2010 - 2011

CONTRIBUTION A LA BIOLOGIE DE LA CONSERVATION DU SONNEUR A VENTRE JAUNE (*BOMBINA VARIEGATA*) EN ALSACE:

CARACTERISATION ECOLOGIQUE DE SON HABITAT ET CONDITION CORPORELLE

Mémoire de stage présenté par :

Chloé RENOUX

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

BUFO

Master 2 Vie et Santé
Spécialité Ecophysiologie et Ethologie
Université de Strasbourg

Association BUFO
Encadrant : **Jean-Pierre Vacher**
Co-encadrant : **Victoria Michel**

REMERCIEMENTS

Je voudrais témoigner toute ma gratitude à Jean-Pierre Vacher, qui m'a donné l'opportunité de faire ce stage qui m'a beaucoup apporté. Je tiens aussi à le remercier pour sa patience, et pour toutes les connaissances qu'il m'a apporté, aussi bien dans le domaine scientifiques que dans les autres.

Je tiens à adresser toute ma reconnaissance à Victoria Michel, pour tout ce qu'elle m'a appris, pour tout ses conseils tout au long du stage et bien sur aussi pour sa bonne humeur et son soutien.

Merci à tout ceux qui ont participé de près ou de loin à ce stage, à ceux qui m'ont accompagné sur le terrain, je pense notamment à Gaël Fellet et Constant Hoff, et ceux qui m'ont aidé pour les statistiques, comme Frédéric Bertrand.

Je voudrais aussi remercier ceux qui ont partagé cette expérience au quotidien avec moi : Cindy Gérard, Marion Bailleul et David Marlien. Merci pour votre soutien les copains !

Je tiens également à remercier les personnes du 3ème étage de la maison des association. Pour leur gentillesse, et pour leur bonne humeur tous les midis.

Un grand merci à toute la promotion du Master « Ecophysiologie et Ethologie » de l'année 2010-2011, pour m'avoir accueilli à bras ouverts cette année, et pour m'avoir fait partager tant de bons moments en votre compagnie.

Merci à ma colocataire, Hélène Birot, sans qui cette année aurait été bien terne. Merci à Caroline Mourrut colocataire d'un temps, qui est toujours de bons conseils et de bons petits plats! Merci à vous deux pour votre soutien, et vos rires.

Merci à David, à toi qui a su être là pour moi tout au long de cette année.

TABLE DES MATIERES

PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : BUFO 1

INTRODUCTION 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES 6

MODÈLE BIOLOGIQUE 6

ZONE D'ÉTUDE 7

PROTOCOLES 7

- *Caractérisation écologique 7*
- *Condition corporelle 9*

ANALYSES ET TESTS STATISTIQUES 9

- *Caractérisation écologique 9*
- *Condition corporelle 10*

RÉSULTATS 11

CARACTÉRISATION ÉCOLOGIQUE 11

CONDITION CORPORELLE 13

DISCUSSION 15

CARACTÉRISATION ECOLOGIQUE 15

CONDITION CORPORELLE 21

CONCLUSION 25

BIBLIOGRAPHIE 27

WEBOGRAPHIE 28

GLOSSAIRE 29

ANNEXES

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : BUFO

BUFO est une association de droit local (loi 1908) créée en 1997 qui se consacre à l'étude et à la protection des amphibiens et des reptiles de la région Alsace. L'association comprend un conseil d'administration composé de 13 membres, deux salariés (Jean-Pierre Vacher, chargé d'études et Victoria Michel, chargée de mission), et plusieurs dizaines de bénévoles.

Le siège social de l'association est le Musée d'histoire naturelle et d'ethnographie de Colmar et ses bureaux sont situés dans la maison des associations naturalistes, à Strasbourg (67). BUFO est membre de la Société herpétologique de France (S.H.F.), de l'Office des données naturalistes d'Alsace (ODONAT) et de la fédération Alsace Nature.

BUFO est une association à but non-lucratif qui s'est donnée plusieurs missions au sein de la région, les principales peuvent être décrites ainsi :

- Améliorer les connaissances sur le statut et la répartition des espèces dans la région. Dans ce cadre, un atlas régional, « Atlas de répartition des Amphibiens et Reptiles d'Alsace » est paru en 2010.
- Valoriser et diffuser ces connaissances sous différentes formes (conférences, atlas, listes rouges...) vers le grand public (adultes, scolaires...) et le public spécialisé (aménageurs, gestionnaires d'espace, décideurs...) afin de les informer, les sensibiliser et leur donner des outils d'aide à la décision adaptés dans un objectif de conservation des espèces.
- Assurer un rôle de conseil et d'expertise auprès de toute personne et organisme demandeur d'informations herpétologiques.
- Coordonner, initier et/ou effectuer tout travail destiné à la conservation et la protection des espèces et de leurs habitats (sauvetages routiers, création de mares, etc.).

Les moyens d'action de l'association sont la réalisation d'études, inventaires, expertises et conseils, la collecte des données de terrain par les observateurs bénévoles et la gestion d'une importante banque de données, la tenue de réunions de travail et d'assemblées périodiques, les publications, les conférences et la participation à diverses manifestations.

De plus, BUFO collabore avec les services de l'Etat, les administrations et divers organismes en charge de la gestion des milieux naturels, les associations qui œuvrent dans le domaine de la protection de la nature, ainsi qu'avec les collectivités territoriales alsaciennes, le Conseil régional et les Conseils généraux des deux départements (Haut Rhin et Bas Rhin), notamment au travers de plans de protection d'espèces particulièrement menacées. Ainsi ce stage entre notamment dans le cadre d'un plan national d'actions (PNA) en faveur du sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*), décliné au niveau régional par BUFO pour la DREAL Alsace. Enfin BUFO participe également à de nombreuses instances comme les comités consultatifs des réserves naturelles ou les comités de pilotage des sites Natura 2000.

INTRODUCTION

En 2009, avant que la Biodiversité ne soit à l'honneur, la mise à jour de la liste rouge des espèces menacées de l'UICN* révélait que plus de 30% des espèces répertoriées étaient en danger d'extinction. Parmi les différents groupes recensés, les amphibiens s'avèrent être les plus inquiétés. En effet, ce groupe décline plus rapidement que les oiseaux ou les mammifères (Stuart *et al*., 2004) et 39 espèces sont déjà décrites comme éteintes (IUCN 2009). Les causes de déclin sont nombreuses et le cycle de vie complexe de beaucoup d'amphibiens (phase larvaire aquatique et phase adulte terrestre) multiplie les menaces. Les scientifiques en ont identifié six majeures : 1)la destruction ou modification des habitats, 2)la pollution des sols et des eaux, 3)l'introduction d'espèces exotiques, 4)les changements climatiques, 5)l'émergence de nouvelles maladies infectieuses comme la chytridiomycose causée par le champignon *Batrachochytrium dendrobatidis* et 6)la surexploitation pour le commerce (Collins *et al*., 2003).

D'une manière globale, le sonneur à ventre à ventre jaune *Bombina variegata* (Linnaeus, 1758) n'est pas une espèce menacée en Europe (Temple & Cox 2009). Mais il est en régression sur la frange ouest de sa répartition. Hauke Drews, biologiste et expert du genre *Bombina*, expliquait en 2009 que l'une des menaces principales pour les populations de sonneurs est la diminution des habitats optimaux (LIFE* and Europe's reptiles and amphibians, Rapport non publié). De plus il est classé sur l'annexe II de la convention de Berne mais aussi dans les annexes II et IV de la directive Habitat-Faune-Flore (Directive Habitat 92/43/EEC), c'est donc une espèce strictement protégée et d'intérêt communautaire pour laquelle les États doivent mettre en place des mesures de protection.

En France, en limite d'aire de répartition, *B. variegata* connaît depuis le début du XIX^{e} siècle un fort déclin dans l'Ouest (Lescure *et al.,* 2011) et il a notamment disparu de la Loire-Atlantique (Grosselet *et al.,* 2011). Les populations les plus importantes sont aujourd'hui dans le Massif central, les Alpes et l'Est de la France (Lescure *et al.,* 2011 ; Thiriet & Vacher, 2010). Le sonneur à ventre jaune est classé à l'article 2 de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des amphibiens et reptiles protégés sur le territoire métropolitain, lui conférant ainsi une protection

stricte ainsi qu'à ses habitats. De plus, il est décrit comme vulnérable sur la liste rouge nationale (Comité Français de l'UICN 2009). En Alsace, la liste rouge régionale indique que les populations de ce cet amphibien sont en déclin (Odonat/BUFO, 2003). L'association BUFO vient de faire paraître un atlas de répartition de l'herpétofaune de la région (Thiriet et Vacher, 2010). Cette publication fait notamment état des lieux de la répartition du sonneur dans le Haut-Rhin et le Bas-Rhin, l'Alsace présente des populations de tailles très variables. De nombreux sites (Erstein, Leutenheim...) semblent répondre aux exigences écologiques de *B. variegata* décrites dans les ouvrages de description (Duguet & Melki, 2003), sans que celui-ci y soit présent.

B. variegata fait aujourd'hui l'objet d'un plan national d'actions (PNA) lancé par le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT), afin d'établir l'état de connaissance et de proposer des opérations favorables à l'espèce à mettre en place au sein de chaque région où elle est présente.

Le sonneur à ventre jaune semble donc être au cœur des préoccupations actuelles en termes de conservation des amphibiens, que ce soit au niveau international ou régional. Dans l'objectif de participer à l'effort de connaissance, ce rapport s'attachera à mieux comprendre la répartition de *B .variegata* et à estimer la qualité de la population alsacienne. Ainsi cette étude tentera de répondre à la question suivante : **1)quelles variables écologiques sont favorables à la présence du sonneur à ventre jaune?** En effet, l'intégration des exigences écologiques du sonneur pour la sélection de son site de reproduction semble nécessaire pour mener des projets de conservation efficace. Plusieurs paramètres environnementaux ont été choisis selon les données de la littérature. Ils ont pour objectifs de balayer largement le contexte écologique du sonneur. De ce fait, aussi bien les facteurs biotiques (prédation, compétition), qu'abiotiques (paysage, climat, perturbations…) sont considérés dans cette étude. Ces variables seront relevées sur différents sites puis comparées afin de mettre en évidence celles qui sont importantes pour la présence dus sonneur.

Toujours dans le but de mieux comprendre une telle répartition et d'évaluer la qualité des habitats et des populations de sonneurs à ventre jaune, le second volet de ce rapport étudie un autre indicateur environnemental. En effet, la condition corporelle, proposée comme outil de la

biologie de conservation (Anderson & Neumann, 1996), est un bon moyen d'estimer la disponibilité en proie et/ou la qualité de l'habitat (Sztatecsny & Schabetsberger, 2005), mais également la survie (Hoey & McCormick, 2004), et la fitness* d'une population (Jakob *et al.* 1996). Parmi les méthodes existantes, l'indice résiduel semble être le moyen le plus efficace pour estimer le statut des populations alsaciennes (Băncila *et al.,* 2010 ; Jakob *et al.*, 1996). Morrison & Hero (2003) ont montré que l'altitude et la latitude jouent sur les traits d'histoire de vie des amphibiens. En effet, les individus vivant dans les hautes altitudes et latitudes présentent un taux de développement plus lent et une période d'activité de reproduction plus courte. Ceci est corroboré par l'étude de Băncila *et al.* (2010) qui ont pu mettre en évidence une faible condition corporelle chez les individus de haute altitude en Roumanie. En Alsace, la phénologie du sonneur semble être la même sur tout le territoire. Ainsi **2)les variations de l'altitude et de la latitude ne devraient pas influencer la condition corporelle du sonneur à ventre jaune en Alsace.** En outre, Băncila *et al.* (2010) n'ont pas trouvé de différences entre les mâles et les femelles de trois territoires d'Europe de l'est. Ainsi, **3)les conditions corporelles des mâles et des femelles de *B. variegata* d'Alsace devraient être similaires**. Et enfin le sonneur s'est installé sur des sites relativement différents en Alsace (carrières, forêts, prairies...). Ce rapport tentera également de répondre à la question : **4)est ce que la condition corporelle des sonneurs en Alsace est influencée par la nature du site où ils évoluent ?**

MATERIEL ET METHODES

MODELE BIOLOGIQUE

Le Sonneur à ventre jaune est un amphibien de la famille des Bombinatoridae (Photos 1 et 2). Les amphibiens possèdent en général un mode de vie biphasique, une phase larvaire le plus souvent aquatique et une phase adulte le plus souvent terrestre. *B. variegata* peut atteindre cinq cm à l'âge adulte. Sa coloration est très typique : la face dorsale du corps est brune terreuse alors que la face ventrale, la gorge et le dessous des pattes sont marbrés de jaune vif à orangé sur fond noir cendré ou bleu nuit. La reproduction s'étale généralement de fin avril à mi-août. La ponte fractionnée en amas a lieu dans un milieu aquatique calme. La fécondité annuelle de la femelle est variable entre les populations. Les têtards éclosent relativement vite, maximum cinq jours après la ponte. La métamorphose a lieu entre 34 et 131 jours après l'éclosion. La vie adulte est essentiellement terrestre, comme beaucoup d'amphibiens, le sonneur retourne en milieu aquatique uniquement pour la période de reproduction.

Photos 1 et 2 : Sonneur à ventre jaune (***Bombina variegata***) de profil et face ventrale. Epfig, 13 mai 2011, © Renoux, C.

