

# BUFO



PRÉFET  
DE LA RÉGION  
GRAND EST

DIRECTION RÉGIONALE  
DE L'ENVIRONNEMENT,  
DE L'AMÉNAGEMENT  
ET DU LOGEMENT  
GRAND EST

## CARACTÉRISATION DES SITES DE REPRODUCTION DU CRAPAUD VERT DANS LE GRAND EST

Vincent CLEMENT<sup>1</sup>

vincent.clement@bufo-alsace.org

### Protocole :

Jean-Pierre VACHER<sup>1</sup> et Vincent CLEMENT<sup>1</sup>

### Collecte des variables sur le terrain :

Aurélie BERNA<sup>1</sup>, Méline BESSON<sup>1</sup>, Aurore LACOMBE<sup>1</sup>, Sandra MARTINET<sup>1</sup> (Bas-Rhin)

Alain FIZESAN<sup>1</sup> et Florian MONGIN<sup>1</sup> (Haut-Rhin)

Quentin MORI<sup>2</sup> et Arthur LEBAS<sup>2</sup> (Moselle)

### Relecteurs :

Damien AUMAÎTRE, Aurélie BERNA, Alain FIZESAN, Quentin MORI

<sup>1</sup> Association BUFO

<sup>2</sup> Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine (CEN Lorraine)

## I. Introduction

Le Crapaud vert (*Bufo viridis*) est une espèce d'intérêt patrimonial fort, inscrite "En Danger" sur les Listes Rouges des espèces menacées aussi bien en Lorraine (Aumaître & Lambrey, 2016) qu'en Alsace (BUFO, 2014). Toutefois, il possède dans notre région Grand Est une écologie complexe et strictement liée à l'activité humaine (Sané et Didier, 2007), ce qui complique les recommandations de gestion à appliquer sur le terrain. Comprendre aussi finement que possible les déterminants environnementaux qui influencent la présence de cette espèce dans un site est un élément crucial pour en assurer une conservation optimale.

La caractérisation des plans d'eau de reproduction pour les amphibiens est l'objet de nombreuses études dans la littérature scientifique. La présente analyse s'appuie notamment sur le cadre méthodologique développé dans les travaux de Riinu Rannap (Rannap *et al.*, 2009, 2010, 2013, 2015) sur les communautés d'amphibiens d'Europe du Nord, et particulièrement ceux touchant aux habitats de reproduction du Crapaud calamite (*Epidalea calamita*), une espèce proche du Crapaud vert en termes d'exigences écologiques.

L'objectif de cette étude est de parvenir à une description satisfaisante des éléments nécessaires à l'optimisation des mesures de conservation des plans d'eau à Crapaud vert afin de pérenniser les populations existantes et de favoriser leur dynamique. Afin de garantir le futur de l'espèce en France métropolitaine, il est important d'être en mesure d'indiquer quelles sont les caractéristiques à intégrer dans les préconisations d'aménagement de plans d'eau, et idéalement de fournir un plan coté de la "mare idéale". Nous nous proposons donc de déterminer par le biais de modèles statistiques l'effet de variables environnementales sur différents aspects de l'utilisation des sites aquatiques par le Crapaud vert :

- l'attractivité reproductrice (quels sont les déterminants environnementaux qui favorisent un recrutement optimal au sein des populations) ;
- l'abondance (quels sont les déterminants environnementaux qui favorisent les plus grands effectifs, et donc une forte dynamique de population).

## II. Matériel et méthodes

### 1. Aire d'étude et échantillonnage

Le territoire concerné par l'étude recouvre trois départements du Grand Est (la Moselle, le Bas-Rhin et le Haut-Rhin), et est restreint aux zones de présence du Crapaud Vert dans la région. Celles-ci peuvent se résumer grossièrement à trois noyaux (centre Haut-Rhin, centre Bas-Rhin et nord Moselle) visibles sur la figure 1.

