



UNIVERSITE D'ANGERS

Faculté des sciences  
2, boulevard Lavoisier  
49 045 ANGERS



Laboratoire d'Ecologie Animale

# Les variations des communautés d'Amphibiens en fonction du réseau hydraulique de la Loire en Maine-et-Loire



Rapport de stage de Master 1 Ecologie et Biologie des Populations

**Alexandre MONGUILLON**

Référent :  
**Alain PAGANO**,  
Maître de conférence au Laboratoire  
d'Ecologie Animale

Maître de stage :  
**Aurélie JOHANET**,  
Doctorante au Laboratoire  
d'Ecologie Animale

*Année universitaire : 2005/2006*

|  |  |
|--|--|
| <p align="center"><b>Université d'Angers</b><br/> <b>Faculté des Sciences</b><br/> 2 boulevard Lavoisier<br/> 49045 Angers Cedex</p>   | <p align="center"><b>Master 1</b><br/> <b>Environnement et Écologie</b></p>                            |
| <p align="center">Responsable du Master<br/> <b>Professeur Thierry LODE</b></p>  | <p align="center"><b>Date de soutenance</b><br/> 27 – 29 juin 2006</p>                                 |
| <p align="center">Auteur<br/> <b>Alexandre MONGUILLON</b></p>  | <p align="center">Organisme d'accueil<br/> Laboratoire d'Écologie Animale<br/> Université d'Angers</p> |
| <p align="center">Année universitaire 2005 /2006</p>   | <p align="center">Maître de stage<br/> <b>Aurélie Johanet (Doctorante)</b></p>                         |
| <p><b>Titre</b> : Les variations des communautés d'Amphibiens en fonction du réseau hydraulique de la Loire en Maine-et-Loire.</p>   |  |
| <p><b>Résumé</b> : Depuis quelques années, la crise de la biodiversité se traduit par l'accélération des taux d'extinction des espèces. Dans ce contexte, les Amphibiens font partie des groupes où la proportion d'espèces menacés est la plus importante. Le déclin des Amphibiens fait de ces organismes de bons indicateurs pour étudier la diversité biologique. Cette étude a été effectuée au niveau des annexes hydrauliques de la Loire, en Maine-et-Loire et a permis d'évaluer l'influence du réseau hydraulique de la Loire sur les peuplements d'Amphibiens. Les peuplements d'Amphibiens, la diversité et la richesse spécifiques en Amphibiens ont été comparées entre elles en fonction d'autres variables telles que la situation, la distance par rapport au fleuve, le type de mare et l'habitat. Il ressort de cette étude que moins l'influence du cours d'eau se fait sentir plus les richesses spécifiques en Amphibiens sont importantes et plus les contributions relatives de chaque espèce s'équilibrent. La bonne connaissance des facteurs biotiques et abiotiques qui structurent les communautés d'Amphibiens est nécessaire pour orienter les travaux de gestion et de restauration de ces écosystèmes particuliers.</p> |  |
| <p><b>Mots – clés</b> : Amphibiens, Loire, zones humides, biodiversité, hydropériode.</p>  |  |
| <p><b>Abstract</b> : Since years, the crisis of biodiversity traduce by the acceleration of extinction rate of species. In this context, the Amphibians belong to groups where the proportion of threaten species is the most important. Decline of Amphibians makes of these organims good indicators to study biological diversity. This study has been done on the Loire floodplain, in Maine-et-Loire and has allowed to value the influence of hydraulic network of the Loire on Amphibians communities. Communities, diversity and specific richness of Amphibians have been compared between them according to other variables such as the situation, the distance from the river, the type of pond and the habitat. This study shows that less the influence of river is strong, more specific richness in Amphibians are important and more the relative contributions of each species are in balance. The good knowledge of biotic and abiotic factors which structure Amphibians communities are necessary to orientate management and restauration of these particulars ecosystems.</p>  |  |
| <p><b>Keywords</b> : Amphibians, Loire, wetlands, biodiversity, hydroperiod.</p>   |  |

## REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement Aurélie JOHANET qui m'a proposé ce sujet de stage et qui m'a transmis ses connaissances naturalistes. Sans son soutien, sa disponibilité, ses conseils, et sa rigueur scientifique, ce rapport n'aurait pu être complet.

Je remercie également Alain PAGANO d'avoir accepté d'être mon référent pour ce travail d'étude et d'avoir rédigé tant de publications sur les Grenouilles vertes !

Merci à Guillaume RETHORE, Richard ROBIN, Fabien SOLE, Edouard BESLOT, Mathilde LEFRERE et Julien FREMONDIERE de m'avoir accompagné sur le terrain jusque tard dans la nuit et pour leur aide précieuse concernant la collecte des données.

Ce stage a été possible grâce au soutien financier de la DIREN Pays-de-la-Loire.