B. variegata s'étend de la France jusqu'en Moldavie vers l'est, et du centre de l'Allemagne vers le nord jusqu'à la Grèce et la Sicile vers le sud. Il est en régression en France comme dans plusieurs autres pays Européens. En Alsace, il est présent dans les massifs forestiers de basses et moyennes altitudes. Sa répartition reste cependant morcelée dans la région. Le sonneur est une espèce pionnière de plaine et de colline. Il peut être trouvé dans des milieux aquatiques

Tableau 1: Description des sites étudiés.

Sites	Repère	Altitude	Latitude (degré décimal)	Département	Nombre de mares	Classement, protection et inventaires (Source BRGM)	Variables écologiques	Condition corporelle
Carrière de Saint-Nabor	SN	372	48,44	67	15		●	●
Forêt de Mackenheim	MA	177	48,18	67	4	Natura 2000 Directives Habitat et Oiseauxx ZNIEFF de type I et II Zone humide d'importance internationale Ramsar	●	●
Forêt d'Epfig	EP	165	48,32	67	11	Natura 2000*, Directive Habitat* Site CSA*	●	●
Forêt d'Erstein	ER	151	48,42	67	1	Réserve naturelle* Natura 2000, Directives Habitat et Oiseauxx* ZNIEFF* de type I et II Zone Humide d'Importance Internationale Ramsar*	●	
Fort-Louis	FL	188	48,81	67	4	Arrêté de Protection de Biotope* Natura 2000 Directives Habitat et Oiseauxx ZNIEFF de type I Zone humide d'importance internationale Ramsar Site CSA	●	●
Froeschwiller	FR	234	48,94	67	2	Parc Naturel des Vosges du Nord* ZNIEFF de type II	●	
Gruendel	GR	165	48,87	67		Natura 2000*, Directive Oiseauxxx ZNIEFF de type I		●
Ile de Rhinau	RI	168	48,28	67	9	Réserve naturelle Natura 2000 Directives Habitat et Oiseauxx ZNIEFF de type I et II Zone humide d'importance internationale Ramsar	●	●
Leuthenheim	HA	118	48,85	67	2	Natura 2000 Directives Habitat et Oiseauxx	●	
Neuhaeusel	NA	118	48,41	67	3	Arrêté de Protection de Biotope Natura 2000 Directives Habitat et Oiseauxx ZNIEFF de type II Zone humide d'importance internationale Ramsar Site CSA	●	
Voellerdingen	VO	324	48,96	67				●
Baltzenheim	BA	185	48,1	68	19	ZNIEFF de type II Zone humide d'importance internationale Ramsar	●	●
Forêt de Liebenswiller	LI	454	47,50	68	24	Natura 2000 Directive Habitat	●	
Gravière d'Altkirch	AL	320	47,63	68	9		●	●
Gravière de Rixheim	RX	225	47,7	68	10	ZNIEFF de type II	●	
				Total	**113**			

variés (ornières, bras morts, mares, étangs) lors de la reproduction. C'est une espèce principalement forestière, mais l'habitat terrestre reste à ce jour mal connu.

ZONE D'ETUDE

L'Alsace est une région située dans la haute-vallée du Rhin et se caractérise par un climat de type continental et des milieux hétérogènes. En effet, l'Alsace est façonnée par les chaînes de montagnes des Vosges à l'Ouest et du Jura au Sud, la plaine est quant à elle caractérisée par une agriculture intensive, deux grands massifs forestiers (massif de Haguenau au Nord et massif de la Hardt au Sud) et un réseau hydrologique dense (Rhin et ses affluents). L'altitude varie entre 109 et 1426m d'altitude. En outre l'Alsace s'étend sur 50km d'Est en Ouest et sur 190km du Nord au Sud. Dans le cadre de cette étude, quinze sites ont été visités (Tableau 1). Quatre sont situés dans le Haut-Rhin et 11 dans le Bas-Rhin. En outre, des sites n'accueillant pas l'espèce ont également été inclus dans l'étude.

PROTOCOLES

- **Caractérisation écologique**

Seize variables sont retenues pour définir le contexte écologique du sonneur à ventre jaune sur 13 sites. Leur dénomination et la technique utilisée pour les définir sont listées dans le tableau 2. Ces paramètres écologiques ont été recueillis entre le 11 avril et le 17 juin 2011.

Choix des variables abiotiques :

Pichenot (2008) a pu mettre en évidence que l'occurrence du sonneur à ventre jaune est largement dépendante du contexte paysager. En effet, à grande échelle, cette espèce est retrouvée dans une matrice hétérogène composée de prairies et de forêts avec un relief accidenté, comprenant un réseau de mares. Ici, seuls **1)l'altitude**, **2)la latitude** et l'environnement immédiat, c'est à dire **3)l'habitat**, **4)la présence d'autres mares** et **5)les perturbations** du point d'eau ont été définies. La distance séparant la mare étudiée de la seconde a été fixée à 50m (Pichenot, 2008). Barandun & Reyer (1997a) ont souligné

Tableau 2: Dénominations et techniques utilisées pour définir les variables écologiques

Variables	Techniques		Notation	Type de Variable	Facteur écologique	Remarques
Altitude	Carte IGN + Google Earth		Alt	Quantitatif	Abiotique	
Latitude	Carte IGN + Google Earth		Lat	Quantitatif	Abiotique	
Habitat	Détermination à vue de l'environnement immédiat	Forêt	Foret	Qualitatif	Abiotique	
		Carrière	Carriere	Qualitatif		
		Prairie	Prairie	Qualitatif		
		Agricole	Agricole	Qualitatif		
Couvert de la canopée	Détermination à vue		Recou	Quantitatif	Abiotique	4 catégories : 0-25% , 25-50% , 50-75% , 75-100%
Profondeur	Détermination à vu		Prof	Quantitatif	Abiotique	La valeur le plus élevée sur les 2 passages sera retenue
Topographie des berges	Pourcentage de berges abruptes (>45°)		Topo	Quantitatif	Abiotique	
Surface	Détermination à vue		Surf	Quantitatif	Abiotique	La valeur le plus élevée sur les 2 passages sera retenue
Temporalité de la mare	Détermination à vue grâce à 2 passages sur le site	Permanent	Permanent	Quantitatif	Abiotique	2 passages : Début et milieu de l'activité de reproduction 1 fois présente= Temporaire 2 fois présente= Permanente
		Temporaire	Temporaire			
Perturbation	Détermination à vue		Pert	Binaire	Abiotique	1= Activités anthropiques et/ou Présence de sangliers et/ou Inondation
Hétérogénéité du fond	Détermination à vue		Homogene	Binaire	Abiotique	1=Milieu avec un fond hétérogène 0=Milieu avec un fond homogène/lisse
			Heterogene			
Proximité d'une mare	Détermination à vue		Mare	Binaire	Abiotique	Dans un rayon de 50m
Végétation aquatique	Pourcentage d'hélophytes rivulaires		Helo_riv	Quantitatif	Abiotique	
	Pourcentage d'hélophytes internes		Helo_Int		Abiotique	Ceinture protectrice
	Pourcentage d'hydrophytes		Hydro		Abiotique	Lieu de refuge
Compétition	Détermination à vue lors du passage de nuit		Comp	Binaire	Biotique	1= Crapaud calamite et/ou rainette verte et/ou grenouille rieuse
Prédation	Détermination à vue lors du passage de nuit		Pred	Binaire	Biotique	1= Tritons et/ou poissons et/ou invertébrés

l'importance de la température de l'eau des sites de reproduction. En effet, les points d'eau froids ne semblent pas être fréquentés par *B .variegata*. Ainsi **6)la surface**, **7)la profondeur** et **8)le degré d'ombre**, facteurs jouant sur la température de l'eau, ont également été déterminés. Les prédateurs sont plus fréquents dans les mares permanentes, alors que la compétition intraspécifique et la densité de larves sont plus importantes dans les milieux temporaires (Barandun & Reyer 1997a ; Morand, 1997 ; Newman, 1987). Il existe donc un compromis dans le choix de **9)la temporalité** de la mare. Ce paramètre a été évalué grâce à deux passages sur les différents sites. Le premier passage a été effectué au début de la saison de reproduction (mi-avril) et le second au milieu de la saison de reproduction (mi juin). Banks & Beebee (1987) ont pu montrer qu'une pente de la berge trop forte est défavorable à la présence d'une autre espèce d'amphibien, le crapaud calamite (*Bufo calamita*). L'influence de ce facteur est méconnue chez le sonneur. La **10)topographie des berges** et la **11)topographie du fond** du point d'eau ont donc été retenues pour évaluer les paramètres influençant l'occurrence du sonneur. La végétation aquatique peut être un caractère écologique favorable. En effet, elle peut créer un rideau qui protège les individus (œufs, larves, adultes) des prédateurs, notamment des poissons, et peut également servir de support de ponte. Les taux **12)d'hélophytes rivulaires**, **13)d'hélophytes internes** et **14)d'hydrophyte** ont alors été déterminés.

Choix des variables biotiques :

La variation du nombre d'adultes dans une population d'amphibiens au cours du temps dépend largement de la survie des larves (Berven, 1990). Ainsi la survie des œufs et des têtards est considérée comme un facteur majeur dans le choix des sites de reproduction. La mortalité diffère largement entre les sites de ponte du fait de la prédation exercée sur les têtards et de la compétition (Smith, 1983 ; Banks & Beebee, 1987). En conséquence, la présence de **15)prédateurs** et de **16)compétiteurs** a été évaluée. Barandun et Reyer (1997a) reconnaissent plusieurs types de prédateurs aquatiques, les tritons adultes (ponctués et alpestres), certains invertébrés (Odonates, Dytiscidae, Notonectidae) et les poissons qui se nourrissent des embryons et des têtards de sonneurs. Les trois espèces référencées dans la littérature comme

compétiteurs et également présentes en Alsace sont le crapaud calamite (*Bufo calamita*), la rainette verte (*Hyla arborea*) et la grenouille rieuse (*Pelophylax ridibundus*) (Barandun & Reyer, 1997a ; Beshkov & Jameson, 1980).

- **Condition corporelle**

La condition corporelle est un paramètre important puisqu'elle reflète la qualité des populations et de leurs habitats (Sztatecsny & Schabetsberger, 2005). Chez les amphibiens l'indice de condition corporelle correspond aux résidus individuels par rapport à la régression linéaire de la masse sur la taille du museau au cloaque (Băncila *et al.*, 2010 ; Jakob *et al*. 2002 ; Stevens *et al.,* 2002).

La masse a été mesurée à l'aide d'un peson avec une précision de 0,5g. La longueur du museau au cloaque (SVL : Snout-Vent Length) a été déterminée à l'aide d'un pied à coulisse digital à 0,1mm près. Les mesures ont été relevées entre le 29 avril et le 6 juin sur neuf sites (Altkirch, Baltzenheim, Voellerdingen, Epfig, Fort Louis, Gruendel, Mackenheim, Rhinau et Saint Nabor). 230 individus ont été capturés, pesés, mesurés et sexés. L'observation des callosités nuptiales noires sur les avant bras et les doigts des mâles a permis la différenciation sexuelle sur le terrain. Les individus mesurant moins de 32mm n'ont pas été pris en compte car considérés comme immatures. Pichenot (2008) avait effectué la même observation. De plus pour l'étude statistique les individus aberrants (individus qui diffèrent de façon significative de la tendance globale des autres observations) ont du être supprimés du fichier final. Ainsi les analyses ont porté sur 219 individus.

ANALYSES ET TESTS STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R© (packages : FactoMineR, ade4).

- **Caractérisation écologique**

Le tableau synthétisant les relevés de terrain comprend des résultats qualitatifs et quantitatifs. Dans un premier temps, ces variables ont été analysées au moyen d'une **analyse des**

correspondances multiples (ACM), pour cela les variables quantitatives ont été transformées en variables qualitatives grâce à la création de classes.

Afin d'expliquer, voire même de prédire la présence du sonneur à partir de variables explicatives qualitatives et quantitatives, un **modèle linéaire généralisé** (GLM) a été appliqué sur le jeu de données. La variable à expliquer étant binaire (présence/absence), c'est une régression logistique qui a été réalisée pour sélectionner l'ensemble des variables pouvant avoir une influence. Puis c'est une **analyse de la variance** (ANOVA) qui a permis de restreindre le nombre de variables et d'analyser les éventuelles interactions de paramètres qui peuvent jouer un rôle sur la présence du sonneur.

- **Condition corporelle**

Les conditions corporelles ont été analysées au moyen d'une **régression linéaire** entre la masse et la SVL des animaux. Les conditions corporelles correspondent aux résidus individuels par rapport à la régression linéaire. Les valeurs de longueur et de masse ont été transformées par un Log_{10} afin que les résidus suivent une loi normale. Les influences du sexe, de l'altitude, de la latitude et des sites ont été analysées au moyen de comparaisons de moyennes des résidus (Denoël *et al*., 2002). Un test **U de Mann-Whitney** a été utilisé pour déceler des différences entre les neuf sites. Quand l'homogénéité des variances n'a pu être vérifiée, des **tests t de Welch** (adaptation du test t de Student) ont été appliqués. Sinon ce sont des **tests t de Student** qui ont servis.