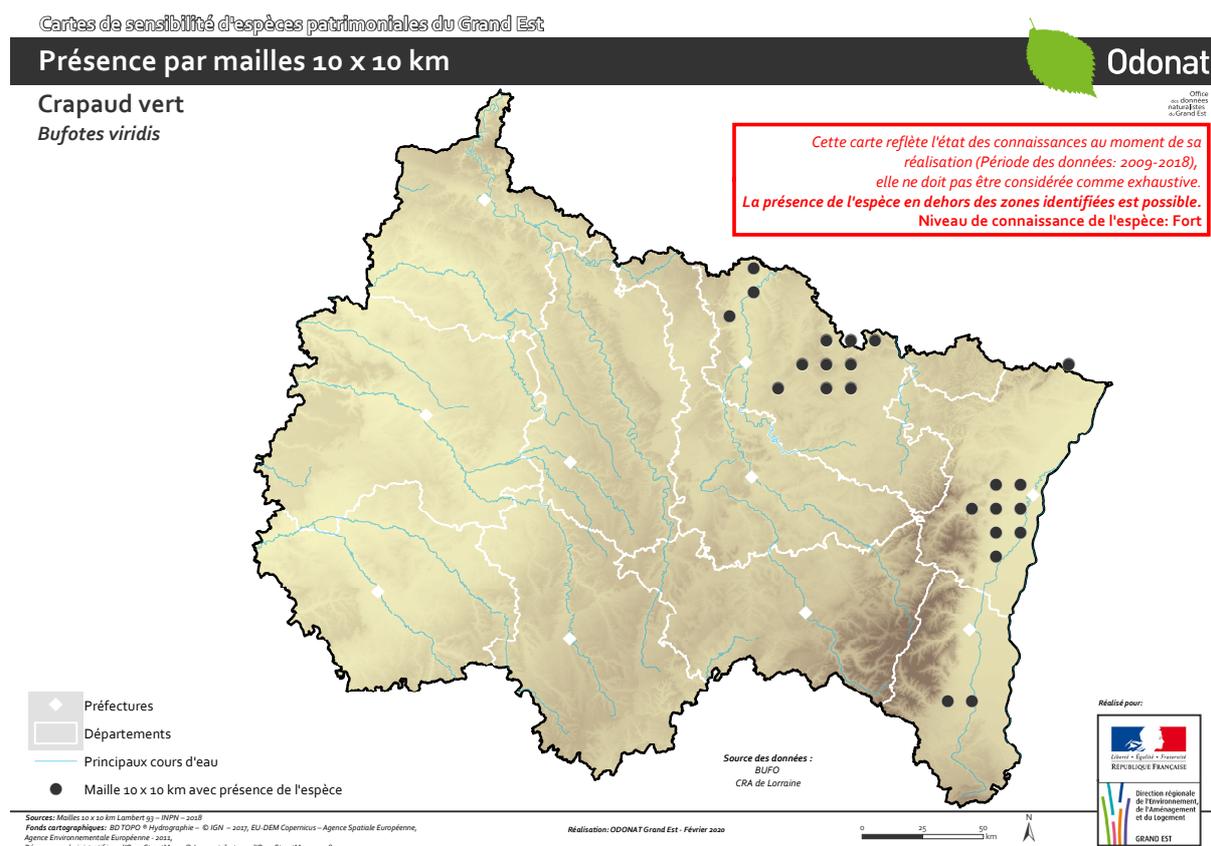


Figure 1 : carte de répartition du Crapaud vert dans la région Grand Est (réalisation ODONAT Grand Est)

Afin d'obtenir un échantillon suffisant duquel obtenir des résultats statistiques fiables, une grande portion des sites déjà suivis par les différentes structures impliquées dans cette étude a été incorporée à l'analyse, malgré un protocole de prise de variables sur le terrain très chronophage. L'échantillon se porte donc à 133 plans d'eau : 60 dans le Bas-Rhin, 59 en Moselle et 14 dans le Haut-Rhin. Chaque site a été visité entre une et cinq fois du mois d'avril au mois de juin afin d'y comptabiliser l'effectif le plus haut de Crapauds verts (comptage à vue nocturne à la lampe torche), ainsi que d'y chercher des indices de reproduction strictes (pontes, têtards ou imagos, de nuit ou de jour) ou probables (amplexus). L'effectif constitue

notre variable réponse d'abondance, et la présence ou l'absence de reproduction constitue notre variable réponse d'attractivité reproductrice.

## 2. Choix des variables

Les variables environnementales d'intérêt pour les sites de reproduction des amphibiens sont globalement bien connues (Boissinot *et al.*, 2019; Couto *et al.*, 2017; Joly *et al.*, 2001; Nyström *et al.*, 2002; Oldham *et al.*, 2000; Rannap *et al.*, 2009, 2010). Toutefois, les variables déterminantes ne sont pas les mêmes selon les espèces (Stumpel & Voet, 1998). À partir d'une analyse préliminaire sur le jeu de données alsacien par l'association BUFO, mais également grâce au corpus de littérature scientifique précité et aux connaissances accumulées sur le terrain, une liste de variables à mesurer sur place ou par le biais d'un logiciel de SIG a été définie (cf. table 1). Pour plus de détail, se référer à la note produite préalablement à cette étude (Vacher & Clément, 2021).

Tableau 1 : Variables mesurées pour la caractérisation des habitats aquatiques du Crapaud vert dans le Grand Est, résultat des analyses univariées. Pour les variables qualitatives, la direction de l'effet ainsi que la p-value est donnée selon le dernier niveau.

Variable	Description de la variable	Reproduction		Abondance	
		p	Effet	p	Effet
<b>Surface</b>	Surface de la mare en m <sup>2</sup> , SIG ou à partir d'une trace GPS prise sur le terrain	0.487	↗	0.013	↗
<b>Pente</b>	Moyenne de la pente des berges mesurée aux quatre points cardinaux	0.040	↘	0.587	↘
<b>Eau peu profonde</b>	Largeur moyenne de la zone ne dépassant pas 30 cm de profondeur mesurée aux quatre points cardinaux	0.344	↗	0.308	↗
<b>Turbidité</b>	Visibilité d'un disque de Secchi posé sur le fond dans la zone en eau peu profonde en retirant la végétation flottante si nécessaire (invisible, trouble, visible)	0.336	↘	0.298	↘

<b>Algues</b>	Classe de recouvrement par les algues filamenteuses (pas de 25%)	0.805		0.397	
<b>Hygrophytes immergées</b>	Classe de recouvrement de la mare par les hygrophytes (pas de 25%)	0.199		0.302	
<b>Hélophytes hautes</b>	Pourcentage de recouvrement des berges par les hélophytes de plus d'un mètre	0.466		0.184	
<b>Hélophytes basses</b>	Pourcentage de recouvrement des berges par les hélophytes de moins d'un mètre	0.779		0.581	
<b>Ligneux</b>	Pourcentage de recouvrement des berges par les ligneux sur une bande d'un mètre de part et d'autre du niveau d'eau	0.001		0.010	
<b>Prédateurs</b>	Présence ou absence de poissons, écrevisses...	-	-	-	-
<b>Densité de zones ouvertes</b>	Pourcentage de zone ouverte dans un rayon de 100m ou 500m autour du plan d'eau	0.022		0.083	
<b>Distance</b>	Distance au plan d'eau occupé le plus proche	0.100		0.413	

Les variables paysagères ont été mises au point grâce au logiciel QGIS 3.10.11. La caractérisation fine des zones ouvertes a été possible grâce à différentes couches vectorielles : la Base de données d'Occupation du Sol CIGAL v2 (2012), CORINE Land Cover (2018) et la BD TOPO® (2021). Ont été considérés comme milieux ouverts : les zones d'exploitation de carrières, gravières et sablières, les chantiers et remblais, les friches minières (terrils), les cimetières, les cultures (y compris vignes, vergers et houblonnières), les jardins ouvriers, les prairies.

