <https://doi.org/10.3406/rsna.1948.2003>

Remon, E. (2006). *Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : Vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution* [Phdthesis, Université Jean Monnet - Saint-Etienne]. <https://theses.hal.science/tel-00362527>

Rosa, G., Salvidio, S., Trombini, E., & Costa, A. (2022). Estimating density of terrestrial reptiles in forest habitats : The importance of considering availability in distance sampling protocols. *Trees, Forests and People*, 7, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100184>

Rugiero, L., Capula, M., Dendi, D., Petrozzi, F., Fa, J. E., Funk, S. M., Burke, R. L., & Luiselli, L. (2021). Testing hypotheses of habitat use and temporal activity in relation to body plan in a Mediterranean lizard community. *Canadian Journal of Zoology*, 99(10), 921–929. <https://doi.org/10.1139/cjz-2021-0083>

Schwartz, T. (2021). *Les dispositifs artificiels au service de la restauration et de la compensation écologique : De l'évaluation du risque de piège écologique aux recommandations de bonnes pratiques.*

Serdar, C. C., Cihan, M., Yücel, D., & Serdar, M. A. (2021). Sample size, power and effect size revisited : Simplified and practical approaches in pre-clinical, clinical and laboratory studies. *Biochimia Medica*, 31(1), 010502. <https://doi.org/10.11613/BM.2021.010502>

Simon, Á., & Cresswell, W. (2025). Urban areas as habitats for reptiles: The relative importance of environmental variables in predicting occurrence of common wall lizards *Podarcis muralis*. *The Herpetological Journal*, 35(3), 226–237. <https://doi.org/10.33256/35.3.226237>

Southwood, T. & Henderson, Peter. (2000). Ecological Methods 3rd edition.

Waters, C. M., Orgill, S. E., Melville, G. J., Toole, I. D., & Smith, W. J. (2017). Management of Grazing Intensity in the Semi-Arid Rangelands of Southern Australia : Effects on Soil and Biodiversity. *Land Degradation & Development*, 28(4), 1363–1375. <https://doi.org/10.1002/ldr.2602>

Williams, R. J. (2019). THE INVASION ECOLOGY OF COMMON WALL LIZARD (PODARCIS MURALIS) : POPULATION DYNAMICS, INTERACTIONS AND ADAPTATIONS.

Zimmerman, D. W. (2004). Inflation of Type I Error Rates by Unequal Variances Associated with Parametric, Nonparametric, and Rank-Transformation Tests.

VIII Annexes

Table A.1: Conditions de terrain pour chaque site étudié

Site	Date	Temp. (°C)	Couvert	Vent (km/h)	Temps sur le site (h)
Terril du Bourbier	28/04	9	Ensoleillé	5	10,00
Crèvecœur	29/04	18,3	Ensoleillé	5	8,77
Rochers de Grands-Malades	02/05	19	Légèrement nuageux	5	6,08
Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne	12/05	20	Ensoleillé	15	6,08
Château de Montaigle	13/05	14	Ensoleillé	0	7,20
Rivage et entrepôts de Châtelineau	16/05	13	Ensoleillé	10	7,18
Cour à marchandises de la gare de Poulseur et société	20/05	18,5	Nuageux	8,3	7,50
Merbes-Sprimont					
Citadelle de Namur	26/05	13	Nuageux	20	6,33
Rochers de Freyr	02/06	15	Légèrement nuageux	12,5	7,03
Parc d'activité économique de Tamines	11/06	13	Ensoleillé	5	5,83

Table A.2: Variables de structure de la végétation et du substrat selon les sites.