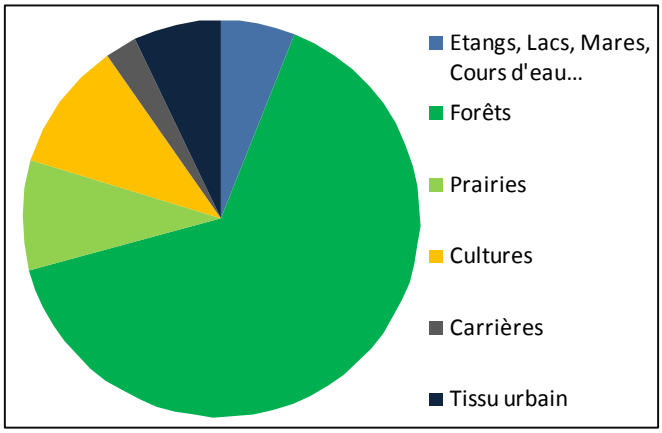


Figure 1: Habitats où ont été observés les sonneurs à ventre jaune (*Bombina variegata*) entre 1968 et 2011. Source : Odonat/BUFO

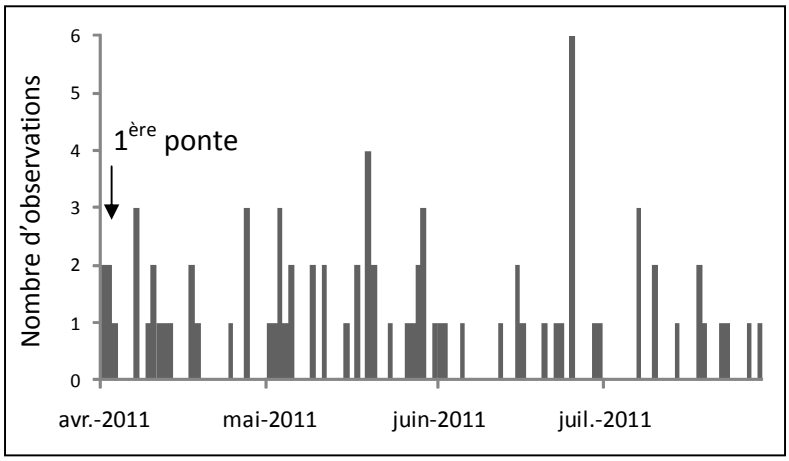


Figure 2 : Observations du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) en Alsace d'avril à juillet 2011. Source : Odonat/BUFO

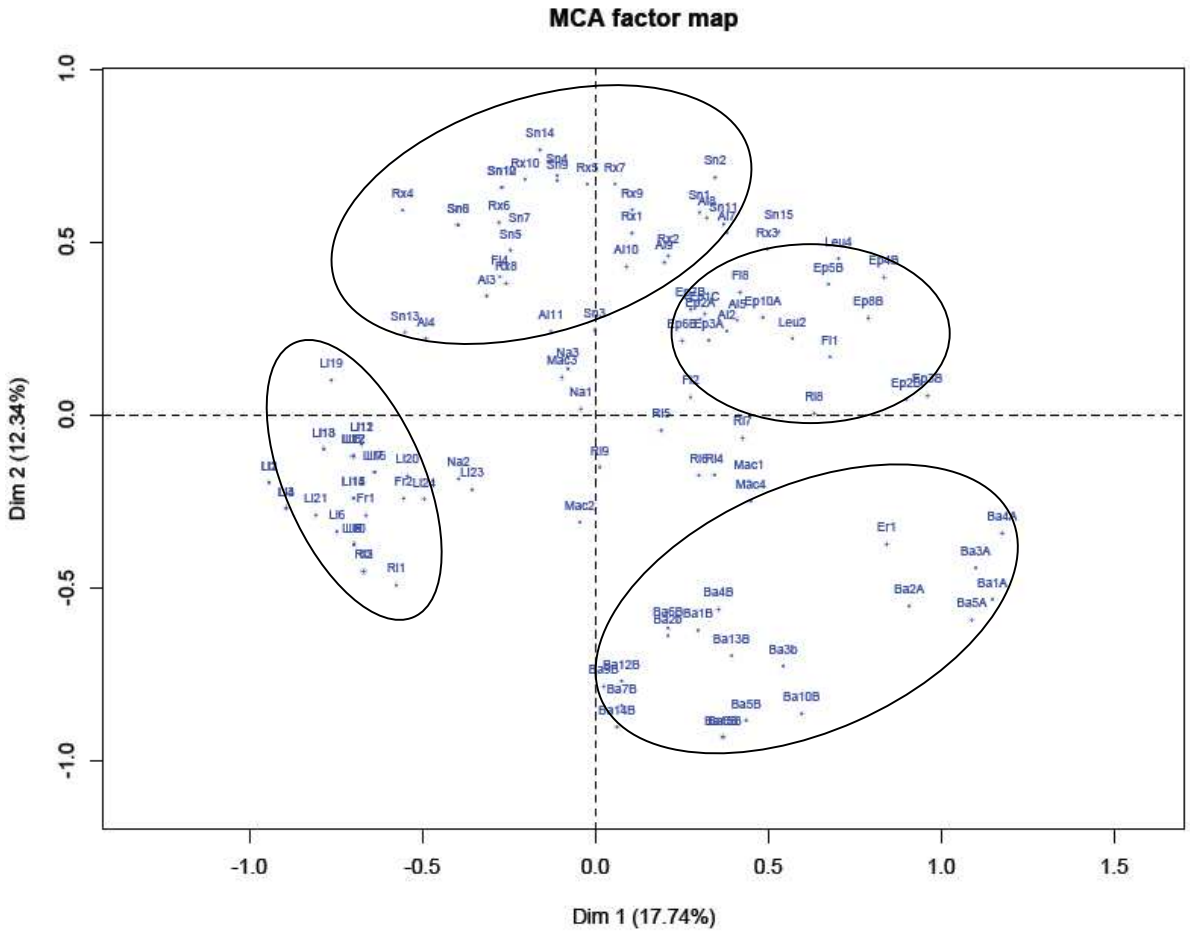


Figure 3: Représentation et regroupements des mares qui se ressemblent selon les axes 1 et 2 de l'analyse des correspondances multiples.

RESULTATS

Odonat (Office des données naturalistes d'Alsace) et BUFO répertorient et conservent l'ensemble des données d'observations d'amphibiens en Alsace. Ces bases de données permettent notamment de mettre en évidence que le sonneur est observé en forêt dans plus de la moitié des cas (Figure 1) et 86% de ces observations sont effectuées en forêt de feuillus. De plus, en 2011 le sonneur a été observé à partir de la fin du mois de mars et la première ponte observée a été vue le 4 avril à Kunheim dans le Haut-Rhin (Figure 2).

CARACTERISATION ECOLOGIQUE

Les relevés ont montré que sur les 13 sites étudiés, trois n'abritent pas l'espèce (Erstein, Leutenheim et Rixheim). La variable précisant la présence d'une mare dans les 50m a été supprimée car il y avait un taux de 93% de pièces d'eau dans ce cas. Ce facteur s'est donc révélé sans pertinence par rapport à la question posée.

L'ACM permet de mieux visualiser le tableau de résultats obtenu suite à la prospection de terrain. Les contributions relatives indiquent que trois axes sont à conserver pour l'analyser des résultats. Le premier axe a été principalement établit par la végétation de la mare (hélophytes internes, hélophytes rivulaires et hydrophytes), ainsi que par la surface et l' altitude. Le second axe a été construit essentiellement à partir des variables habitat, perturbation et compétiteurs. Quant au troisième axe, il est uniquement basé sur la présence et l'absence du sonneur. Les variables temporalité, hétérogénéité du fond, profondeur et topographie des berges ne semblent pas intervenir dans la construction des différents axes.

La distribution des mares, selon l'ACM et selon les trois plans, propose quatre groupes qui opposent généralement les sites de **1)**Saint-Nabor, Rixheim et Altkirch, à ceux de **2)**Liebenswiller, Frœschwiller, Rhinau et Mackenheim, **3)**Epfig, Fort-Louis et Leutenheim et **4)**Baltzenheim et Erstein (Figure 3). Les trois derniers groupes présentent des similarités en fonction des plans. Les sites de Neuhaeusel et Mackenheim sont quant à eux assez mal représentés.

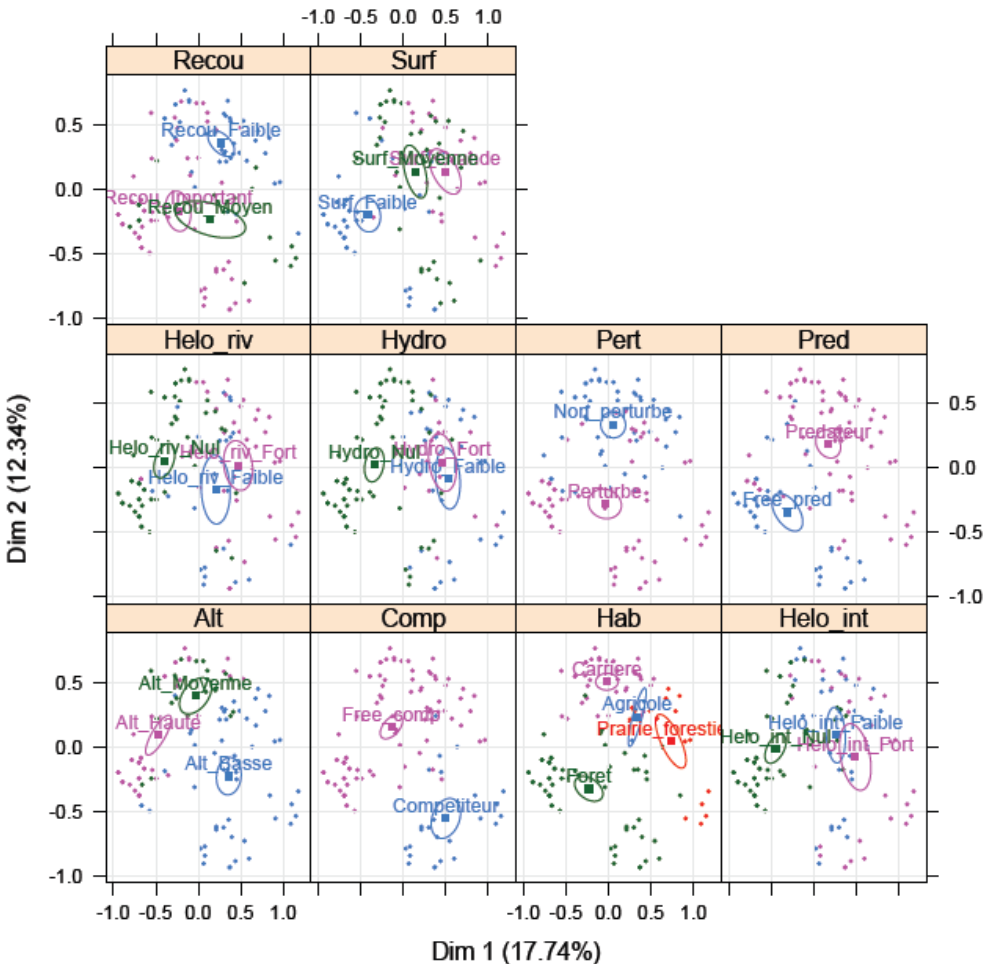


Figure 4: Représentations des variables correctement représentées par les axes 1 et 2 de l'analyse des correspondances multiples.

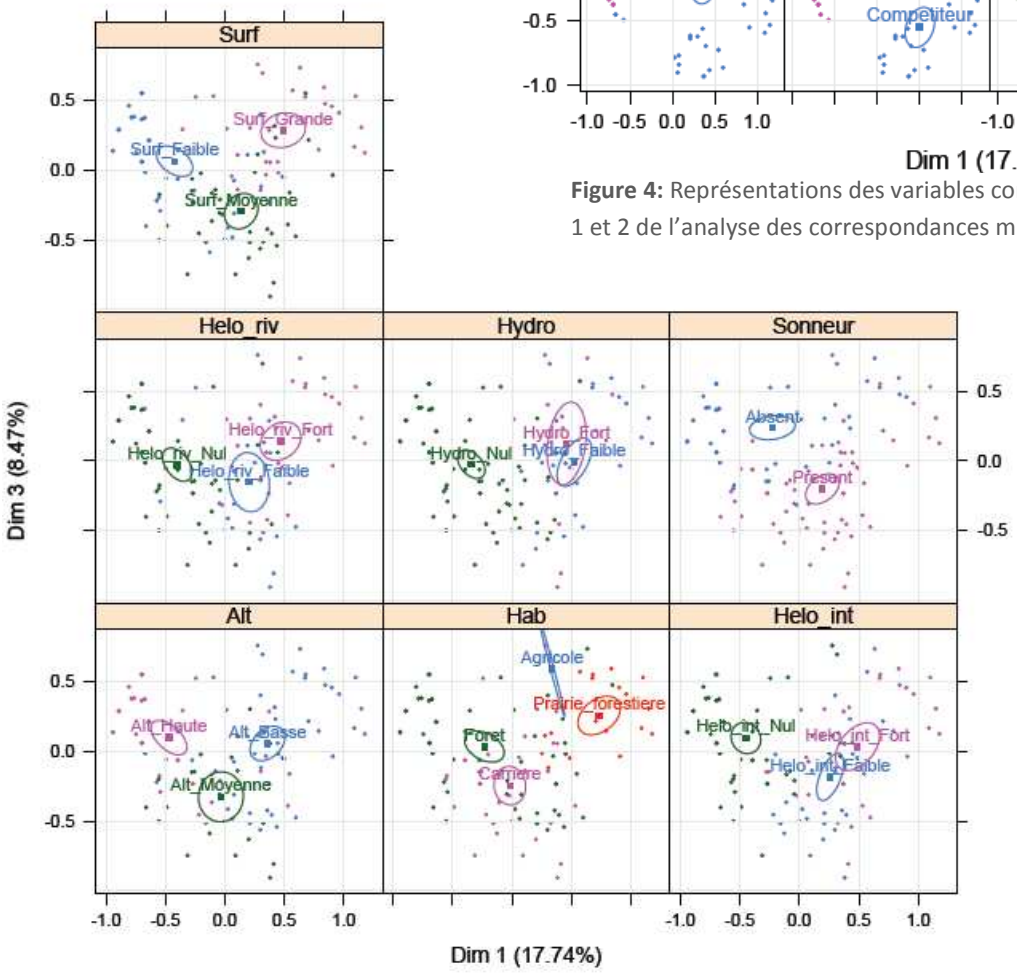


Figure 5: Représentations des variables correctement représentées par les axes 1 et 3 de l'analyse des correspondances multiples.