La distance au plan d'eau occupé le plus proche a été obtenue grâce à la création d'une couche SIG de sites de reproduction avérée mise au point à partir de la base de données de BUFO. Le Crapaud vert étant une espèce pionnière, les sites de reproduction connus sont

souvent temporaires et changent régulièrement, il faut donc entendre le plan d'eau occupé le plus proche comme une mare ayant permis la reproduction du Crapaud vert au moins une fois entre 2017 et 2021, cinq années pouvant être considérées comme le temps de génération de l'espèce (Altunışık *et al.*, 2020). Les plans d'eau occupés retenus pour l'analyse sont donc au nombre de 181 dans le Grand Est.

### 3. Analyses statistiques

#### a) Préparation des données

Un biais régulier en modélisation spatiale est que les entités biologiques proches les unes des autres ont tendance à partager plus de caractéristiques qu'avec les entités plus éloignées (Tobler, 1970; Miller, 2004). La modélisation envisagée nécessite que les mesures prises à différents endroits soient indépendantes les unes des autres, mais ce n'est souvent pas le cas (Legendre, 1993; Overmars *et al.*, 2003). Nous avons donc utilisé l'Index de Moran afin de tester une éventuelle autocorrélation spatiale.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel R (2020). Nous avons commencé par réaliser un test de corrélation afin d'écarter d'éventuelles variables trop fortement corrélées ( $|r| > 0,7$ ). Lorsque nécessaire, les variables quantitatives ont été transformées afin d'approcher une distribution normale, dès lors les analyses ont utilisé des valeurs centrées réduites après transformation logarithmique des valeurs brutes.

#### b) Modélisation de l'habitat aquatique

Pour déterminer les caractéristiques déterminantes pour que le Crapaud vert se reproduise dans le plan d'eau, des régressions logistiques ont été utilisées, avec une réponse binaire (présence ou absence de reproduction, distribution binomiale). Toutes les variables pour lesquelles la p-value était inférieure au seuil  $\alpha = 0,15$  ont été retenues pour la construction d'un modèle linéaire généralisé (GLM), ceci dans le but de conserver des variables qui pourraient gagner en significativité une fois combinées à d'autres variables. Une procédure de sélection de modèle a ensuite été entamée grâce à la fonction stepAIC du package MASS (Venables & Ripley, 2002). Les modèles en deçà d'une différence de score AIC

de 2 ont ensuite été sélectionnés sur la base de la fonction dropterm issue du même package ainsi que du pourcentage de déviance expliquée.

Une procédure similaire a été utilisée pour déterminer les caractéristiques déterminantes pour que le Crapaud vert jouisse d'une bonne dynamique de population, à la différence que la variable réponse étant cette fois-ci un comptage, la distribution choisie pour créer les modèles a été celle de quasiPoisson (où la variance est fonction linéaire de la moyenne).

### III. Résultats

#### 1. Préparation des données

L'indice de Moran a été calculé à partir de la variable réponse d'abondance. Un indice de -1 ou +1 indique respectivement une dispersion parfaite (répulsion des valeurs similaires) ou un regroupement des valeurs similaires. Un indice de 0 indique une indépendance parfaite des valeurs. Le test statistique de Moran sur notre jeu de données indique un indice de 0,06, avec une p-value de

0,05059 qui ne nous permet pas de rejeter l'hypothèse nulle que nos données sont spatialement indépendantes. Les mares de l'étude recouvrant trois départements, ce résultat n'est pas étonnant. La figure 2 illustre cette mesure de l'autocorrélation spatiale à différentes

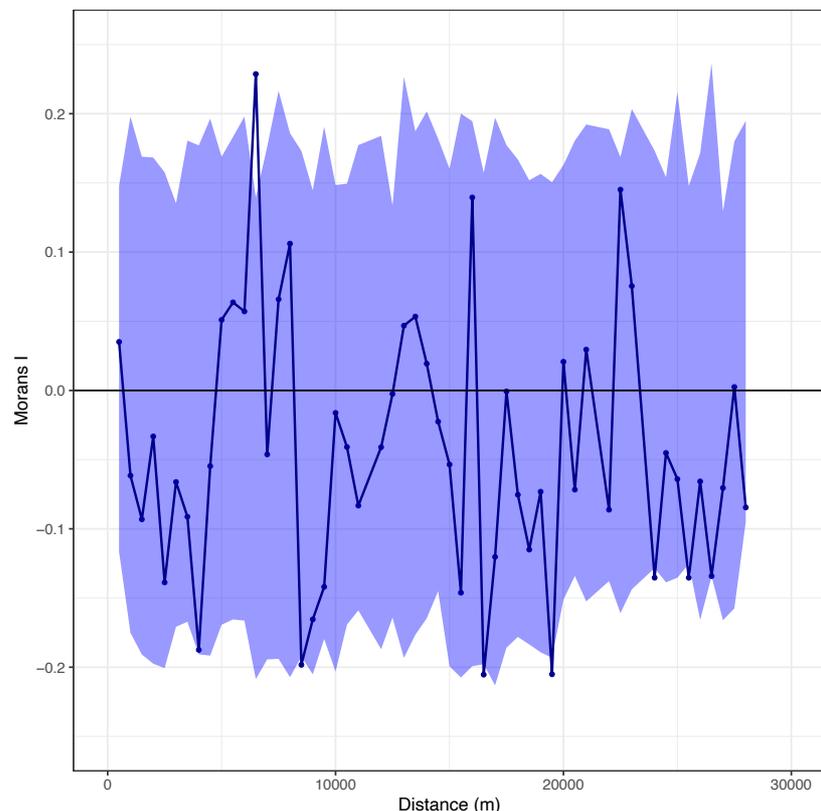


Figure 2 : Corrélogramme représentant l'indice de Moran en fonction de la distance (pas de 500m). La zone en violet correspond à l'intervalle de confiance fixé à 95%.

échelles de distance : nos données étant jugées suffisamment indépendantes, il n'est pas besoin de réduire l'échantillon en créant des clusters.

Le test de corrélation nous a permis de voir que les densités de milieux ouverts aux deux zones tampons (100m et 500m) sont positivement corrélées ( $r = 0,866$ ) lorsque les données sont transformées. Les analyses univariées seront tout de même conduites sur les deux zones tampons, mais seule la variable la plus significative sera conservée pour la construction du modèle.