# Sommaire

## INTRODUCTION.....p.1

## MATERIEL ET METHODES.....p.3

*Présentation du site.....p.3*

*Descriptifs des sites étudiés.....p.5*

*Protocole d'échantillonnage.....P.5*

*Description des espèces d'Amphibiens rencontrées.....p.7*

*au niveau des annexes hydrauliques de la Loire*

*Analyse des données.....p.12*

**Occurrence des espèces.....p.12**

**Analyse thématique.....p.12**

**Richesses spécifiques.....p.12**

**Indices de Simpson.....p.13**

**Histogrammes empilés.....p.13**

**ACP.....p.14**

## RESULTATS.....p.15

*Résultats par espèce.....p.15*

*Résultats par site.....p.15*

**Analyse thématique.....p.15**

**Richesses spécifiques et Indices de Simpson.....p.16**

**Histogrammes empilés.....p.19**

**ACP.....p.22**

## DISCUSSION.....p.23

*Facteurs qui structurent les communautés d'Amphibiens.....p.23*

**Généralités.....p.23**

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Hydropériodicité</b> .....                                | p.23        |
| <b>Poissons</b> .....  | p.24        |
| <b>Habitat</b> .....   | p.25        |
| <b>Autres facteurs</b> .....                                 | p.26        |
| <i>Dégradation et fragmentation des milieux</i> .....        | p.26        |
| <b>Destruction de l’habitat</b> .....                        | p.26        |
| <b>Altération de la connectivité et métapopulation</b> ..... | p.27        |
| <b>Autres problèmes</b> .....                                | p.28        |
| <i>Restauration des peuplements d’Amphibiens</i> .....       | p.28        |
| <b>Paysage et conservation</b> .....                         | p.28        |
| <b>Les plaines d’inondation</b> .....                        | p.29        |
| <b>Habitats forestiers et zones humides</b> .....            | p.30        |
| <b><u>CONCLUSION</u></b> .....                               | <b>p.31</b> |
| <b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b> .....                            | <b>p.32</b> |
| <b><u>ANNEXES</u></b> .....                                  | <b>p.35</b> |

## INTRODUCTION

L'extinction massive des espèces pendant les temps géologiques et les extinctions locales pendant les temps écologiques sont des événements normaux et bien documentés ; cependant les taux d'extinction des espèces animales et végétales s'accroissent depuis quelques années (Blaustein et al. 1994). Selon certaines estimations, le rythme actuel d'extinction des espèces serait de 100 à 1000 fois supérieur à celui des derniers millénaires et plus de 10000 espèces disparaîtraient chaque année. La taille de nombreuses populations d'Amphibiens fluctue naturellement en fonction du temps (Beebee & Griffiths 2005). Néanmoins, les Amphibiens font partie de ces groupes où la proportion d'espèces menacées est la plus importante : d'après l'IUCN (The World Conservation Union), 1/3 des espèces d'Amphibiens sont en déclin. Les causes principales de leur déclin sont la destruction et la fragmentation des habitats. D'autres causes possibles sont l'intensification de l'agriculture (utilisation de fertilisants et de pesticides, augmentation de la surface des champs cultivés), le trafic routier qui est un facteur de mortalité important lors des migrations vers les sites de reproduction, les pluies acides, l'augmentation de l'exposition aux rayons UV-B, les maladies infectieuses, l'introduction d'espèces, l'exploitation pour la consommation et les changements climatiques (Beebee 1997 ; Hamer et al. 2002 ; Beebee & Griffiths 2005 ; Cushman 2005) .

Le déclin des Amphibiens fait de ces organismes de bons indicateurs pour étudier la diversité biologique, et leur rôle dans la question de la crise de la biodiversité est de plus en plus important (Semlitsch & Bodie 1998 ; Beebee & Griffiths 2005). Les Amphibiens constituent la biomasse principale de vertébrés dans beaucoup de zones humides et ils ont un rôle-clé dans la chaîne trophique de l'écosystème : les adultes sont prédateurs d'invertébrés et constituent une bonne source de nourriture pour des prédateurs de rang plus élevé comme les hérons et certains poissons (Blaustein et al. 1994 ; Godreau et al. 1999).

Des menaces particulières pèsent sur les Amphibiens inféodés au cours d'eau (Beebee & Griffiths 2005). Au niveau des annexes hydrauliques, la proximité de la rivière joue un rôle essentiel dans les fluctuations annuelles du niveau hydraulique : le retrait et le remplissage sont plus ou moins tardifs et importants, et l'eau elle-même est renouvelée tous les ans ou seulement lors des grandes crues. L'hétérogénéité spatio-temporelle de ces habitats engendre

une biodiversité élevée dans les paysages riverains (Ward 1998). L'influence du fleuve a donc des conséquences importantes sur la composition et la diversité de la vie animale et végétale des annexes hydrauliques. Cependant, les pratiques culturelles passées et les pressions de développement actuelles menacent l'intégrité écologique de nombreuses rivières et de leurs zones humides associées (Mensing et al. 1998). En effet, les impacts anthropogéniques tels que la régulation des crues, la canalisation et la stabilisation des berges, en rompant les régimes naturels de perturbation et en tronquant les gradients environnementaux et les corridors biologiques, éliminent les liens entre l'amont et l'aval du ruisseau et isolent les chenaux de rivière du système rivière – plaine d'inondation (Ward 1998).