La figure 4 illustre les variables les mieux représentées par les axes 1 et 2, ces dernières possèdent un cos² relativement élevé et ont donc une qualité de représentation correcte. Ces premiers éléments montrent, par exemple, que les mares trouvées en forêt sont de faible surface et n'ont pas d'hydrophytes, mais ont un recouvrement par la canopée maximal tout en étant sont assez perturbées. Les compétiteurs qui ont été observés étaient souvent des rainettes vertes et d'une manière générale elles évitent les altitudes trop élevées et semblent être absentes des milieux sans végétation aquatique.

La figure 5 met en évidence les variables les mieux représentées par les axes 1 et 3. Le sonneur à ventre jaune ne semble pas présent à des altitudes trop élevées. De plus il est absent de pièces d'eau dépourvues de végétation. Les points d'eau de faible surface ne présentent aucune végétation aquatique. Inversement les mares de grande surface ont beaucoup de végétation.

Les axes 2 et 3 indiquent que les mares présentant des prédateurs n'abritent pas de sonneurs à ventre jaune, alors que la présence de compétiteur ne semble pas être défavorable à la présence de l'espèce. Enfin, le fait que le milieu soit perturbé de manière biotique (pression des sangliers ou anthropiques) ou abiotique (inondations), ne semble pas jouer sur la présence de sonneur dans les mares, alors qu'un milieu perturbé paraît convenir aux compétiteurs et déplaire aux prédateurs.

Afin de comprendre quelles variables influencent la présence du sonneur à ventre jaune, une modélisation de présence/absence a été réalisée grâce à une régression logistique et une analyse de la variance. Les résultats de ces deux tests ont permis la création d'un modèle dont les résultats sont affichés dans le tableau 3.

Tableau 3: Résultats du GLM, variables conservées par le modèle. Les étoiles indiquent la significativité et les effets positifs et négatifs sont indiqués par des + et des -.

Variables	P(>|Chi|)	Effets
Lat	0.0001584 ***	+
Hab	0.120	+
Pred	0.110	-
Comp	0.0000928***	+
Hetero_fond	0.001**	+
Recou	0.0001080***	-
Helo_riv	0.111	-
Hydro	0.051#	+
Pred:Comp	0.025*	-
Helo_riv:Hydro	0.005**	-
Pred:Hetero_fond	0.046*	+

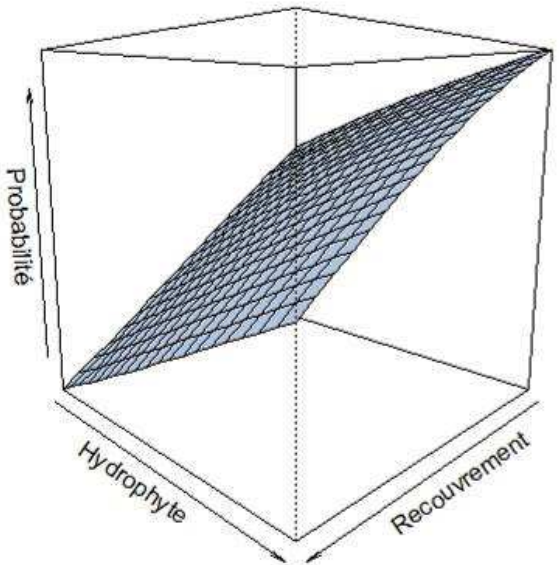


Figure 6: Perspective et probabilité de la présence de *B. variegata* en fonction des variables Hydrophytes et Recouvrement.

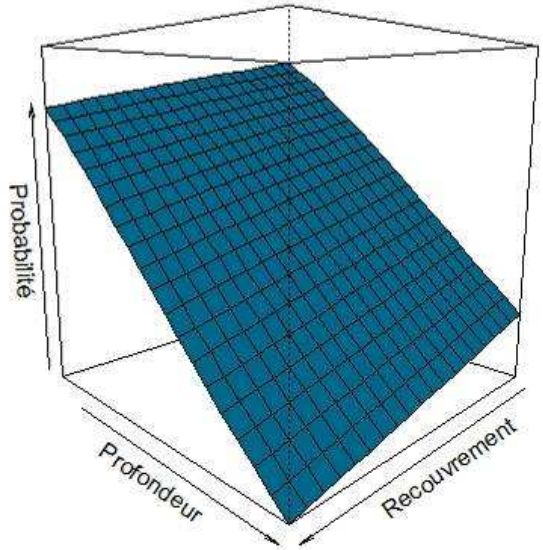


Figure 7: Perspective et probabilité de la présence de *B. variegata* en fonction des variables Profondeur et Recouvrement.

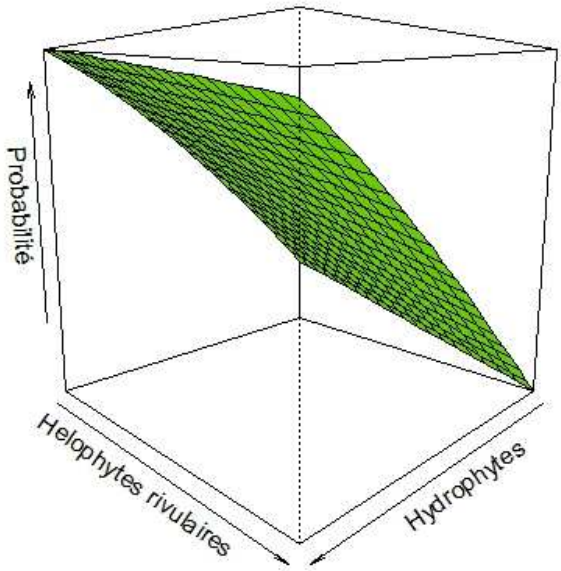


Figure 8: Perspective et probabilité de la présence de *B. variegata* en fonction des variables Hydrophytes et Hélophytes rivulaires.

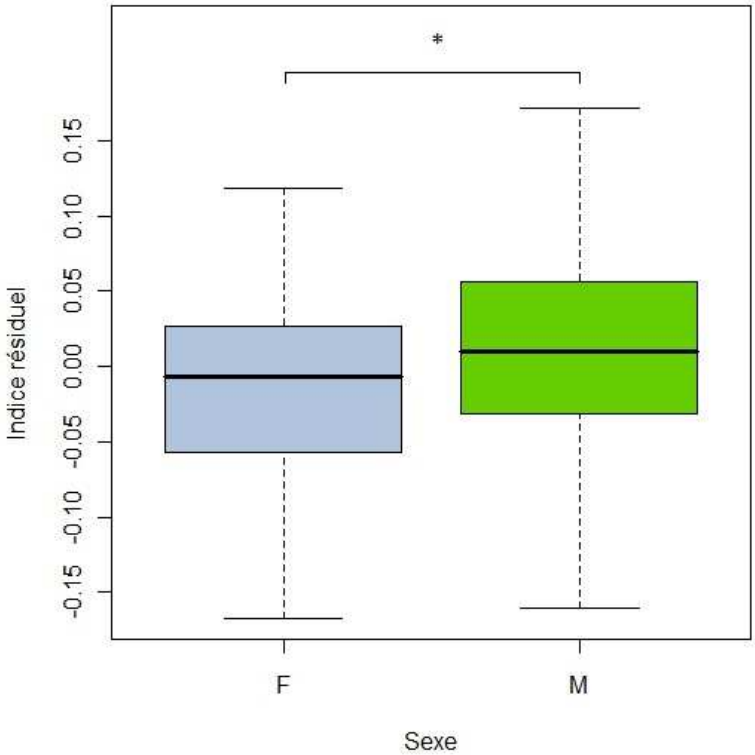


Figure 9: Indices résiduels des mâles et des femelles de *B. variegata* en Alsace. * $p < 0,05$.

Le modèle final a conservé huit variables sur les 16 proposées. Cinq facteurs sont significativement importants dans cette sélection. Les variables significatives, avec un effet positif sur la présence du sonneur sont : la **latitude**, la **présence de compétiteurs**, une **topographie hétérogène du fond du point d'eau** et la **présence d'hydrophytes**. Il n'y a qu'une variable significative défavorable à *B. variegata* : le **recouvrement par la canopée**. Suite à cette première analyse, il a été décidé de tester l'éventuel effet d'interactions entre ces variables. Les interactions **Prédateurs-Compétiteurs** et **Hélophytes rivulaires-Hydrophytes** ont pour conséquence l'absence du sonneur, tandis que **Prédateur-Hétérogénéité du fond** a pour effet la présence de ce dernier.

Les figures 6, 7 et 8 symbolisent quatre variables quantitatives. Lorsque les variables hydrophytes et recouvrement sont maximales le résultat est le même que lorsqu'elles sont minimales, c'est-à-dire une probabilité de présence du sonneur de 50%. Quand les taux d'ensoleillement et d'hydrophytes diminuent les chances d'observer du sonneur décroissent (Figure 6). La profondeur de la mare n'a pas d'effet sur l'occurrence de *B. variegata* (Figure 7). Enfin l'effet de la variable hélophytes rivulaires semble mineur. En effet, la probabilité de voir *B. variegata* paraît dépendre essentiellement de la présence d'hydrophytes (Figure 8).

CONDITION CORPORELLE

Un total de 219 individus (122 mâles et 97 femelles) ont été mesurés et pesés, soit 26 (+/-6) individus par site.

Les mâles ont une condition corporelle essentiellement positive (0,01±0,06), alors que les femelles ont un indice résiduel égal à -0,01±0,06 (Figure 9). Une comparaison de moyenne a permis de déceler une différence significative entre les indices de condition corporelle des mâles et des femelles au sein de l'Alsace (Test t de Student, t = -2,6495, p= 0,008656).

La population alsacienne de sonneurs à ventre jaune s'étend sur des territoires d'altitudes variées. Les extrêmes étant de 119m et 372m, deux groupes ont été créés : un groupe de plaine (de 0 à 200m comprenant 144 individus) et un groupe de colline, c'est à dire de plus haute altitude (au delà de 200m comprenant 75 individus).

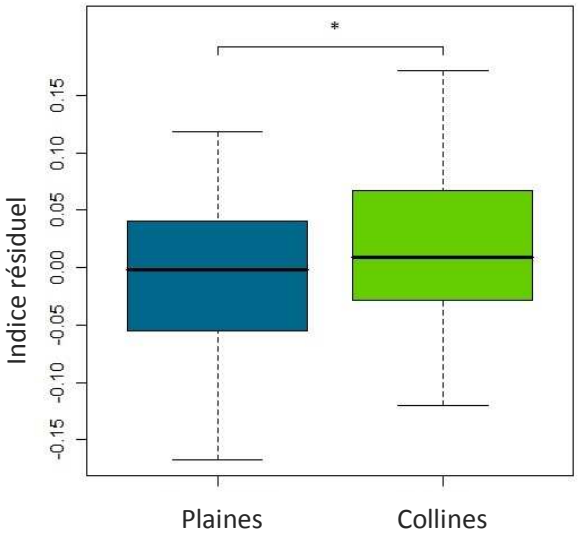


Figure 10: Indices résiduels de *B. variegata* en fonction de l'altitude en Alsace. * p < 0,05

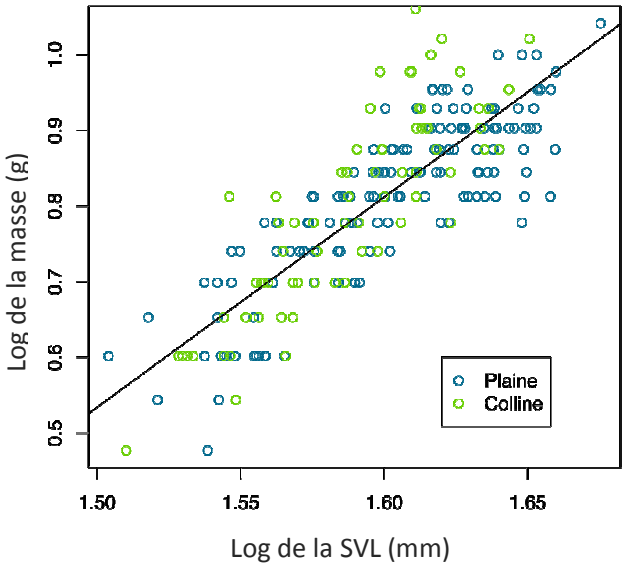


Figure 11: Distribution du log de la masse en fonction du log de la SVL de *B. variegata* en fonction de l'altitude en Alsace.