Il est à noter que seules deux mares sur les 133 inventoriées abritaient des prédateurs : cette variable n'a donc pas été retenue, les données disponibles n'étant pas en mesure d'éclairer la relation entretenue avec nos variables réponses.

## 2. Modélisation de l'habitat aquatique

### a) Reproduction du Crapaud vert

L'analyse univariée est résumée dans le tableau 1. La direction des effets des variables n'a pas changé entre les analyses univariées et les modèles. Par la suite, deux analyses distinctes ont été réalisées dans le but de les comparer : un cas où la variable réponse était la reproduction stricte avérée (41 mares), et l'autre où la variable réponse était la reproduction stricte ou potentielle (incluant l'observation d'amplexus, 55 mares). Dans le premier cas, la procédure de sélection du GLM n'a permis de mettre en évidence qu'une seule variable d'importance pour prédire la probabilité de reproduction du Crapaud vert : le pourcentage de recouvrement des berges par les ligneux (*Ligneux*). Dans le second cas, cette même variable a été retenue accompagnée d'une seconde variable : la moyenne de la pente des berges mesurée aux quatre points cardinaux (*Pente*). Ces résultats sont résumés dans le tableau 2 et la figure 3. Les régressions logistiques ont également permis de mettre en évidence un effet positif de la densité de milieux ouverts dans une zone tampon de 100 mètres autour de la mare ( $p < 0.05$ , tableau 1, fig. 3C).

Tableau 2 : Résumés des modèles issus de la procédure de sélection, avec la reproduction stricte (Repro), et la reproduction stricte et probable (Repro\_amplexus) comme variables réponse. CI : intervalle de confiance.

Predictors	Repro				Repro_amplexus			
	Odds Ratios	std. Error	CI	p	Odds Ratios	std. Error	CI	p
Ligneux	0.64	0.13	0.42 – 0.94	<b>0.030</b>	0.98	0.01	0.96 – 0.99	<b>0.006</b>
Pente					0.98	0.01	0.95 – 1.00	0.099
Observations	133				133			
R <sup>2</sup> Tjur	0.036				0.109			

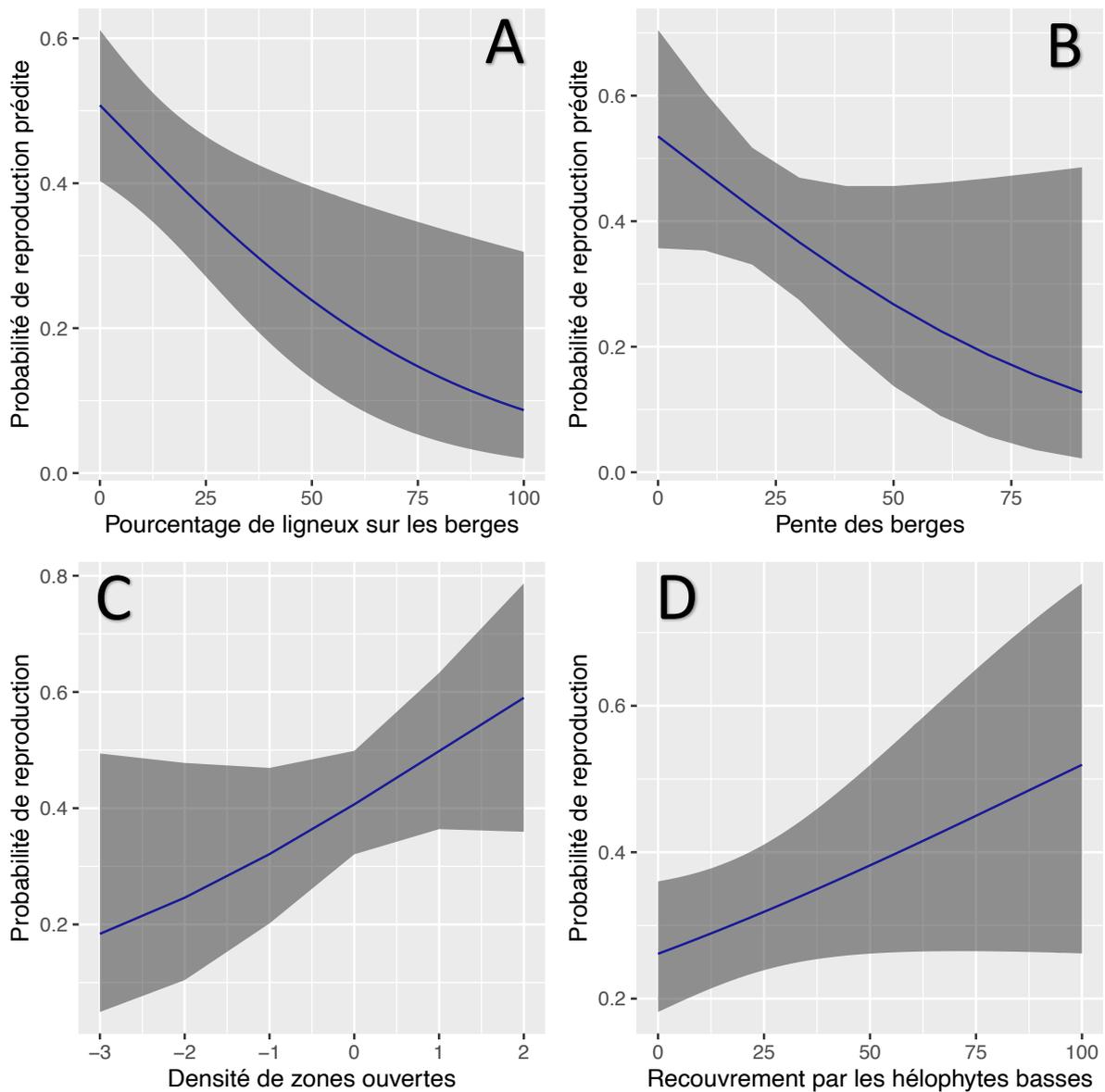


Figure 3 : Influence du recouvrement des berges par les ligneux (A) et de la moyenne de la pente des berges (B) sur la probabilité de reproduction prédite par le meilleur modèle (repro+amplexus) ; influence de la densité de zones ouvertes dans un rayon de 100m autour des mares (C, valeur centrée réduite) et du recouvrement des berges par les hélophytes de moins d'un mètre (D) sur la probabilité de reproduction du Crapaud vert. Les zones grisées représentent l'intervalle de confiance fixé à 95%.