Des études relativement récentes ont été menées sur les communautés d'Amphibiens en vallée alluviale (Godreau et al. 1999 ; voir Pagano et al. 2001b). Ces travaux ont montré que les vallées alluviales possédaient une richesse spécifique élevée en Amphibiens : 13 espèces dans la haute vallée du Rhône et le même nombre d'espèces dans la vallée de la Saône (4 Urodèles et 9 Anoures). Cette importante richesse est entre autres due à des niveaux intermédiaires de perturbations et de connectivité au sein des plaines d'inondation et à l'hétérogénéité élevée des biotopes (Ward et al. 1999).

Les peuplements d'Amphibiens, la diversité et la richesse spécifiques en Amphibiens ont été étudiés sur 44 sites au niveau du réseau hydraulique de la Loire. Ces données ont été comparées entre elles en fonction d'autres variables telles que le type de mare, la distance par rapport au fleuve, l'habitat (forestier ou ouvert) et la situation (vallée ou plateau). Afin de pouvoir discuter des résultats obtenus, il est indispensable de connaître les facteurs biotiques et abiotiques qui structurent les communautés d'Anoures et d'Urodèles. La bonne connaissance des peuplements d'Amphibiens permet d'orienter les travaux de gestion et de restauration de ces écosystèmes particuliers.

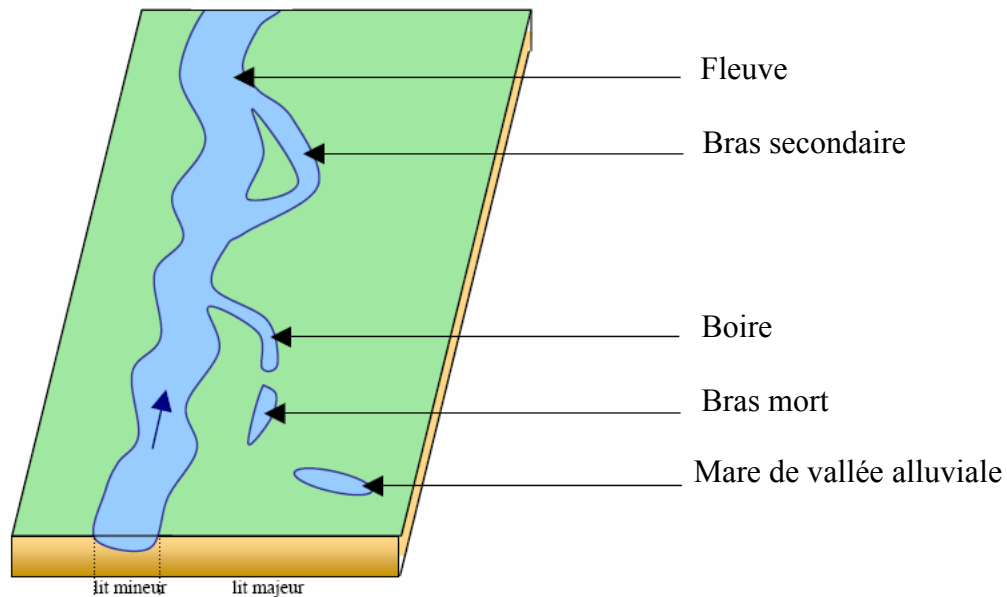
## MATERIEL ET METHODES

### *Présentation du site*

Avec une longueur totale de 1012 km, la Loire est le plus long fleuve français. Son bassin, d'une superficie totale de 117000 km<sup>2</sup>, s'étend de l'Ardèche montagnarde à la Bretagne et recouvre 1/5 du territoire français (Bouchardy 2002). Le Massif central fournit toutes les eaux, ou presque : pluies océaniques, orages d'origine cévenole et neige inconstante. Le climat est un des facteurs principaux influençant l'installation des espèces (Godreau et al. 1999). En vallée de la Loire, il est tempéré et océanique : les hivers sont pluvieux et relativement doux (moins de 60 jours de gelée par an) et le semestre le plus sec et chaud (avril-septembre) bénéficie d'une moyenne thermique de 15°C. Selon les saisons, le débit de la Loire peut varier de 9000 m<sup>3</sup> par seconde en période de crue à 5 m<sup>3</sup>/s lorsque le fleuve est en basses eaux (étiages).