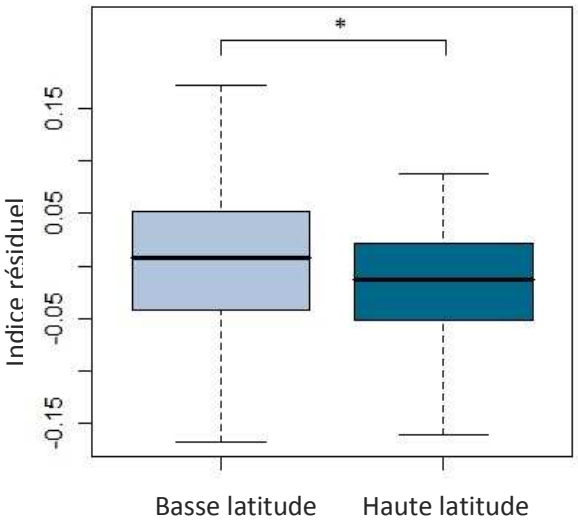


Figure 12: Indices résiduels de *B. variegata* en fonction de la latitude en Alsace. * p < 0,05

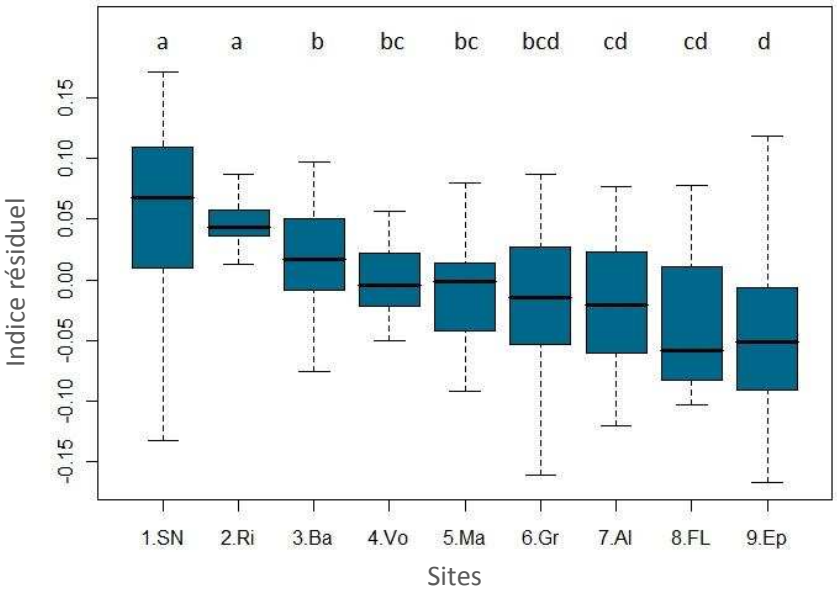


Figure 13: Indices résiduels de *B. variegata* en fonction des sites de reproduction en Alsace. Les lettres symbolisent les différences significatives.

Tableau 4: Altitudes et latitudes des sites de prélèvements et moyennes des résidus du log de la masse sur le log de la taille.

Sites	Moyenne résidus	Altitude	Latitude
Saint-Nabor	0,05841916	372	48,44
Rhinau	0,04706594	166	48,28
Baltzenheim	0,01994876	182	48,1
Voellerdingen	-0,00247335	324	48,96
Mackenheim	-0,00852528	177	48,18
Gruendel	-0,0161009	165	48,87
Altkirch	-0,02104304	320	47,63
Fort-Louis	-0,03079991	119	48,81
Epfig	-0,04210888	165	48,32

Les moyennes et les distributions sont représentées par les figures 10 et 11. Les individus vivants en basse altitude présentent une condition corporelle significativement moins élevée (-0,008±0,06) que ceux qui vivent en moyenne altitude (0,014±0,07) (Test t de Student, t = -2,7129, p=0,007533).

Les conditions corporelles des individus ont également été comparées selon la latitude (Figure 12). Les individus évoluant dans les latitudes les plus élevées d'Alsace présentent une mauvaise condition corporelle, tandis que les individus des plus faibles latitudes ont une condition corporelle significativement différente qui est positive (Test t de Student, t = 2,3113, p=0,02267).

Les conditions corporelles ont ensuite été comparées sites par sites. La figure 13 montre les moyennes des conditions corporelles pour chaque site. Saint-Nabor et Rhinau abritent les populations de sonneurs ayant la meilleure condition corporelle. Ces deux sites sont situés à des altitudes différentes (Tableau 4) et ne présentent pas du tout le même type d'écosystème, Saint-Nabor est une carrière vosgienne et Rhinau est une forêt alluviale dans une réserve naturelle située sur une île du Rhin.

Beaucoup de sites affichent des résidus négatifs. Les sonneurs de Baltzenheim, Voellerdingen et Mackenheim ont des conditions corporelles relativement proches de zéro, alors que les sites d'Epfig, Fort-Louis et Altkirch ont des sonneurs avec une condition corporelle généralement mauvaise. Le site de Gruendel est quand à lui un intermédiaire entre ces deux derniers groupes. Le site présentant les sonneurs avec la condition corporelle la plus faible est Epfig. Ce site est situé aux mêmes altitude et latitude que Rhinau, mais dans une région naturelle différente. Un test U de Mann-Whitney indique qu'il existe des différences significatives entre les moyennes des résidus des sites (Kruskal-Wallis chi-squared = 59,0614, p=7,12e-10). Les tests de Student révèlent plusieurs groupes différents au sein de l'Alsace.

DISCUSSION

Le statut vulnérable du sonneur à ventre jaune en Alsace semble être justifié. En effet les résultats obtenus suite à cette étude mettent en évidence des exigences écologiques complexes pour cette espèce.

CARACTERISATION ECOLOGIQUE

Description des mares :

La distribution des mares en fonction des différentes variables semble cohérente. En effet, les mares situées en **carrière** (Saint-Nabor, Altkirch et Rixheim) sont généralement opposées aux autres. En outre, les autres mares sont également différentes les unes des autres. En effet, les sites de Liebenswiller, Frœschwiller, Rhinau et Mackenheim abritent des mares de **forêts**, Erstein et Baltzenheim aussi mais présentent un **caractère plus ouvert**, et les mares d'Epfig, Fort-Louis et Leutenheim sont situées dans des **prairies**. Ces sites s'opposent parce qu'ils sont situés dans des habitats différents, mais d'autres facteurs interviennent également dans la classification de ces mares (recouvrement, taux de végétation aquatiques...). Ainsi, les points d'eau d'un même habitat présentent des caractéristiques similaires.

Les résultats de l'ACM montrent que les points d'eau observés en forêt sont définis par une petite surface, un recouvrement important de la canopée et peu de végétation aquatique. Les pièces d'eau de forêt sont effectivement des ornières caractérisées par une petite surface sans végétation aquatique. Ces ornières sont cependant situées sur des chemins forestiers présentant un taux d'ensoleillement relativement important.

Facteurs écologiques influençant la présence du sonneur à ventre jaune :

Le choix d'un site de reproduction convenable est un élément primordial pour la pérennité de l'espèce. En effet, le nombre d'adultes dans une population d'amphibiens dépend du taux de recrutement des juvéniles (Berven, 1990). De plus, la qualité de l'environnement des têtards a d'importants effets sur la fitness (Scott, 1994). Par exemple, chez les amphibiens, le temps de développement des œufs dépend de la température de l'eau (Duellman & Trueb, 1986). Les

trois causes de mortalité des larves sont la prédation, la dessiccation et la compétition (Berven, 1990, Newman, 1987). Or les prédateurs vivent essentiellement dans des pièces d'eau permanente dans le temps (Newman, 1987). Barandun et Reyer (1997a, 1997c) ont identifié le dilemme de *B. variegata* : se reproduire dans des milieux de petites surfaces, souvent temporaires, avec peu de prédation ou de compétition interspécifique, bien ensoleillés assurant un réchauffement rapide de l'eau et ainsi un développement rapide des larves, mais impliquant un risque important de dessiccation. C'est ainsi que le sonneur applique la « distribution du risque » en fractionnant ses pontes dans le temps et l'espace (Hartel, 2007 ; Morand, 1997 ; Pichenot, 2008).

Si des températures élevées permettent un développement rapide des larves, les variables jouant sur la température de l'eau vont donc rentrer en compte pour la présence du sonneur, comme le recouvrement par la canopée et la profondeur de la lame d'eau. Un faible recouvrement de la canopée permet une exposition maximale, et donc un réchauffement rapide de l'eau si la mare est de faible profondeur. Les résultats de cette études et les données de la littérature abondent dans le même sens : les sonneurs sont présents en majorité dans des pièces d'eau sans ombre (Barandun & Reyer, 1997a ; Hartel *et al*., 2007; Vacher & Thiriet, 2010).

Pichenot (2008), suppose qu'il n'existe pas de compétition interspécifique à l'échelle des « patches » (groupes de mares). Cela reflèterait plutôt une bonne qualité du site pour le sonneur et les autres amphibiens. Le GLM va dans le même sens en indiquant que la présence de compétiteurs semble avoir un effet positif sur l'occurrence du sonneur à ventre jaune. Barandun & Reyer (1997a) présentent des résultats montrant que la sélection du site de reproduction n'est pas affectée par la compétition interspécifique. Ceci est corroborée par l'analyse de l'ACM. Ces résultats mettent en évidence que le terme de « compétiteur » pour le sonneur n'est peut-être pas approprié, et qu'un milieu déjà colonisé sera plutôt attractif, synonyme d'une qualité d'habitat relativement bonne.

L'effet non significatif de la présence de prédateurs dans les pièces d'eau va dans le sens des travaux de Hartel *et al.* (2007) qui n'identifient pas de comportement d'évitement des mares comprenant des prédateurs. Cependant lorsque cette variable est couplée avec d'autres

facteurs elle a un impact. En effet, lorsqu'il y a des **prédateurs et des compétiteurs** dans la mare, le sonneur sera absent. Le sonneur se reproduisant tard dans la saison, ses œufs sont les derniers à éclore, et au début de leur croissance les têtards sont plus petits que ceux des autres espèces. Lors de cette phase critique les têtards de sonneurs sont en compétitions pour l'utilisation des microhabitats. La rechercher d'autres microhabitats favorables les oblige à se déplacer et à utiliser des zones plus à découvert. Ce sont alors des proies bien visibles et faciles à capturer pour les prédateurs. Ainsi les mares accueillant à la fois des compétiteurs et des prédateurs vont être défavorables au sonneur à ventre jaune, du fait d'un taux de recrutement faible dans ces milieux.

Même si elle n'est pas significativement négative, la présence de prédateurs a été conservée par l'ACM et le GLM. Elle a en effet un impact négatif sur le recrutement. Une topographie hétérogène de la mare offre une multitude de microhabitats. Ces petits milieux vont être une source de refuge permettant aux larves de sonneurs de se dissimuler des prédateurs. Leur présence dans un milieu hétérogène ne va pas donc diminuer la probabilité d'occurrence du sonneur.

Les hydrophytes représentent un bon moyen de protection pour les têtards et semblent donc être favorable à l'espèce. Cependant, bien qu'ils soient une zone refuge contre les prédateurs, au-delà d'une certaine quantité les hydrophytes risquent de ralentir le réchauffement de l'eau. De plus en présence d'hélophytes rivulaires l'impact sur la présence de *B. variegata* devient négatif. Les sonneurs disposent de bonnes capacités de déplacement (Dino, 2009 ; Pichenot, 2008 ; Plytycz & Bigaj, 1984) et diffèrent leurs pontes dans l'espace et dans le temps. Ainsi une abondance trop élevée d'hélophytes rivulaires risque d'une part de constituer un obstacle aux mouvements des individus pour joindre d'autres mares et d'autre part l'alliance hydrophytes-hélophytes rivulaires risque de freiner le réchauffement de la pièce d'eau rendant ainsi le milieu défavorable pour l'espèce.

Malgré une faible variation de la latitude en Alsace, les résultats du GLM semblent montrer que les sites du Nord abritent plus de mares avec *B. variegata* que les sites du Sud de l'Alsace. Il existe cependant un biais à ce résultat. Seuls trois sites sur 13 sont situés dans les

basses latitudes d'Alsace, ceci a peut-être créé un déséquilibre dans l'analyse. Afin d'avoir des résultats plus fiables, il serait intéressant de répéter cette mesure en s'appuyant sur un échantillonnage aléatoire de sites répartis sur l'ensemble de l'Alsace.

Les facteurs sans importance apparente :

Dans le modèle conservé par le GLM, beaucoup de paramètres écologiques ne semblent pas rentrer dans les critères de sélection de site de reproduction. Lors des prospections de terrain, les hélophytes semblaient jouer un rôle majeur dans les points d'eau de grande surface (étangs...). En effet, absents des ornières, dans les grandes pièces d'eau ils sont en partie responsables de l'hétérogénéité du fond. En effet, ils forment une ceinture végétale, créant ainsi des microhabitats entre la berge et les plantes. Ils constituent donc une source de refuges, mais également une barrière contre les prédateurs, comme les poissons. Pour autant la présence d'hélophytes à l'intérieur du point d'eau ne semble pas rentrer pas en compte dans la sélection du site de reproduction.