## b) Abondance du Crapaud vert

L'analyse univariée est résumée dans le tableau 1. La direction des effets des variables n'a pas changé entre les analyses univariées et les modèles. La procédure de sélection du GLM a permis de mettre en évidence cinq variables d'importance pour la dynamique de population du Crapaud vert : le pourcentage de recouvrement des berges par les ligneux (*Ligneux*), la surface de la mare (*Surface*), le recouvrement de la mare par les hydrophytes (*Hygro\_immerge*), la densité de zone ouverte dans un rayon de 100 mètres autour de la mare (*Ouvert\_100*), et la distance au plan d'eau occupé le plus proche (*Distance*). Ces résultats sont résumés dans le tableau 3 et la figure 4. Les régressions de Poisson ont également mis en évidence un effet non négligeable du recouvrement de la mare par les algues (significatif pour les deux premiers niveaux, fig. 4F).

Tableau 3 : Résumé du modèle issu de la procédure de sélection avec les effectifs de Crapaud vert comme variable réponse. CI : intervalle de confiance.

<i>Predictors</i>	<b>Effectif de Crapauds verts</b>			
	<i>Incidence Rate Ratios</i>	<i>std. Error</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
Surface	1.70	0.07	1.58 – 1.84	<b>&lt;0.001</b>
Ligneux	0.60	0.03	0.53 – 0.67	<b>&lt;0.001</b>
Hygro_immerge [25]	1.51	0.16	1.23 – 1.86	<b>&lt;0.001</b>
Hygro_immerge [50]	4.31	0.46	3.48 – 5.29	<b>&lt;0.001</b>
Hygro_immerge [75]	1.00	0.15	0.73 – 1.34	0.989
Hygro_immerge [100]	0.36	0.10	0.20 – 0.60	<b>&lt;0.001</b>
Ouvert_100	1.10	0.06	0.99 – 1.23	0.076
Distance	0.83	0.04	0.75 – 0.90	<b>&lt;0.001</b>
Observations	131			
R <sup>2</sup> Nagelkerke	0.986			