Par le biais d'évènements hydrologiques tels que les crues et les étiages, l'hydrologie est l'un des moteurs de la dynamique fluviale (Bouchardy 2002). Les cours d'eau sont des systèmes ouverts régis par des entrées et des sorties permanentes d'eau et de matière. Ces flux liquides et solides, avec d'autres paramètres physiques tels que la pente de la vallée et la granulométrie des sédiments des berges et du lit, contribuent à modeler les formes de l'hydrosystème fluvial. A cet hydrosystème, dont l'axe principal est longitudinal (de l'amont vers l'aval), s'ajoute un axe latéral (du cours d'eau vers le lit majeur) qui s'accompagne de biotopes typiques façonnés par ce moteur géodynamique (Bouchardy 2002). En suivant la coupe transversale théorique d'un cours d'eau, il est possible de décomposer la Loire en deux espaces emboîtés : le lit mineur et le lit majeur. Le lit mineur correspond à l'espace fluvial formé d'un chenal unique ou de chenaux multiples et de bancs de sable ou galets, recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement (Bouchardy 2002). Le lit majeur, ou plaine alluviale, est plus rarement inondé ; à ce lit majeur sont associées les annexes hydrauliques (*cf.* **Figure 1**) : bras secondaires, boires, bras morts, mares alluviales, prairies inondables, marais et marécages. Ces dépendances de la Loire situées dans le lit majeur ou lit d'inondation sont des écosystèmes interconnectés par le réseau hydrologique de surface ou

par le réseau souterrain, hydrauliquement actifs à partir d'une certaine hauteur de la ligne d'eau (Malavoi & Souchon 1996).



**Figure 1** : Distribution des annexes hydrauliques le long du fleuve (d'après Ward 1998)  
(→ Sens du courant)

Les annexes hydrauliques sont des zones humides qui varient entre elles par leur hauteur d'eau, par l'éloignement par rapport au cours d'eau principal et par le renouvellement plus ou moins fréquent de leur contenu aqueux ; ces pièces d'eau sont de loin les milieux aquatiques les plus variés et les plus riches en espèces.

La Loire est « le dernier fleuve sauvage d'Europe » : elle compte parmi les cours d'eau les moins aménagés du vieux continent. Ces derniers espaces de liberté permettent, tout au long de l'axe ligérien, la subsistance d'une grande variété de zones humides et semi-humides, ce qui profite à de très nombreuses espèces animales et végétales. La région du Val de Loire a été inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO en 2000. Ce site est le plus grand site classé de France, il s'étend sur 280 km entre Sully-sur-Loire dans le Loiret, et Chalonnes-sur-Loire en Anjou. La vallée de la Loire s'étendant des Ponts-de-Cé à Nantes a été classée périmètre Natura 2000. La biodiversité retrouvée dans ces annexes génère la présence de zones soumises à protection (ZPS<sup>1</sup>, ZSC<sup>2</sup>, ZIC<sup>3</sup>, ZNIEFF<sup>4</sup>, ZICO<sup>5</sup>, SI<sup>6</sup>, SC<sup>7</sup>, PNR<sup>8</sup> Loire Anjou Touraine)

Afin de limiter l'impact négatif des crues sur les constructions humaines (habitations, industries, cultures), encourager la batellerie et favoriser l'irrigation, les berges furent protégées par des enrochements, des endiguements et le tracé du fleuve fut rectifié provoquant la disparition de nombreuses zones humides qui participaient activement à l'épandage des crues et étaient le support d'une forte biodiversité. Aussi, les extractions massives de granulats ont conduit à des altérations profondes de la dynamique fluviale et de la dynamique écologique qui lui est associée.

---

<sup>1</sup> Zones de Protection Spéciale

<sup>2</sup> Zones Spéciales de Conservation

<sup>3</sup> Zones d'Intérêt Communautaire

<sup>4</sup> Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

<sup>5</sup> Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux

<sup>6</sup> Site Inscrit

<sup>7</sup> Site Classé

<sup>8</sup> Parc Naturel Régional

### *Descriptifs des sites étudiés*

Des inventaires ont été effectués en vallée alluviale ainsi qu'en plateau dans le but d'effectuer des comparaisons entre ces deux zones. Le recensement et l'estimation de la taille des populations d'Amphibiens ont été réalisés en Maine-et-Loire, France, au niveau de la Loire moyenne (à l'est d'Angers) et de la Loire aval (à l'ouest d'Angers) entre les villes de Saint-Georges-sur-Loire à l'est, La Ménittré à l'ouest, Le Thoureil au sud et Saint-Sylvain-d'Anjou au nord (*cf. Figure 2*). En projection Lambert II, les coordonnées GPS de la zone prospectée s'étendent de 361 625 m à 403 487 m pour l'axe X et de 2 267 480 m à 2 283 750 m pour l'axe Y.