Site	RDIR (%)	Hauteur de végétation (cm)	Recouvrement de végétation (%)	Hétérogénéité de la hauteur du substrat (cm)
Terril du Bourbier	43,47 ± 18,91	38,10 ± 49,76	69,42 ± 29,63	17,24 ± 9,35 Crèvecœur
37,74 ± 14,17	3,47 ± 4,69	29,50 ± 20,39	12,14 ± 15,34	
Rochers de Grands-Malades	30,53 ± 15,05	6,28 ± 5,94	29,58 ± 22,31	21,20 ± 11,86
Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne	40,15 ± 16,18	5,27 ± 12,38	36,08 ± 27,16	8,84 ± 9,60
Ruines du château de Montaigle	44,27 ± 16,84	6,13 ± 4,29	46,25 ± 25,42	24,91 ± 22,32
Rivage et entrepôts de Châtelimeau	27,96 ± 22,56	2,57 ± 1,84	23,92 ± 27,26	10,27 ± 18,49
Cour à marchandises de la gare de Poulseur et société Merbes-Sprimont	47,66 ± 15,57	19,68 ± 11,64	42,08 ± 28,32	20,16 ± 12,31
Citadelle de Namur	30,45 ± 20,93	10,27 ± 8,18	51,50 ± 32,16	15,20 ± 15,46
Rochers de Freyr	40,44 ± 18,92	15,55 ± 17,43	59,00 ± 31,16	47,50 ± 76,69
Parc d'activité économique de Tamines	51,85 ± 9,29	16,75 ± 10,51	60,92 ± 20,18	14,29 ± 6,58

Table A.3: Recouvrement des différents types de composition de sol selon les sites.

Site	Litière (%)	Substrat artificiel (%)	Substrat continu (%)	Bloc (%)	Gravier (%)	Sable (%)	Sol fin (%)
Terril du Bourbier	12,50 ± 25,63	29,58 ± 37,26	0,00 ± 0,00	14,08 ± 19,29	6,00 ± 7,12	18,67 ± 26,94	18,42 ± 27,33
Crèvecœur	0,00 ± 0,00	1,25 ± 4,33	75,83 ± 28,35	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	15,42 ± 20,61
Rochers des Grands Malades	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	91,67 ± 14,82	0,00 ± 0,00	1,25 ± 4,33	0,00 ± 0,00	7,08 ± 14,84
Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne	6,83 ± 23,67	13,58 ± 26,10	39,00 ± 45,45	0,00 ± 0,00	37,25 ± 41,41	3,33 ± 11,55	0,00 ± 0,00
Ruines du château de Montaigle	0,00 ± 0,00	0,42 ± 1,44	76,25 ± 34,19	1,25 ± 4,33	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	17,50 ± 29,50
Rivage et entrepôts de Châtelineau	6,83 ± 20,10	1,00 ± 1,95	89,67 ± 28,82	0,00 ± 0,00	0,42 ± 1,44	0,00 ± 0,00	2,08 ± 7,22
Cour à marchandises de la gare de Poulseur et société Merbes-Sprimont	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	55,25 ± 22,66	7,08 ± 18,64	0,00 ± 0,00	37,50 ± 15,15
Citadelle de Namur	9,58 ± 10,00	0,42 ± 1,44	64,33 ± 33,56	5,58 ± 15,94	1,92 ± 4,52	0,00 ± 0,00	18,25 ± 23,30
Rochers de Freyr	0,42 ± 1,00	0,83 ± 2,89	53,67 ± 43,16	8,75 ± 14,79	3,42 ± 6,44	2,50 ± 8,66	28,75 ± 30,57
Parc d'activité économique de Tamines	0,00 ± 0,00	4,17 ± 9,96	17,92 ± 12,33	25,00 ± 40,11	25,00 ± 27,55	5,00 ± 11,68	22,92 ± 19,94

Table A.4: Variables représentant la prédation selon les sites.

Site	Queues prédatées (%)	Moyenne et écart-type de la distance à l'abri (cm)	Leurres utilisables (%)	leurres prédatés (%)
Terril du Bourbier	0,00	11,1 ± 21,7	50,00	2,78
Crèvecœur	8,33	72,3 ± 205,8	62,50	8,89
Rochers des Grands Malades	0,00	23,7 ± 50,6	41,67	10,00
Mines et Fonderies de Zinc de la Vieille-Montagne	0,00	23,9 ± 48,5	79,17	3,51
Ruines du château de Montaigle	0,00	34,3 ± 78,2	70,83	23,53
Rivage et entrepôts de Châtelineau	33,33	10,9 ± 21,3	88,89	4,69
Cour à marchan- dises de la gare de Poulseur et société Merbes-Sprimont	25,00	24,1 ± 55,5	76,39	12,73
Citadelle de Namur	16,67	13,3 ± 30,5	48,61	17,14
Rochers de Freyr	8,33	14,0 ± 30,0	43,06	0,00
Parc d'activité économique de Tamines	8,33	31,6 ± 90,1	73,61	11,32