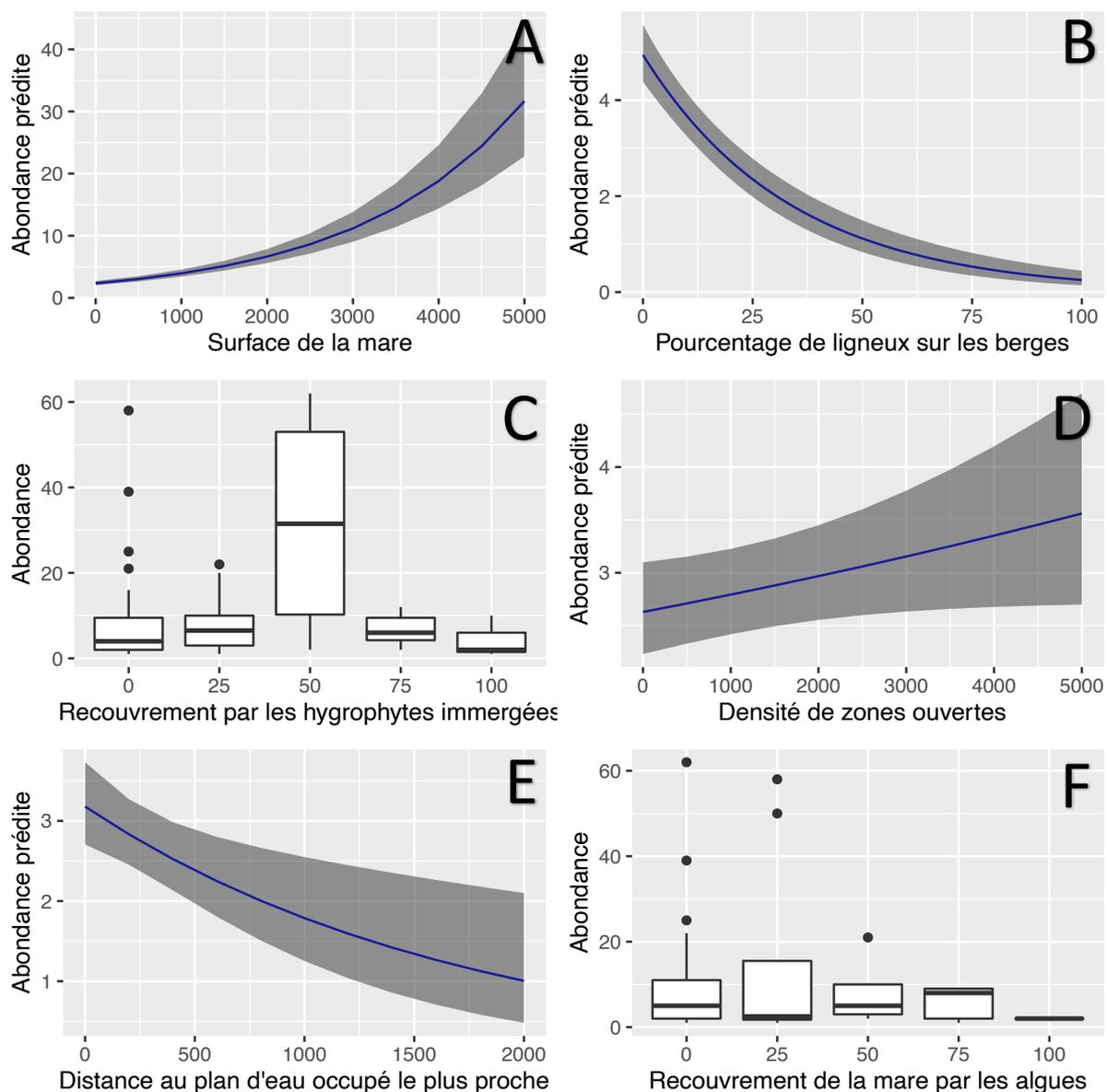


Figure 4 : Influence de la surface de la mare (A), du recouvrement des berges par les ligneux (B), de la densité de milieux ouverts dans un rayon de 500m autour des mares (D) et de la distance au plan d'eau occupé le plus proche dans les cinq dernières années (E) sur l'abondance de Crapaud vert selon les prédictions du meilleur modèle ; influence du recouvrement de la mare par les hygrophytes immergées (C) et par les algues (F) sur l'abondance observée de Crapaud vert. Les zones grisées représentent l'intervalle de confiance fixé à 95%.

## IV. Discussion

### 1. Reproduction du Crapaud vert

La probabilité que le Crapaud vert se reproduise dans un plan d'eau semble avant tout influencée par le recouvrement des berges par les ligneux, tombant à moins de 10% si la mare s'est complètement refermée (fig. 3A). La pente des berges est un facteur important

également, toutefois le peu de mares avec un angle dépassant 45° (8 sur les 133 unités d'échantillonnage) se traduit par un intervalle de confiance très large une fois dépassé les 50° (fig. 3B). On peut tout de même s'attendre à ce que des pentes de berge inférieures à 30° aient un effet bénéfique sur le taux de recrutement du Crapaud vert, notamment en formant une place de chant favorable pour les mâles, ou en facilitant la sortie de l'eau des imagos lors de la métamorphose.

Cette dernière observation est particulièrement valide pour les sites de reproduction correspondant à des bassins bâchés, dont le géotextile utilisé peut chauffer au soleil et accélérer la dessiccation des individus en pleine ascension diurne, ou s'avérer trop glissant pour permettre la remontée des anoues si la pente de berge est trop raide. La création d'une mare bâchée doit idéalement rester la solution "de secours" dans le cas où le creusement d'une mare naturelle n'est pas envisageable. Quelle que soit la pente de la berge, il faudra alors prévoir la mise en place d'un système échappatoire qui permette aux amphibiens de sortir de la mare en évitant la bâche, ou si le contexte le permet recouvrir la bâche de gravier sur les bords de la mare.

L'effet significativement positif de la densité de zones ouvertes à proximité des plans d'eau (fig. 3C) est tout à fait cohérent avec les préférences écologiques terrestres du Crapaud vert (Muzzolini, 2010). L'accès aux sites de reproduction est d'autant plus facilité que des connexions existent entre les habitats terrestres et aquatiques, ainsi qu'entre les mares elles-mêmes. L'effet négatif (bien que non significatif, cf. tableau 1) associé à la distance au plan d'eau occupé le plus proche va dans ce sens également : plus elle augmente, plus les chances qu'un site aquatique voit le Crapaud vert s'y reproduire diminuent.

L'effet positif du recouvrement des berges par les héliophytes basses est lui plus difficile à interpréter. Il est peu significatif et l'on peut voir que l'intervalle de confiance ne garantit pas une relation réellement linéaire entre la reproduction du Crapaud vert et les héliophytes basses (fig. 3D). Il est surtout frappant de remarquer qu'il s'agit là de la seule variable à présenter un effet positif sur la reproduction, mais négatif pour l'abondance (tableau 1). Il est possible qu'en quantité raisonnable, c'est-à-dire n'empiétant pas encore sur le caractère pionnier de la mare, les héliophytes basses procurent une protection contre certains prédateurs. Tous les autres types de végétation (héliophytes hautes, hygrophytes immergées, algues filamenteuses et ligneux) sont négativement associés à la probabilité de reproduction

du Crapaud vert, et seules les hélrophytes basses ne semblent pas plaider en la faveur d'un sol nu sur les berges.

La surface totale de la mare et la largeur moyenne de la zone d'eau peu profonde ont un effet positif sur la probabilité de reproduction (tableau 1). La préférence écologique du Crapaud vert pour les milieux à caractère pionnier l'amène logiquement à s'accommoder de milieux peu profonds, néanmoins la survie des têtards est mise en péril par le risque accru d'assèchement de ces zones. Si la mare est grande, le risque d'assèchement complet est moindre, et la zone en eau peu profonde opère simplement un glissement vers les zones intérieures, initialement plus profondes, refuges pour le maintien des larves.

## 2) Abondance du Crapaud vert

La variable qui semble avoir le plus de poids dans le modèle final est la surface de la mare (tableau 3). En effet, même bâchées, les mares les plus grandes sont celles qui stimuleront a priori la meilleure dynamique de population. On peut y voir un effet de la pérennité au long terme de telles mares, qui sont moins sujettes à l'assèchement complet les années de sécheresse et ne voient donc pas d'années nulles pour le recrutement de nouveaux individus ; on peut également rappeler que les mares plus petites changent de stade de végétation plus rapidement, et que conserver leur caractère pionnier appelle à des mesures correctives plus régulières, et donc à un coût d'entretien plus grand.

Tout comme pour la probabilité de reproduction, le recouvrement des berges par les ligneux est très négativement associé à l'abondance des Crapauds verts. Cette observation peut être complétée par l'importance des zones ouvertes dans un rayon plus large autour des mares (fig. 4D). Si cela vient confirmer le caractère pionnier de l'espèce, on peut toutefois s'interroger sur l'effet de la végétation aquatique : les forts pourcentages sont logiquement corrélés à une très faible abondance, mais un pic d'effet positif est observé autour de 50% de recouvrement pour les hygrophytes immergées (tableau 3, fig. 4C) et à 25% pour le recouvrement par les algues filamenteuses (fig. 4F). On peut supposer que la présence d'algues en très faible quantité est négligeable sur l'abondance du Crapaud vert, et que l'effet négatif ne survient qu'après une colonisation de la mare par les algues au-delà du seuil de

25%. Les hygrophytes immergées quant à elles semblent avoir un net effet positif lorsqu'elles recouvrent environ la moitié de la mare, supérieur à l'abondance attendue si elles étaient complètement absentes. Cet effet quadratique plutôt surprenant pourrait s'expliquer par le fait qu'une quantité raisonnable de végétation aquatique peut servir tout à la fois de support de ponte et d'abri contre les prédateurs pour les larves.