Les sites de reproduction potentielles des Amphibiens furent désignées à l'aide de cartes de l'Institut Géographique National (IGN) à l'échelle 1/25000 et les annexes hydrauliques furent choisies afin de décrire un gradient de distance par rapport au cours d'eau principal (la Loire) ou aux rivières qui lui sont associées (Authion, Louet, Maine et Sarthe). Ces zones humides furent également choisies en fonction de leur taille (de 180 à 15 000 m<sup>2</sup>) et de leur accessibilité. Le **Tableau I** permet de poser clairement chaque pièce d'eau prospectée avec leur numéro d'identification correspondant.



**Figure 2 :** Cartographie schématique des 44 sites prospectés au niveau des annexes hydrauliques de la Loire en Maine-et-Loire

**Tableau I :** Liste des zones humides prospectées et numéros d'identification correspondants

| N ° d'identification | Commune - Localisation   |
|----------------------|--|
| 1                    | Angers - Mare 1 Etang St Nicolas                                       |
| 2                    | Angers - Mare 2 Etang St Nicolas                                       |
| 3                    | Brain sur Authion - Prés d'A mont                                      |
| 4                    | Juigné sur Loire - Les Prés de Bourg                                   |
| 5                    | La Bohalle - La boire du Saule   |
| 6                    | La Bohalle - La croix Dhiot (mare intermédiaire)                       |
| 7                    | La Bohalle - La croix Dhiot (mare la plus à l'Est)                     |
| 8                    | La Bohalle - La croix Dhiot (mare la plus à l'Ouest)                   |
| 9                    | La Bohalle - La Mare   |
| 10                   | La Bohalle - La Messagerie   |
| 11                   | La Bohalle - Les Minimeries (fossé)                                    |
| 12                   | La Bohalle - Les Minimeries (grande mare)                              |
| 13                   | La Bohalle - Les Minimeries (petite mare)                              |
| 14                   | La Ménittré - Boire Girard   |
| 15                   | La Ménittré - Entre LePas au Blanc et La Porte (N-O)                   |
| 16                   | La Ménittré - Entre LePas au Blanc et La Porte (S-E)                   |
| 17                   | La Ménittré - Le Pas au Blanc  |
| 18                   | La Ménittré - Les Pelouses   |
| 19                   | La Possonnière - Boire de Belle Vue                                    |
| 20                   | Les Ponts de Cé - Les Grollets   |
| 21                   | Les Ponts de Cé - Les Jubeaux  |
| 22                   | Les Ponts de Cé - Les Verdières  |
| 23                   | Le Thoureil - La Roche à vent  |
| 24                   | Murs Erigné - La Jubeaudière   |
| 25                   | Savennières - Le Bignolet  |
| 26                   | St Augustin des Bois - Le Mortier                                      |
| 27                   | St Augustin des Bois - Temps perdu                                     |
| 28                   | St Georges sur Loire - Boire Blanche                                   |
| 29                   | St Georges sur Loire - La Morinière                                    |
| 30                   | St Georges sur Loire - Les Trois Eufs                                  |
| 31                   | St Georges sur Loire - L'Oie Pelée                                     |
| 32                   | St Georges sur Loire - Parc de la Maison neuve                         |
| 33                   | St Georges sur Loire - Port Girault                                    |
| 34                   | St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste 1ère mare a gauche de l'entrée |
| 35                   | St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste 2ème mare a gauche de l'entrée |
| 36                   | St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste milieu le long route           |
| 37                   | St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste (partie Ouest)                 |
| 38                   | St Mathurin sur Loire - La Cour  |
| 39                   | St Mathurin sur Loire - La Plaine                                      |
| 40                   | St Mathurin sur Loire - Mare de la Brèche                              |
| 41                   | St Mathurin sur Loire - Moulin du Goislard                             |
| 42                   | St Rémy La Varenne - Boire des Groseillers                             |
| 43                   | St Rémy La Varenne - Boire Taro  |
| 44                   | St Sylvain d'Anjou - Château à Motte                                   |

A La première visite (février – mars) furent visitées une soixantaine de sites dont certains ont été remblayés, ne présentaient ni Amphibiens, ni caractéristiques favorables à la présence potentielle d'Amphibiens (mare emmurée) ou à la prospection (mare de particulier, végétation trop dense autour de la pièce d'eau...). Seulement 44 sites furent finalement retenus. Parmi ces 44 zones humides considérées, ont été recensées 4 bras ouverts ou boires, 5 bras morts, 22 mares de plaine alluviale et 13 mares situées plus loin sur le plateau continental.

### *Protocole d'échantillonnage*

Les Amphibiens sont des organismes poikilothermes : leur température corporelle est fonction de la température ambiante. Pendant la mauvaise période, le métabolisme des Amphibiens ralentit ; ils hibernent dans les souches d'arbre, les fissures de rocher, au fond d'un trou dans le sol, sous les pierres, sous l'eau... En hiver, la prospection de ces espèces devient alors presque impossible. D'autre part, comme leur nom l'indique, les Amphibiens possèdent des traits d'histoire de vie mixtes : ils vivent en milieu terrestre et en milieu aquatique. Les Urodèles sont plus inféodés à l'eau que les Anoures et donc la détection de ces espèces est possible tout au long de la période favorable (Printemps – Eté). En période de reproduction, les Anoures émettent des chants nuptiaux caractéristiques, ce qui permet de les détecter plus facilement et également de discriminer les espèces présentes sur un site. L'étude des populations d'Amphibiens a donc été menée pendant leur période de reproduction, cette méthode étant la plus aisée pour le recensement de ces espèces.