Même si la variable « Habitat » a été importante pour construire les axes de l'ACM et a été conservée par le modèle GLM, elle n'est pas significativement importante pour la présence du sonneur. En effet, ce dernier a été retrouvé dans tous les habitats prospectés, pourtant très différents les uns des autres. Il est donc normal que ce paramètre ne joue pas sur sa présence. Cependant, cette étude n'a défini que l'habitat à proximité de la pièce d'eau. Pichenot (2008), avait pu mettre en évidence une matrice préférentielle beaucoup plus large, et montrer qu'un contexte paysager dans sa globalité devait être étudié avec précision. À une plus grande échelle, le sonneur serait donc trouvé dans des zones forestières au relief accidenté. Ceci semble en accord avec la base de données de BUFO, qui montre que les sonneurs sont observés en majorité en forêt de feuillus. Il serait donc intéressant d'intégrer le contexte paysager global lors d'une nouvelle étude.

Le sonneur se reproduit généralement dans des milieux temporaires (Barandun & Reyer, 1997a, 1997c, 1998, ; Hartel, 2007 ; Pichenot, 2008), mais dans cette étude la temporalité de la mare ne joue pas sur la présence du sonneur. Ceci est peut-être du au fait que l'étude, limitée dans le temps, n'a pas permis de prospecter une troisième fois les sites. Ainsi nous n'avons

peut-être pas détecté la durée de la mise en eau de certaines mares. Barandun et Reyer (1997a) avaient en effet montré que les mares avec une durée en eau intermédiaire (entre durée en eau très courte et permanente) étaient les plus favorables à la reproduction du sonneur. De plus, il faut signaler que l'année 2011 fut une année particulière d'un point de vue climatologique (peu de précipitations). Lors d'une année très pluvieuse les femelles utilisent plus de mares avec un caractère éphémère (Hartel *et al.,* 2007). Ceci explique aussi peut-être pourquoi la temporalité de la mare ne semble pas avoir d'influence. Il serait ainsi intéressant de compléter nos résultats par l'ajout d'un passage supplémentaire.

La profondeur et la surface des pièces d'eau étudiées n'ont pas d'influence sur la présence de *B. variegata*. Comme précisé plus haut, le sonneur est trouvé dans un grand nombre de milieux : bras morts, ruisseaux, tourbières de pente, bords d'étangs, mares de pâtures, ornières, bassins divers... Il n'est donc pas surprenant qu'avec une si grande diversité de taille d'écosystèmes, la variable surface ne ressorte pas comme significative. Cependant la profondeur influe sur la température de la mare et nous nous attendions à observer un effet de ce facteur sur la présence de *B. variegata*, comme avait pu le remarquer Pichenot (2008). Barandun & Reyer (1997a) avaient montré que les sonneurs pondent dans les endroits les plus chauds des pièces d'eau. C'est donc certainement une typologie particulière qui offre des conditions écologiques favorables à la reproduction du sonneur. Même si la mare est profonde, l'hétérogénéité des berges peut proposer des microhabitats peu profonds permettant un réchauffement rapide de l'eau. Pour mieux comprendre l'écologie de *B. variegata* il serait donc intéressant de compléter nos mesures par une étude plus précise des caractéristiques des microhabitats des sites de reproduction.

Contrairement à d'autres espèces d'amphibiens, comme le crapaud calamite (*Bufo calamita*) par exemple, qui évite généralement les pièces d'eau avec des pentes trop encaissées (Banks & Beebee, 1987), la sélection du site de reproduction ne semble pas être influencé par la topographie des berges. Néanmoins le sonneur n'a pas été observé dans des mares profondes aux pentes abruptes. Une telle typologie est en effet incompatible avec un réchauffement rapide de la lame d'eau.

Le sonneur à ventre jaune se reproduit préférentiellement dans des milieux nouvellement créés ou régulièrement renouvelés par des perturbations physiques (Pichenot, 2008). Ses habitats ont donc une dynamique importante. Cependant la variable appelée perturbation n'a pas été conservée par les modèles statistiques. Les trois perturbations identifiées, actions des sangliers dans les mares (« souilles »), impacts anthropiques et inondations, n'étaient peut-être pas assez exhaustives ou imperceptibles ou mal identifiées une fois sur le terrain.

Le critère de l'altitude n'a pas été conservé par le modèle GLM. Les variations d'altitude au sein de notre jeu de données sont sûrement trop faibles pour pouvoir observer un effet favorable ou défavorable sur le maintien des populations de sonneurs. Il serait donc intéressant d'ajouter des sites d'altitude à notre jeu de données afin d'analyser de manière plus fine l'influence de l'altitude sur l'occurrence du sonneur à ventre jaune dans la région.

Les facteurs à prendre en compte à l'avenir

De nombreuses variables n'ont pas été prises en compte dans cette analyse, ou n'ont peut être pas été mise en évidence du fait de la particularité climatique de l'année 2011. Le début de saison a été très sec et les averses ne suffisaient pas à remplir les mares. Il faut savoir que les sonneurs sont très sensibles aux conditions climatiques (Barandun & Reyer, 1997c, 1998). En effet, pour maximiser leur recrutement (mener à terme l'évolution des œufs et des larves), les sonneurs se reproduisent juste après les averses. En Alsace, la diversité des conditions topographiques engendre une grande diversité de climats locaux, liés essentiellement à l'altitude, à l'exposition des versants, ainsi qu'à l'occupation des sols. En outre, cette région présente une pluviométrie très contrastée et un ensoleillement variant suivant les sites (Sell *et al*., 1998). Afin de mieux comprendre l'écologie du sonneur à ventre jaune, une prochaine analyse devrait intégrer la mesure de ces paramètres pour définir le microclimat de chaque site et tester si cela à une influence sur la présence du sonneur.

L'Alsace présente une forte densité en infrastructures linéaires par rapport au reste de la France (Ortal, 2008). C'est un facteur de perte et de fragmentation des habitats, qui sont deux causes majeures du déclin des espèces d'amphibiens (Collins *et al*., 2003). De plus d'autres espèces d'amphibiens comme *Bufo viridis* et *Rana sylvatica* présentent un taux élevé de

malformations lorsque leurs écosystèmes sont près de routes ou de ruissèlements provenant de routes (Dorchin & Shanas, 2010 ; Reeves et al., 2008). Ces malformations peuvent être dues aux contaminations chimiques de l'habitat (Gardiner et al., 2003). Il est possible que cette pollution affecte également le sonneur à ventre jaune. Des études prenant en compte le taux de fragmentation ainsi que la chimie de l'eau seraient donc intéressantes à mener.

Les sites qui ne présentent pas de sonneurs :

Les sites qui n'accueillent pas de sonneurs à ventre jaune dans cette étude sont Erstein, Leutenheim et Rixheim. Les facteurs influençant la présence de cette espèce mis en évidence par ce rapport sont très variés et leurs importances vis à vis de la sélection du site de reproduction sont encore floues. Nos résultats et la littérature soulignent l'importance de l'ensoleillement des mares, mais les sites de Leutenheim et Erstein présentent des mares très bien exposées dans lesquelles le sonneur est pourtant absent. Néanmoins ces mares ont un fond lisse et abritent des prédateurs qui pourraient expliquer l'absence du sonneur. Le site de Rixheim est une carrière en fin d'exploitation située dans le Sud de l'Alsace. Le recouvrement par la canopée est modéré, mais la présence de très nombreux hélophytes doit sans doute limiter le réchauffement des pièces d'eau.

La nature des sols, la géographie et l'évolution des sites influencent la répartition des espèces. De part sa diversité en domaines géologiques, ses variations altitudinales, ses nombreux bassins versants et son histoire mouvementée (Sell *et al*.,, 1998), l'Alsace va probablement présenter une biogéographie particulière. Ces sites présentent peut-être des facteurs différents de ceux qui accueillent le sonneur à ventre jaune, expliquant ainsi son absence.

CONDITION CORPORELLE

Une variation inter-sexe :

Les résidus de la droite de régression de la masse sur la longueur sont corrélés avec le contenu en graisse des organismes. Ainsi la condition corporelle est, entre autre, un bon indicateur des réserves en carburant biologiques (Denoël *et al*., 2002). Les premières pontes de sonneurs ont

été observées pour la première fois en 2011 au début du mois d'avril (Odonat/BUFO). La reproduction et la ponte sont des actions consommatrices d'énergie. Les femelles de *B. variegata* pondent dans plusieurs mares et dispersent leurs pontes dans le temps. Peut-être que la majorité des femelles mesurées avaient déjà commencé à pondre et n'avaient pas eu le temps de reconstituer leurs réserves, ce qui expliquerait pourquoi elles ont une condition corporelle inférieure à celle des mâles. Ce résultat est surprenant vis-à-vis des données de la littérature. En effet, Băncila *et al*. (2010) n'avait pas trouvé de différence significative entre les mâles et les femelles de *B. variegata*. Et même chez d'autres espèces, comme *Rana muscosa,* une espèce de la même taille se reproduisant également dans des eaux calmes et peu profondes*,* le sexe n'influence pas la condition corporelle (Pope & Matthews, 2002).

Un biotope de meilleure qualité sur les collines :

Les individus des altitudes les plus élevées d'Alsace présentent une condition corporelle positive, alors que ceux de plaine en ont une mauvaise. Cela indique sans doute que les sites de collines présentent des habitats de meilleure qualité et permettent ainsi aux sonneurs d'avoir une bonne fitness. En effet, les sites d'altitude présentent des habitats moins fragmentés et peut-être mieux exposés que les mares situées de plaine. Cependant ce paramètre semble constituer un facteur limitant pour *B. variegata.* En effet, Băncila *et al*. (2010) montrent que les populations de sonneurs de Roumanie vivant à 463 mètres d'altitude ont des indices de condition corporelle supérieurs à ceux qui évoluent à 945m. Les habitats de collines (entre 300 et 500 mètres d'altitude environ) semblent donc offrir des conditions écologiques idéales aux populations de sonneurs. Il serait intéressant d'étudier les individus des Vosges pour vérifier leur état de conservation.

La latitude, un facteur à revoir :

Les individus du Sud de l'Alsace présentent une meilleure condition corporelle que ceux du Nord. D'après les résultats du GLM, les sonneurs semblent être plus présents dans les mares de hautes latitudes. Ce phénomène a peut-être pour conséquence une forte densité au sein des sites du Nord de l'Alsace. Or, Stevens *et al.* (2002) et Reading & Clarke (1995) avaient pu mettre en évidence qu'une mauvaise condition corporelle chez le crapaud calamite (*Bufo calamita*) et

le crapaud commun (*Bufo bufo*) peut être la conséquence d'une densité d'adultes trop importante. Ce phénomène peut expliquer les résultats observés dans ce rapport. L'estimation des effectifs des différentes populations, par un protocole de capture-marquage-recapture par exemple, serait un bon moyen de savoir si la mauvaise condition corporelle des sites du Nord est due à une densité trop importante de sonneurs ou si ce sont d'autres facteurs, telle que la qualité de l'habitat, qui sont à remettre en question.

L'environnement des sites, un facteur déterminant dans la dynamique des populations :

Saint-Nabor et Rhinau, qui présentent des conditions positives, s'opposent par le type d'habitat (Carrière *vs.* Forêt) et par la situation géographique. Les autres sites quant à eux présentent des sonneurs essentiellement en mauvaise condition. Cela signifie donc que Saint-Nabor et Rhinau présentent des environnements répondant aux exigences écologiques du sonneur à ventre jaune. Une bonne condition corporelle peut-être synonyme d'un habitat de qualité (Sztatecsny & Schabetsberger, 2005) c'est à dire avec une végétation diversifiée, une densité de proies importante (Pope & Matthews, 2002) ou une densité de sonneurs modérée (Stevens *et al*., 2002 ; Reading & Clarke, 1995). C'est également le reflet d'une bonne fitness (Jakob *et al.* 1996). St Nabor est une carrière avec une dynamique importante et un renouvellement du milieu incessant. C'est aussi un milieu très ouvert, proposant ainsi des points d'eau très ensoleillés. Cet environnement paraît très favorable au sonneur puisqu'il possèdent une condition corporelle élevée.

De plus les résultats nous indiquent que même si la situation géographique et la latitude semblent avoir une influence sur la condition des sonneurs, celle-ci est modérée. En effet Rhinau et Epfig (sites avec des conditions corporelles opposées) sont situés aux mêmes latitudes et altitudes et ont tout deux bénéficiés de travaux en faveur du sonneur. La mauvaise condition des sonneurs d'Epfig peut-être expliquée par une forte densité d'individus (Stevens *et al.,* 2002). En effet, les comptages semis quantitatifs à vue lors des prospections tout au long de la période de reproduction semblent indiquerque le massif forestier d'Epfig accueille un plus de sonneurs que les autres sites. Un grand nombre d'individus devrait être synonyme de beaucoup d'échanges génétiques et d'une bonne fitness. Or ce n'est pas ce qui est observé. Un sexe ratio

biaisé en faveur des mâles pourrait limiter la reproduction et pourrait être responsable d'une forte compétition intraspécifique. Cette compétition pour les ressources pourrait être responsable d'une diminution des réserves en graisse chez les adultes. La mauvaise condition corporelle peut également être expliquée pas un réseau routier relativement dense aux alentours d'Epfig, ce qui pourrait avoir un effet négatif sur la dynamique des populations notamment en empêchant les déplacements des femelles qui fractionnent leur ponte dans l'espace. En outre cette fragmentation peut limiter les flux de gènes, ce qui réduirait la variabilité génétique. Les capacités d'adaptation des populations s'en trouverait affaiblit, ce qui pourrait engendrer une perte de fitness à Epfig (Frankham *et al*., 2004). Un protocole plus adéquat d'estimation des populations pourrait être mis en place lors d'une prochaine étude. De plus, les actions de création de mare en faveur du sonneur à ventre jaune sur ce site ne semblent pas suffisantes. En effet, une connectivité plus importante permettrait peut-être d'améliorer l'état de conservation de cette population.