La distance au plan d'eau occupé le plus proche (fig. 4E) appelle à porter une attention toute particulière à la connectivité des sites de reproduction entre eux, et donc au degré de fragmentation des habitats. Les individus qui dispersent ont besoin de caractéristiques paysagères adaptées (des milieux terrestres ouverts) mais leur succès de colonisation dépendra également de la disponibilité des habitats aquatiques : leur densité, la distance de migration nécessaire pour les atteindre (Marsh & Trenham, 2001 ; Mazerolle *et al.*, 2005).

On notera que la modélisation n'a jamais fait ressortir la largeur de la zone d'eau peu profonde comme une variable influençant l'abondance -ou la reproduction- du Crapaud vert. L'effet positif observé dans les deux cas lors de l'analyse univariée (tableau 1) n'est pas significatif non plus ( $p > 0.5$ ). Si l'on pouvait supposer que cette zone serait préférée pour le dépôt des pontes, son importance est à nuancer, car cette hypothèse ne trouve écho ni avec la probabilité de reproduction, ni avec les effectifs de Crapaud vert. Il est possible que la limite de profondeur de 30 cm considérée dans cette étude ne soit pas idéale. D'autres tests pourront être réalisés à l'avenir en considérant par exemple une limite de profondeur de 50 cm.

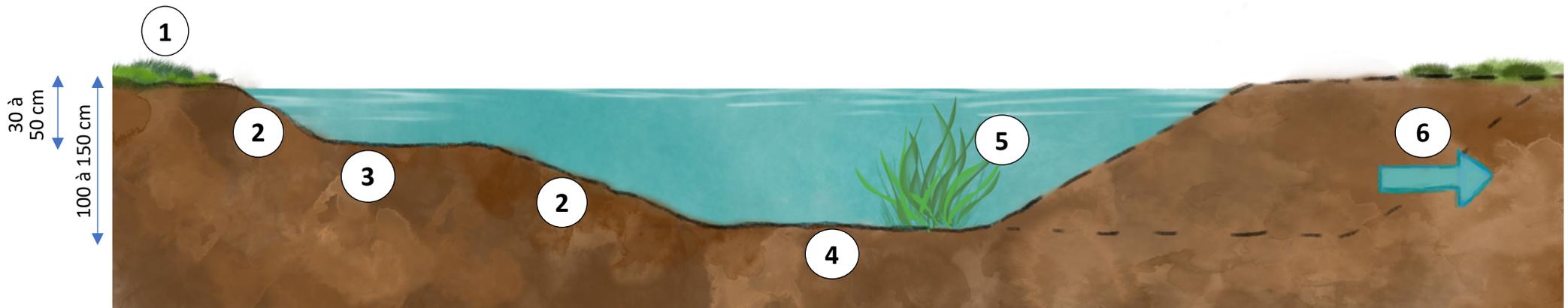
### 3. Conclusion

À l'aune de ces résultats, il nous est possible d'esquisser le profil d'une mare idéale pour le Crapaud vert. Les caractéristiques principales sont résumées dans le tableau ci-après, et synthétisées dans un plan coupe (fig. 5).

Tableau 4 : Récapitulatif des caractéristiques d'une mare favorable au Crapaud vert.

<b>Profil de la mare</b>	Surface	<b>Aussi grande que le terrain à disposition le permet</b> ; prévoir un minimum de 25 m <sup>2</sup> afin d'assurer une pente douce et une profondeur suffisantes.
	Pente des berges	<b>Pentes douces, comprises entre 20° et 30°</b> (valable également pour les pentes sous l'eau, à l'intérieur de la mare).
	Palier peu profond	Une zone d'eau peu profonde d'environ 1 m de largeur, idéalement sur tout le pourtour de la mare, entre 30 et 50 cm de profondeur (optionnel).
	Profondeur maximale	Après le premier palier, une pente douce plongeant jusqu'à <b>une profondeur de 100 à 150 cm</b> afin de maximiser les chances de rétention d'eau dans la mare, en particulier lors d'années peu pluvieuses.
	Matériau	<b>Mare creusée avec mise en eau naturelle.</b> Si seule une mare bâchée est possible : <b>la recouvrir de gravier/galets</b> pour mieux l'intégrer dans le paysage, faciliter le déplacement des amphibiens et créer des refuges pour les larves. Dans le cas d'une bâche trop apparente et donc fortement exposée au soleil, <b>prévoir un système échappatoire</b> pour limiter le contact direct entre la bâche et la peau sensible des amphibiens juvéniles.
<b>Végétation</b>	Berges	<b>Végétation minimale</b> , avec une tolérance pour un recouvrement herbacé, ou des héliophytes de moins d'un mètre sur une portion ne dépassant pas la moitié du linéaire de berges. <b>Aucun ligneux.</b>
	Lame d'eau	<b>Algues filamenteuses absentes</b> ou en deçà du seuil de 25% de recouvrement de la mare. <b>Hygrophytes immergées en faible densité</b> (50% maximum de la surface de la mare).
<b>Contexte paysager</b>	Milieus ouverts	S'assurer d'une <b>présence aussi large que possible de milieux ouverts dans un rayon de 500 m</b> autour de la mare.
	Connectivité	Idéalement, présence <b>d'autres plans d'eau favorables dans un rayon de 500 m</b> autour de la mare, en tenant compte du <b>degré de fragmentation des habitats terrestres</b> qui les connectent.
<b>Gestion conservatoire</b>	Entretien	Un <b>entretien régulier</b> (périodicité dépendante du contexte, mais plus fréquente sur les petites mares) devra être assuré afin de rajeunir le milieu lorsque nécessaire (maintenir les abords de la mare ouverts, curer le fond pour éviter son atterrissement ou la prolifération de la végétation aquatique...). Privilégier ces interventions uniquement de mi-octobre à mi-février.
	Suivi écologique des aménagements	Un <b>suivi régulier</b> à la fois des aménagements et de la population locale de Crapaud vert doit être mis en place afin de s'assurer de la bonne fonctionnalité de la mare créée, et permettre le cas échéant <b>l'implémentation de mesures correctives.</b>

Figure 5 : Schéma en vue latérale d'une mare favorable au Crapaud vert (réalisation : Ségolène ANTOINE-HOUY).