Le protocole d'échantillonnage est simple, standardisé et il a permis de contacter un maximum d'individus et d'espèces (Anoures et Urodèles) pour chaque site prospecté. Les dates de prospection ont été déterminées en fonction des cycles biologiques des espèces potentiellement présentes. Les espèces qui se reproduisent le plus précocement (*Rana dalmatina*, *Bufo bufo*, *Bufo calamita*, *Pelodytes punctatus*, Urodèles) ont fait l'objet d'une première prospection pendant les mois de février et mars. Une deuxième visite fut consacrée aux espèces d'Anoures dont la reproduction est plus tardive (complexe des Grenouilles vertes, *Hyla arborea*, *Bufo calamita*, *Alytes obstetricans*, Urodèles), effectuée en avril-mai. Bien que les Urodèles soient également actifs pendant la journée, la majorité des Anoures ne chantent qu'à la nuit tombée, c'est donc à partir de ce moment que les visites ont commencé. Le même

effort d'échantillonnage a été effectué sur toutes les zones visitées. Dès l'arrivée sur un site, une première écoute de quelques minutes permettait d'évaluer qualitativement les Anoures présents (mâles). Puis, la visite consistait en une marche lente le long des berges (5 à 7 mètres / minute), avec pour tout équipement des combinaisons étanches, un GPS (utile pour géo-référencer les mares temporaires), une lampe torche et une épuisette. La détection des Anoures s'est faite par audition (pour les mâles chanteurs) et en prospectant visuellement la surface de l'eau (pour les mâles, femelles, juvéniles, têtards et pontes) en l'éclairant avec une torche. Pour les Urodèles, la technique d'échantillonnage reposait sur la détection visuelle dans les eaux claires et sur l'échantillonnage par épuisette là où l'eau était trouble, envahit par les algues, les lentilles d'eau, ou encombrée par des débris végétaux. L'épuisette a été passée de façon privilégiée au niveau des herbiers, où la présence d'Urodèles est plus propice. Les Urodèles échantillonnés sur les mares les plus petites étaient temporairement placés dans un seau pendant la durée de la visite afin de ne pas compter deux fois un même individu.

### *Description des espèces d'Amphibiens rencontrées au niveau des annexes hydrauliques de la Loire*

L'ensemble des informations qui suivent sont tirés de livres de détermination et de description des Amphibiens : Amphibiens et Reptiles d'Europe (Matz & Weber 1983), Les Amphibiens de France, Belgique et Luxembourg (Duguet & Melki 2003), Le Guide herpéto (Arnold & Ovenden 2004).

Les **grenouilles vertes** (cf. **Figure 3**) constituent un complexe d'hybridation dans lequel *Rana kl. esculenta* est l'hybride naturel de *R. lessonae* et *R. ridibunda*. S'il existe des possibilités de distinction de ces différents taxons par des critères morphologiques, ou à l'écoute du chant, ces critères ne sont pas suffisamment efficaces pour certifier l'identification (Pagano & Joly 1999). Seule l'identification génétique permet de certifier rigoureusement l'appartenance d'un individu à tel ou tel taxon ; ce travail n'a pu être entrepris.

*Rana lessonae* est une espèce eurasiatique moyenne et septentrionale, commune en Maine-et-Loire. C'est un Anoure très aquatique, qui reste dans l'eau pour une période de reproduction de plusieurs mois. Ubiquiste, elle est présente dans de nombreux types d'habitats même si elle occupe préférentiellement les zones de marais et les mares (Pagano 1999). Elle

évite les eaux courantes et se retrouve plutôt dans les zones peu soumises aux crues (Pagano et al. 2001a). La période d'activité débute en mars et la migration pré-nuptiale fin avril ; elle se reproduit à la fin du printemps (avril-mai) et les quartiers d'hiver sont situés à quelques centaines de mètres du lieu de reproduction. La Grenouille de lessona est citée dans l'annexe IV de la directive Habitats ; elle est protégée en France et classée parmi les espèces « A surveiller » dans le livre rouge des vertébrés de France.