Enfin, le site d'Altkirch, carrière semblable à celle de Saint-Nabor, présente des sonneurs avec une condition corporelle faible. Les facteurs écologiques défavorables des sites de la carrière d'Altkirch comme par exemple le taux d'hélophytes important dans les points d'eau induisent certainement cette différence.

Les indices résiduels négatifs des individus des autres sites peuvent refléter une fitness inférieur et une faible qualité d'habitat. Ces résultats montrent donc qu'une partie de la population alsacienne de *B. variegata* présente un indice de mauvais état de conservation. Des estimations de la taille des populations permettraient d'évaluer les effectifs des sites et ainsi de savoir si la mauvaise condition corporelle observée est liée à une densité trop importante. En outre des analyses génétiques permettraient de caractériser la structure des populations et ainsi de déceler un éventuel effet de la fragmentation. Il faut également savoir que chez certaines espèces d'amphibiens, comme le crapaud commun (*Bufo bufo*) un très été sec peut diminuer la condition corporelle de l'année suivante (Reading & Clarke, 1995). Il se peut donc que les conditions corporelles de 2012 soient très faibles.

CONCLUSION

La mise en évidence des caractéristiques influençant la présence de *Bombina variegata* a révélé une écologie complexe. Les facteurs jouant sur la présence du sonneur sont la présence de **compétiteurs** et d'**hydrophytes**, d'une **topographie du fond de la mare hétérogène**, et d'un **faible recouvrement**. En outre des interactions de variables jouent également sur l'occurrence du sonneur. L'interaction **hélophytes - hydrophytes** n'est pas un critère écologique favorable au sonneur, tout comme la présence de **compétiteurs et de prédateurs** au même moment dans la mare. Par contre une mare présentant des **prédateurs, mais en même temps une topographie hétérogène** va avoir un effet positif sur l'occurrence de l'espèce. C'est une première caractérisation qu'il serait intéressant d'affiner. Les interprétations des résultats mènent à définir l'habitat du sonneur selon plusieurs échelles. En effet, cette étude s'est restreinte au contexte local de l'habitat. Cependant, une échelle plus globale définissant la matrice paysagère est également à prendre en compte, mais aussi et surtout la description du microhabitat semble déterminante pour mieux comprendre l'écologie du sonneur à ventre jaune.

De plus, le printemps 2011 fut caractérisé par des précipitations inférieures aux normales saisonnières (source : données Météo France). L'écologie du sonneur a sûrement été perturbée, ce qui l'a probablement conduit à orienter différemment la sélection du site de reproduction. Il était notamment absent de sites asséché. En outre, beaucoup de variables pertinentes chez d'autres espèces ou responsables de la perte de biodiversité n'ont pas été prise en compte dans cette analyse. Cette étude caractérise l'écologie de l'habitat de *Bombina variegata*, mais reste à approfondir.

Ce rapport met aussi en évidence un **état relativement mauvais de conservation de la population** alsacienne de sonneurs à ventre jaune. En effet sur 12 groupes étudiés, seuls deux présentent des conditions corporelles positives, reflet d'une bonne fitness et d'un habitat optimal. L'environnement du site semble jouer un rôle très important sur la condition corporelle des individus. En effet deux sites sont à signaler comme des habitats adéquats pour le sonneur

(Saint-Nabor et Rhinau). L'ensemble des autres sites ne semble pas offrir des conditions pour un bon état de conservation pour *Bombina variegata.* Ces premiers résultats sur les populations de sonneurs à ventre jaune d'Alsace montrent une écologie très complexe chez cette espèce. Même si celle-ci est encore relativement bien représentée en Alsace, plus des trois quarts des sites étudies cette année ne semblent pas accueillir des populations qui auront un recrutement suffisant dans les années à venir. Ceci est peut-être synonyme d'un futur déclin dans la région. Cette étude pourra être poursuivie en augmentant l'effort d'échantillonnage et en intégrant d'autres aspects d'étude (estimation de la taille des populations, études génétiques…).

L'ensemble de ces données pourra participer à l'élaboration du PNA proposé par le MEEDDAT ayant pour objectif de favoriser les actions permettant de maintenir les populations de sonneurs dans un bon état de conservation. Ce plan d'action sera décliné au sein de la région Alsace par l'association BUFO. Les actions à mener passent notamment par la **création** ou la **restauration** de milieux. Certains travaux en ce sens, à Rhinau notamment, ont déjà pu être réalisés ces dernières années dans le cadre d'autres programmes de conservation. En termes de gestion des habitats, ce rapport préconise donc la création de mares en forêt avec faible recouvrement et un fond hétérogène. Si des mares doivent être restaurées, un simple éclaircissement sera à envisager. La présence d'autres amphibiens ne devrait pas constituer d'obstacle à la colonisation de *B. variegata*. En absence de dynamique naturelle, les perturbations anthropiques (telles que les activités en carrières ou de sylviculture) restent des éléments importants dans l'écologie du sonneur, permettant ainsi un renouvellement régulier des pièces d'eau. La question de l'intervention anthropique dans la gestion des habitats naturels doit donc être réfléchit et mise en place avec l'ensemble des acteurs du site.

BIBLIOGRAPHIE

Anderson, R. O. & Neumann, R. M. 1996. Length, weight, and associated structural indices. In: *Fisheries techniques 2nd Edition*, pp. 447-482. Bethesda, Maryland.

Bancila, R. I., Hartel, T., Plaiasu, R., Smets, J. & Cogalniceanu, D. 2010. Comparing three body condition indices in amphibians: a case study of yellow-bellied toad *Bombina variegata*. *Amphibia-Reptilia*, 31, 558-562.

Banks, B. & Beebee, T. J. C. 1987. Factors influencing breeding site choice by the pioneering amphibian *Bufo calamita*. *Holarctic Ecology*, 10, 14-21.

Barandun & Reyer. 1997a. Reproductive ecology of *Bombina variegata*: characterisation of spawning ponds. *Zoological institute*.

Barandun & Reyer. 1997c. Reproductive ecology of *Bombina variegata*, development of eggs and larvae. *Journal of Herpetology*, 31, 107-110.

Barandun & Reyer. 1998. Reproductive ecology of bombina variegata: habitat use. *Correspondance avec Reyer*.

Berven, K. A. 1990. Factors Affecting Population Fluctuations in Larval and Adult Stages of the Wood Frog (*RanaSylvatica*). *Ecology*, 71, 1599-1608.

Beshkov, V. A. & Jameson, D. L. 1980. Movement and abundance of the Yellow-Bellied Toad *Bombina variegata*. *Herpetologica*, 4, 365-370.

Collins, J. P. & Storfer, A. 2003. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions*, 9, 89-98.

Comité français de l'UICN. 2009. La Liste rouge des espèces menacées en France. Reptiles et Amphibiens de France métropolitaine.

Denoël, M., Hervant, F., Schabetsberger, R. & Joly, P. 2002. Short- and long-term advantages of an alternative ontogenetic pathway. *Biological Journal of the Linnean Society*, 77, 105-112.

Dino, M., Milesi, S. & Di Cerbo, A. R. 2009. A long term study on *Bombina variegata* (Anura: Bombinatoridae) in the "Parco dei Colli di Bergamo" (North-Western Lombardy). Congresso Nazionale Societas Herpetologica Italica.

Duellman, W. E. & Trueb, L. 1986. *Biology of Amphibians*. Baltimore and London.

Duguet, R. & Melki, F. 2003. *Les Amphibiens de France, Belgique et Luxembourg.* Biotope.

Frankham, R., Ballou, J. D., Briscoe, D. A. & McInnes, K. H. 2004. *A Primer of Conservation Genetics*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo.

Gardiner, D., Ndayibagira, A., Grün, F. & Blumberg, B. 2003. Deformed frogs and environmental retinoids. *Pure and Applied Chemistry*, 75, 2263–2273.

Grosselet, O., Gouret, L. & Dusoulier, F. 2011. *Les Amphibiens et les Reptiles de la Loire-Atlantique à l'aube du XXI^{e} siècle*. Saint-Sébastien-sur-Loire.

Hartel, T., Nemes, S. & Mara, G. 2007. Breeding phenology and spatio-temporal dynamics of pond use by heyellow-bellied toad (*Bombina variegata*) population: The importance of pond availibility and duration. *Acta Zoologica Lituanica*, 17, 56-63.

Hoey, A. S. & McCormick, M. I. 2004. Selective predation for low body condition at the larval-juvenile transition of a coral reef fish. *Oecologia*, 23-29.

Jakob, M. E., Marshall, S. D. & Uetz, G. W. 1996. Estimating fitness: a comparison of body condition indices. *Oikos*, 77, 61-67.

Lescure, J., Pichenot, J. & Cochard, P.-O. 2011. Régression de *Bombina varigata* (Linné, 1758) en France par l'analyse de sa répartition passée et présente. *Bulletin de la Société Herpétologique de France*, 137, 5-41.

Morand, A. 1997. Stabilité relative des habitats de développement larvaire et de reproduction de *Bombina variegata* et *Bufo calamita* : l'insuffisance des Modèles r-K et r-K-A. *Geobios*, 21, 23-36.

Morrison, F. C. & Hero, J.-M. 2003. Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology*, 72, 270–279.

Odonat 2003. *Les listes rouges de la nature menacée en Alsace*. Collection Conservation, Strasbourg.

Newman, R. A. 1987. Effects of density and predation on *Scaphiopus couchi* tadpoles in desert ponds. *Oecologia*, 71, 301-307.

Pichenot, J. 2008. Contribution à la Biologie de la Conservation du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata* L.). Écologie spatiale et approche multi-échelles de la sélection de l'habitat en limite septentrionale de son aire de répartition, Université de Reims Champagne-Ardenne.

Plytycz, B. & Bigaj, J. 1984. Preliminary studies on the growth and movements of the Yellow-Bellied Toad, *Bombina variegata* (Anura: Discoglossidae). *Amphibia-Reptilia*, 5, 81-86.

Pope, K. L. & Matthews, K. R. 2002. Influence of anuran prey on the condition and distribution *of rana muscos*a in the sierra nevada. *Herpetologica*, 58, 354-363.

Scott, D. E. 1994. The Effect of Larval Density on Adult Demographic Traits in *Ambystoma Opacum*. *Ecology*, 75, 1383–1396.

Reading, C. J. & Clarke, R. T. 1995. The effects of density, rainfall and environmental temperature on body condition and fecundity in the common toad, *Bufo bufo*. *Oecologia*, 102, 453-459.

Sell, Y., Berchtold, J.-P., Callot, H., Hoff, M., Gall, J.-C. & Walter, J.-M. 1998. *L'Alsace et les Vosges. Géologie, milieux naturels, flore et faune*. Paris.

Smith, D. C. 1983. Factors Controlling Tadpole Populations of the Chorus Frog (*Pseudacris Triseriata*) on Isle Royale, Michigan. *Ecology*, 64, 501-510.

Stevens, V., Wesselingh, R. & Baguette, M. 2002. Traits d'histoire de vie dans une population de Crapaud calamite, *Bufo calamita* (Anura: Bufonidae) en Brabant Wallon. *Bulletin de la Société Herpétologique de France*, 104, 36-56.

Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L.,
Sztatecsny, M. & Schabetsberger, R. 2005. Into thin air: verticale migration, body condition, and quality of terrestrial habitats of alpine common toad, *Bufo bufo*. *Canadian Journal of Zoology*, 83, 788-796.

Temple, H. J. & Cox, N. A. 2009. European Red List of Amphibians. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities.

Thiriet, J. & Vacher, J.-P. 2010. *Atlas de répartition des Amphibiens et Reptiles d'Alsace*. BUFO, Colmar/Strasbourg.

WEBOGRAPHIE

http://france.meteofrance.com/france/actu
Données météorologiques 2011

http://infoterre.brgm.fr/
Classement en patrimoine naturel des sites étudiés

http://www.iucnredlist.org/
La liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature

http://www.ortal.eu/#
Observatoire Régional des Transports et de la logistique d'Alsace

GLOSSAIRE

Convention Ramsar : La Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971) est un traité intergouvernemental qui tend à maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides d'importance internationale et à planifier « leur utilisation rationnelle », ou durable (http://www.ramsar.org).

CSA : Conservatoire des sites alsaciens, association dont l'activité consiste à protéger les milieux naturels au moyen de la maîtrise foncière, c'est-à-dire, par l'acquisition, la location ou des accords pour la gestion d'espaces naturels (www.conservatoire-sites-alsaciens.eu).

Fitness : ou valeur adaptative, c'est une mesure de la sélection naturelle. C'est le nombre de descendants viables et fertiles que produit un individu.

IUCN : Union internationale pour la conservation de la nature, organisation non-gouvernementale qui établi la Liste rouge de la faune et de la flore menacée au niveau mondial et qui participe à divers programmes de conservation de par le monde (http://www.iucn.org).

Natura 2000, Directive Habitats- Faune-Flore, Directive Oiseaux : Réseau de sites écologiques dont les deux objectifs sont de préserver la diversité biologique et de valoriser le patrimoine naturel des territoires européens. Les directives « Oiseaux » (1979) et « Habitats-faune-flore » (1992) établissent la base réglementaire de ce réseau écologique. Les sites désignés au titre de ces deux directives forment le réseau Natura 2000 (http://www.natura2000.fr).