- 1 Berges nues à faiblement végétalisées (recouvrement herbacé, ou hélrophytes basses sur moins de 50 % du linéaire de berge). Les ligneux devront être systématiquement arrachés ou fauchés lorsqu'encore jeunes.
- 2 Pentes douces, comprises entre 20° et 30° ; aucune pente de la mare, même sous l'eau au moment du creusement, ne devra excéder 30°.
- 3 Palier peu profond, d'une largeur minimum d'un mètre, afin de favoriser une zone de ponte (optionnel).
- 4 Profondeur maximale permettant la mise en eau en cas de sécheresse estivale.
- 5 Recouvrement par les hygrophytes immergées sur 50% maximum de la surface de la mare. Développement des algues filamenteuses maintenu à un minimum. Pas de poisson.
- 6 En fonction du contexte paysager et du terrain disponible, privilégier de grandes mares plutôt que de petites surfaces. La surface minimum devra être de 25 m<sup>2</sup> afin de garantir conjointement la pente douce et la profondeur maximale.

## V. Références

- Altunışık, A, Gül, S, Özdemir, N. Impact of various ecological parameters on the life-history characteristics of *Bufo viridis sitibundus* from Turkey. *Anat Rec.* 2021; 304: 1745– 1758.
- Aumaître D. & Lambrey J. (Coord.), 2016. Liste rouge des amphibiens et reptiles de Lorraine. UICN, DREAL Lorraine. Nancy, 24 p.
- Boissinot, A., Besnard, A. et Lourdais, O. (2019). Amphibian diversity in farmlands: Combined influences of breeding-site and landscape attributes in western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 269:51–61.
- BUFO, 2014. La Liste rouge des Amphibiens menacés en Alsace. BUFO, ODONAT.
- Couto, A. P., Ferreira, E., Torres, R. T. et Fonseca, C. (2017). Local and landscape drivers of pond-breeding amphibian diversity at the northern edge of the Mediterranean. *Herpetologica*, 73(1):10–17.
- Joly, P., Miaud, C., Lehmann, A. et Grolet, O. (2001). Habitat matrix effects on pond occupancy in newts. *Conservation Biology*, 15(1):239–248.
- Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, 74(6):1659-1673.
- Marsh, D. M. and Trenham, P. C. (2001). Metapopulation dynamics and amphibian conservation. *Conservation Biology*, 15:40–49.
- Mazerolle, M. J., Desrochers, A., and Rochefort, L. (2005). Landscape characteristics influence pond occupancy by frogs after accounting for detectability. *Ecological Applications*, 15:824–834.
- Miller, H. J. (2004). Tobler's first law and spatial analysis. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(2):284–289.
- Muzzolini C, 2010. Rapport de Master 2 : Caractérisation des habitats terrestres et aquatiques de *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) et *Bufo calamita* (Laurenti, 1768). Utilisation de l'espace, rythme d'activité et interaction entre ces deux espèces dans une logique de conservation de *B. viridis*, 55 p + annexes.
- Nyström, P., Birkedal, L., Dahlberg, C. et Brönmark, C. (2002). The declining spadefoot toad *Pelobates fuscus*: calling site choice and conservation. *Ecography*, 25(4):488–498.
- Oldham, R., Keeble, J., Swan, M. et Jeffcote, M. (2000). Evaluating the suitability of habitat for the great crested newt (*Triturus cristatus*). *Herpetological Journal*, 10:143–155.

- Overmars, K. P., Koning, G. H. D., and Veldkamp, A. (2003). Spatial autocorrelation in multiscale land use models. *Ecological Modelling*, 164:257–270.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rannap, R., Kaart, T., Iversen, L. L., De Vries, W. et Briggs, L. (2015). Geographically varying habitat characteristics of a wide-ranging amphibian, the common spadefoot toad (*Pelobates fuscus*), in Northern Europe. *Herpetological Conservation and Biology*, 10(3):904–916.
- Rannap, R., Lõhmus, A. et Briggs, L. (2009). Niche position, but not niche breadth, differs in two coexisting amphibians having contrasting trends in Europe. *Diversity and Distributions*, 15(4):692–700.
- Rannap, R., Lõhmus, A. et Briggs, L. (2010). Restoring ponds for amphibians: a success story. In Oertli, B., Cérèghino, R., Biggs, J., Declerck, S., Hull, A. et Miracle, M., éditeurs : *Pond Conservation in Europe SE - 20*, volume 210 de *Developments in Hydrobiology 210*, pages 243–251. Springer Netherlands.
- Rannap, R., Markus, M. et Kaart, T. (2013). Habitat use of the common spadefoot toad (*Pelobates fuscus*) in Estonia. *Amphibia-Reptilia*, 34(1):51–62.
- Sané, F. et Didier, S. (2007). Typologie des sites de reproduction du crapaud vert (*Bufo viridis* Laurenti, 1768) en Alsace. *Ciconia*, 31(1):19–28.
- Stumpel, A. H. et Voet, H. v. d. (1998). Characterizing the suitability of new ponds for amphibians. *Amphibia-Reptilia*, 19(2):125 – 142.
- Tobler, W. R. (1970). *Spectral analysis of spatial series*. Library Photographic Service, U. of California.
- Vacher, J.-P. et Clément V. (2021). Proposition de protocole pour la récolte de variables sur les sites de reproduction du Crapaud vert dans le Grand Est. BUFO, 7p.