Les populations de *Rana ridibunda* localisées en France sont issues d'individus introduits dont l'origine peut être diverse. Cette espèce est répartie de la France à la Chine. Elle habite préférentiellement les sites sous influence fluviale (Pagano et al. 2001a), avec des eaux bien oxygénées. Elle est observée dans divers biotopes bénéficiant d'un bon ensoleillement, comme les rivières, les bras morts, les gravières (Pagano et al. 2001a)... Elle est souvent la seule espèce d'Amphibiens présente dans les grands plans d'eau riche en Poissons. La période d'activité débute en mars et la saison de reproduction dure de la mi-mai à la mi-juin. L'article L 432-10 du code de l'environnement interdit l'introduction dans le milieu naturel de toute espèce de grenouille non indigène, même à des fins scientifiques.

*Rana kl. esculenta* possède la même répartition que *R. lessonae* et possède des caractéristiques intermédiaires aux deux espèces parentales (influence fluviale et exigence en oxygène intermédiaires). La Grenouille verte occupe potentiellement tous les sites habités par *R. lessonae* et *R. ridibunda* et est également présente en milieu saumâtre. La période d'activité débute plus tôt et se termine plus tard que chez *R. lessonae* (Holenweg & Reyer 2000). La période de ponte se termine généralement début juin et la migration vers le lieu d'hivernage se fait sur quelques centaines de mètres. *Rana kl. esculenta* est citée dans l'annexe V de la directive Habitats, elle est protégée en France mais peut être pêchée en vue d'une consommation familiale.

*Rana dalmatina* (cf. **Figure 4**) a une répartition européenne moyenne et méridionale. Elle est présente dans les forêts de feuillus, les bosquets et les prairies. La distance entre le domaine vital et le site de reproduction atteint parfois 1 km. La Grenouille agile se reproduit dans les eaux stagnantes des mares et les zones marécageuses (pentes douces favorisant l'implantation des végétaux). La saison de reproduction débute à la fin du mois de février et se termine en mars. Elle est citée dans l'annexe II de la convention de Berne et dans l'annexe

IV de la directive Habitats. Protégée en France, *Rana dalmatina* a été classée « A surveiller » dans le livre rouge des vertébrés de France. Les populations vivant en contexte alluvial semblent particulièrement fragiles à cause de la dégradation sensible de ces milieux.

*Hyla arborea* (cf. **Figure 5**) est une espèce européenne moyenne et méridionale, communément présente en Maine-et-Loire. Elle se retrouve dans les milieux avec une bonne couverture végétale, et montre une forte préférence pour les zones avec des buissons, haies, ronciers, arbres et roselières. L'adulte reproducteur migre en se déplaçant sur le sol ou à faible hauteur dans la végétation sur une distance pouvant atteindre 3-4 km. La période d'activité s'étend de mars à octobre. La Rainette verte se reproduit de la mi-avril à la mi-mai en eaux stagnantes souvent bien exposées au soleil et avec une riche végétation subaquatique. Elle est citée dans l'annexe II de la convention de Berne et dans l'annexe IV de la directive Habitats ; classée vulnérable dans le livre rouge des vertébrés de France. Elle est en déclin en Europe de l'ouest et sa gestion repose sur la mise à disposition de zones de reproduction de qualité (qualité de l'eau, bon ensoleillement et absence de poissons).

*Bufo calamita* (cf. **Figure 6**) est une espèce européenne lacunaire. En France, c'est une espèce méridionale étendue et présente sur l'ensemble des régions. L'habitat terrestre typique est constitué d'une végétation ouverte assez rase, alternant avec des zones de sol nu, riches en caches. L'habitat aquatique est de faible profondeur, les prédateurs des têtards (poissons et insectes) y sont absents ou peu présents. La période de reproduction s'étend d'avril à juin et les sites de ponte sont des mares souvent temporaires, des bassins de carrière, des flaques et ornières inondées. Cette espèce pionnière est citée dans l'annexe II de la convention de Berne et dans l'annexe IV de la directive Habitats, classée « A surveiller » dans le livre rouge des vertébrés de France. La gestion du Crapaud calamite passe par le maintien ou la création d'habitats appropriés.

*Bufo bufo* (cf. **Figure 7**) est une espèce eurasiatique à très large répartition. Il n'occupe pas les sites soumis à forte influence fluviale (Pagano et al. 2001b) et préfère les milieux frais et boisés. Les sites d'hivernage sont situés généralement à moins de 500 m (maximum 1 km) de la destination printanière. Les sites de reproduction sont en priorité des plans d'eau permanents de grande dimension, souvent riches en poissons. La période de reproduction se déroule en février et mars. Le Crapaud commun est protégé en France, il est classé dans le

livre rouge des vertébrés de France. Du fait de ses migrations massives, il est un des Amphibiens qui pâtit le plus de la circulation routière. Les crapauds, la création de mares de substitution et le recensement des sites de reproduction sont particulièrement indiqués pour la gestion de cette espèce.