Programme LIFE : Lancé par la Commission européenne en 1992, le programme LIFE (L'Instrument financier pour l'environnement) contribue à la mise en œuvre, l'élaboration et la facilitation de la politique et de la législation communautaires en matière d'environnement, ainsi qu'à l'intégration de l'environnement dans d'autres politiques de l'UE. Il est maintenant remplacer par les programmes LIFE+. (http://europa.eu/index.fr).

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF), ces zones ont pour objectif d'identifier et de décrire des secteurs présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation. On distingue les ZNIEFF de type I et de type II (http://inpn.mnhn.fr).

ANNEXES

ANNEXE 1

Complément d'informations sur le sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*)

Classe : Amphibia

Ordre : Anura

Famille : Bombinatoridae

Genre : *Bombina*

Espèce : *Bombina variegata*

(Linnaeus, 1758)

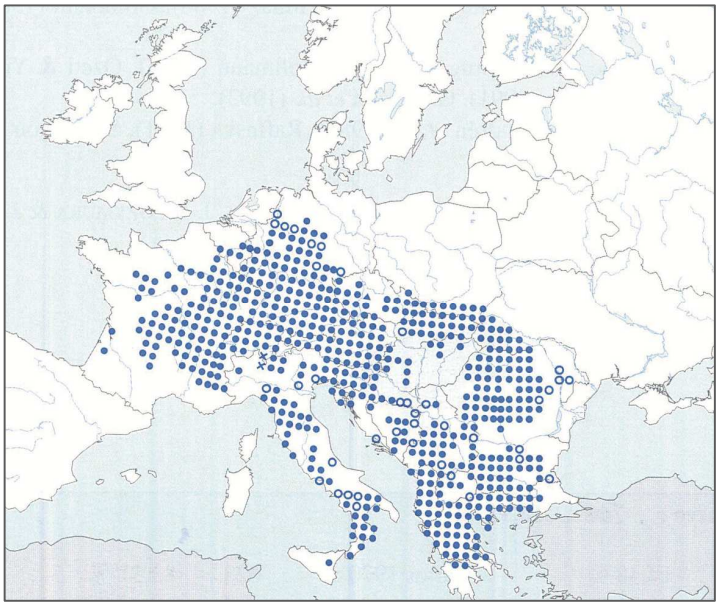
Nom Anglais : Yellow-Bellied Toad

Nom Allemand : Gelbauchunke

***Bombina variegata*. © Renoux, C**

Répartition/Abondance : Son aire s'étend de la France jusqu'en Moldavie vers l'est, et du centre de l'Allemagne vers le nord jusqu'à la Grèce et la Sicile vers le sud.

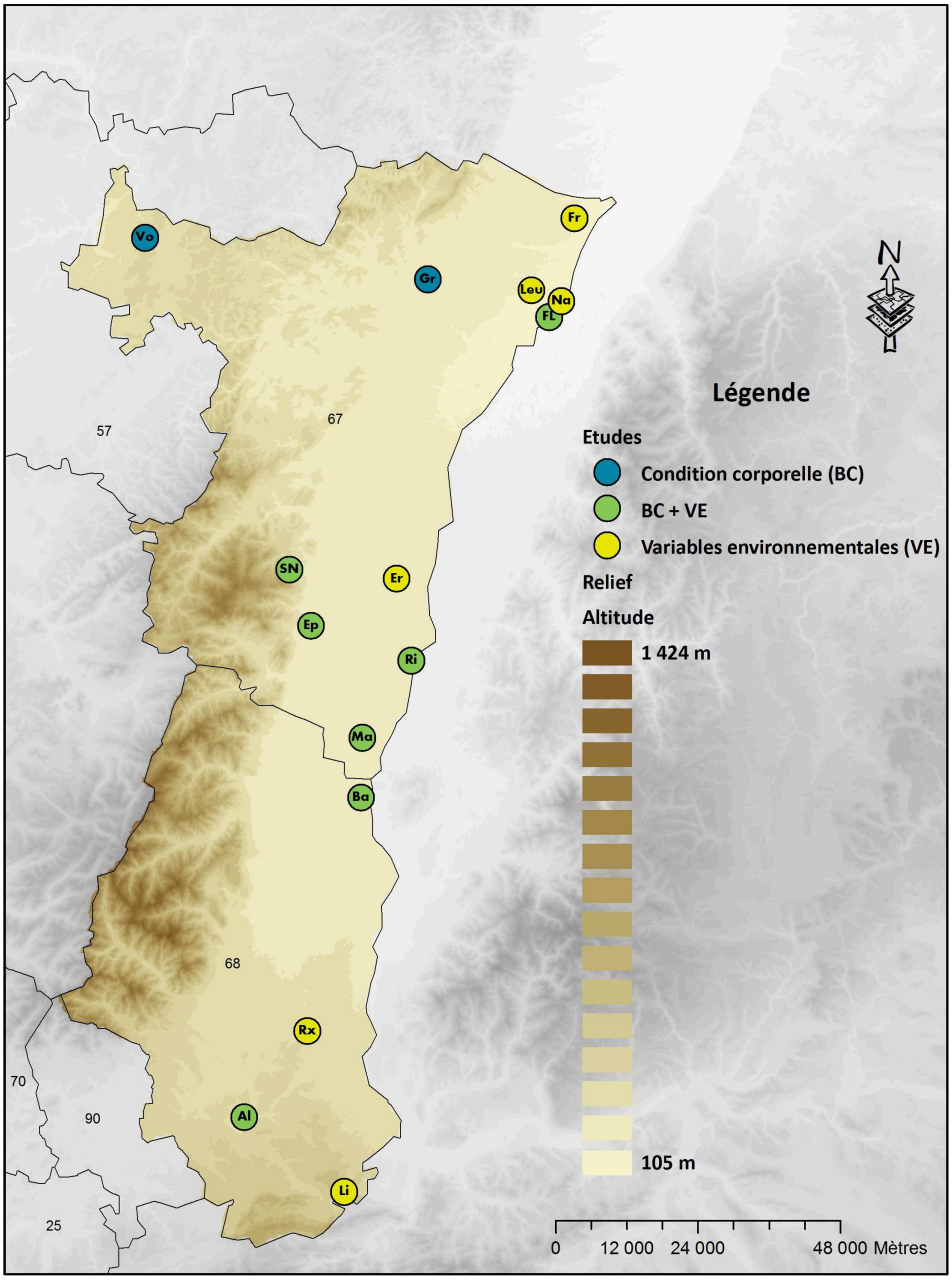
Régime : Le sonneur adulte se nourrit de lombric, de petites limaces et d'insectes. Les jeunes consomment également des insectes, mais aussi algues et diatomées.



Carte de répartition de *Bombina variegata.* Source MNHN/SEH, 1997

ANNEXE 2

Complément d'informations sur l'étude



***Bombina variegata*. Rhinau, © Renoux.C**

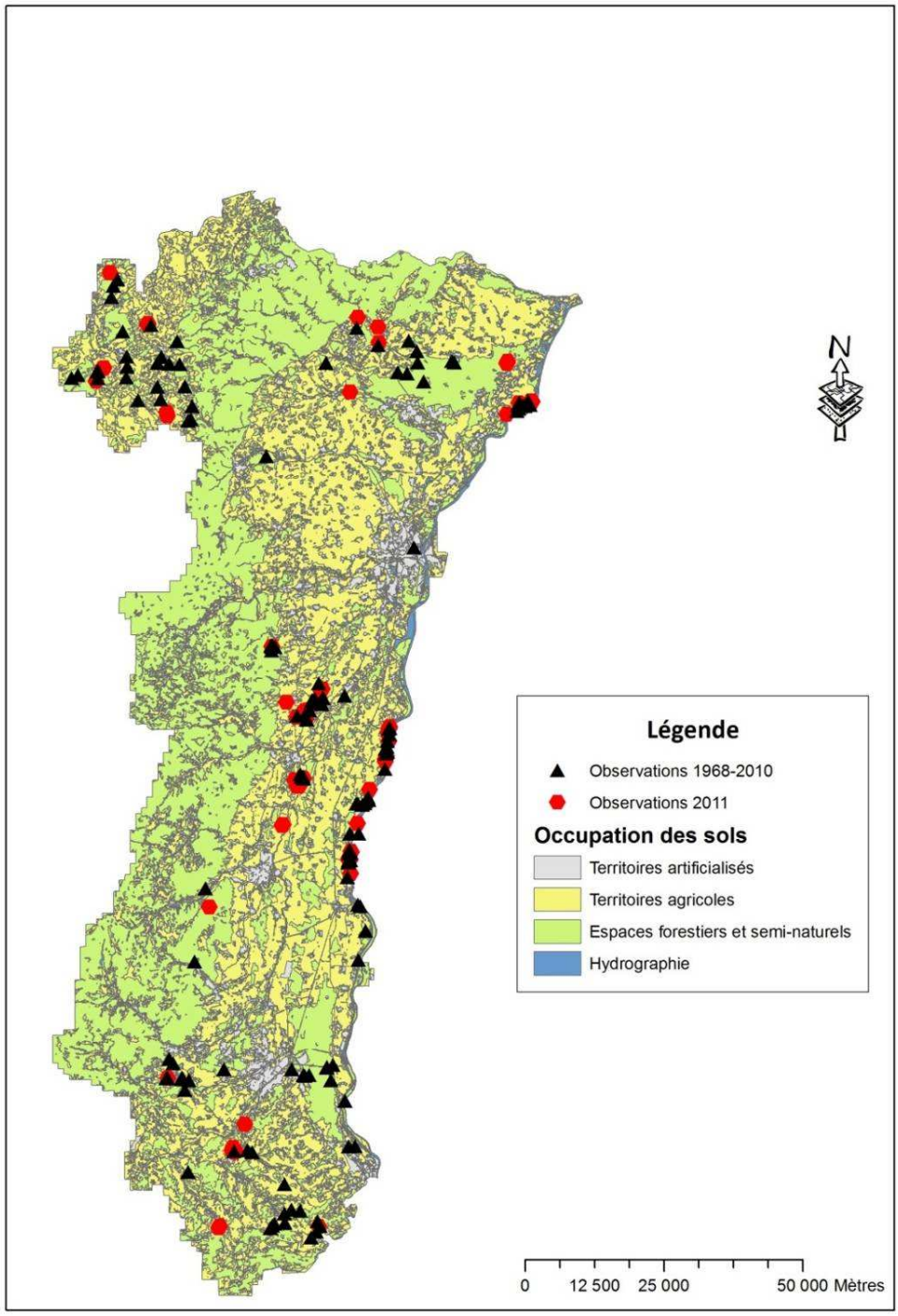
Amplexus de *Bombina variegata*. Rhinau, © Renoux C.

Mesure de la SVL à l'aide d'un pied à coulisse digital. Rhinau, © Renoux C.

Mesure de la masse à l'aide d'un peson. Mackenheim, © Renoux C.

ANNEXE 2

Cartes : Observations du sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) depuis 1968 en Alsace (Source : Base de données de l'association BUFO, 2011)



ANNEXE 3

Photos : Sites étudiés

Mare à Erstein (67), Réserve Naturelle. © Vacher, J.-P.

Fossé en bord de route à Fort-Louis (67). © Vacher, J.-P.

Mare à Leutenheim (67). © Vacher, J.-P.

Mare à Neuhaeusel (67) créée en 2010 en bordure d'une ancienne gravière. © Vacher J.-P

Ornières forestières à Liebenswiller (68). © Vacher, J.-P.

Roselière à Rixheim (68), ancienne carrière. © Vacher, J.-P.

Roselière à Epfig (67). Autoroute en arrière plan. © Michel, V.

Ornières à Rhinau (67). © Vacher, J. –P.

Abstract:

The Yellow-bellied toad (*Bombina variegata*) is an amphibian of Eastern Europe. It disappeared from the western regions of France and it is vulnerable in the western limit of its range. A national action plan (NAP) is launched by the ministry of ecology to set up operations in favor of this species. In Alsace, *B. variegata* is declining. In order to better respond to the NAP, the ecological requirements of the Yellow-bellied toad must be understood and integrated into the actions plan. The first part of this study deals with the characterization of reproductive habitats of the Yellow-bellied toad in Alsace. 16 factors were studied on 13 sites (113 ponds). Competitors, hydrophytes and an heterogeneous topography of the bottom of the pond seem to be attractive to *B.variegata*. Furthermore shadowy ponds are not used by the Yellow-bellied toad. Interactions of ecological variables seem to be favorable for this species too. Indeed, a pond with predators will become attractive when it also has an heterogeneous bottom. Nevertheless, interaction of helophytes - hydrophytes and competitors - predators are not conducive to the presence of the species. The second part of this study highlights the relatively bad quality of some alsacian populations. The residual index was used to estimate the body condition of 9 population's site. Indices of body condition show that the sites located in the hills present more favorable habitats for the Yellow-bellied toad. Finally, sites also have Yellow-bellied toad with different body conditions. Only two of nine sites have *B. variegata* in a good body condition. The complex ecology of the toad makes it fragile and difficult to maintain it in a good state of conservation. Management of natural areas must be doing through the creation and restoration of environments by taking into account recommendations of this report for increasing the quality of habitats and thus keep this species in a good state of preservation.