*Pelodytes punctatus* (cf. **Figure 8**) est une espèce ibéro-française moyenne et possède une distribution lacunaire en France. Il fréquente les prairies, les pelouses, les zones forestières et les boisements alluviaux. Cet Anoure très discret est actif dès la mi-février et se reproduit principalement en mars mais peut aussi effectuer une deuxième ponte en automne. Les sites de reproduction sont en général des points d'eau temporaires, ouverts et ensoleillés, avec de la végétation aquatique (mares, fossés, ruisseaux calmes...). Le Pélodytes ponctué est protégé en France, il est classé parmi les espèces vulnérables dans le livre rouge des vertébrés de France. La disparition des mares temporaires en contexte agricole est une des causes de son déclin. La limitation de l'envahissement des mares par les ligneux semble être une mesure de gestion efficace.

*Alytes obstetricans* (cf. **Figure 9**) est une espèce ibéro-française largement répandue en France. Il habite une gamme de formations végétales assez ouvertes (carrières, sablières, éboulis, pentes rocheuses, berges...) et le mâle libère ses larves (accouplement à terre et développement des œufs sur le dos) dans des habitats aquatiques pérennes, stagnants ou courants pouvant être riches en poissons. L'adulte se cantonne en général à une faible distance de l'habitat du têtard (dans un rayon de 100 m). Sa période de ponte s'étend de mars à septembre. Le Crapaud accoucheur est cité dans l'annexe II de la convention de Berne et dans l'annexe IV de la directive Habitats, il possède le statut « insuffisamment documenté » dans le livre rouge des vertébrés de France. Sa distribution est morcelée et souvent associée aux milieux perturbés par l'Homme.

*Triturus helveticus* (cf. **Figure 10**) est une espèce à distribution lacunaire de l'Europe de l'ouest. Il est largement répandu en France et en Maine-et-Loire, cet Urodèle est une des espèces les plus communes en plaine. Il semble dépendre de la présence d'un couvert boisé minimum en milieu terrestre à proximité de sa zone de reproduction. Ubiquiste, le Triton palmé se reproduit dans une large gamme de milieux aquatiques stagnants ou à courant lent. Il occupe une niche écologique plus large que celle du Triton ponctué, fréquentant abondamment les vallées alluviales. La période de reproduction débute en février et se

termine au plus tard en juillet. Le Triton palmé est protégé en France, il est classé parmi les espèces « A surveiller » dans le livre rouge des vertébrés de France.

*Triturus vulgaris* (cf. **Figure 11**) est une espèce eurasiatique septentrionale à répartition lacunaire. Il est peu commun en Maine-et-Loire et y fréquente surtout les boires. C'est une espèce assez inféodée aux milieux littoraux et alluviaux ; l'habitat terrestre inclut généralement des formations boisées mais il peut se maintenir dans les milieux plus ouverts. Le Triton ponctué accepte une grande diversité de plans d'eau et, comme *T. helveticus*, il peut s'accommoder de submersions prolongées et de secteurs poissonneux. La période de reproduction dure de février à avril. Il est protégé en France et est classé « A surveiller » dans le livre rouge des vertébrés de France.

*Triturus cristatus* (cf. **Figure 12**) est une espèce eurasiatique moyenne et septentrionale. Il présente en général une distribution par tâches ou en mosaïque. Il est assez aquatique et peut parfois passer toute l'année dans l'eau. L'habitat terrestre se compose surtout de forêts de feuillus, de haies et de fourrés situés à quelques centaines de mètres au maximum du site de reproduction. Le Triton crêté se reproduit de la mi-mars à la fin avril dans les eaux stagnantes ou calmes relativement profondes, bien enherbées et exposées au soleil. Il est protégé en France et cité dans l'annexe II de la convention de Berne, dans l'annexe II de la directive Habitats et classé vulnérable dans le livre rouge des vertébrés de France.

*Triturus marmoratus* (cf. **Figure 13**) est répartie au nord de la péninsule ibérique et dans la partie ouest de la France. L'écologie du Triton marbrée est relativement semblable à celle du Triton crêté avec lequel il peut s'hybrider et ainsi donner une nouvelle espèce (*T. blasii*). Il peut se trouver dans des bois et landes relativement secs hors de la période de reproduction. Il se reproduit aussi bien en sites temporaires que permanents. Cette espèce peu commune et localisée est protégée en France, citée dans l'annexe II de la convention de Berne, dans l'annexe II de la directive Habitats et classée vulnérable dans le livre rouge des vertébrés de France.

*Salamandra salamandra* (cf. **Figure 14**) est une espèce européenne moyenne et méridionale. Son aire de distribution est souvent par tâches, en relation sans doute avec le type de formation végétale. L'habitat terrestre est représenté principalement par le bocage et les boisements de feuillus ou mixtes, elle manque dans les boisements alluviaux, peut être à

cause de ces mauvaises qualités de nageuse en cas d'inondation. L'habitat aquatique de la larve, qui se trouve à faible distance du gîte de l'adulte, est souvent bien oxygéné et thermiquement stable. La période d'activité dure de février-mars à octobre-novembre et l'accouplement a lieu à terre en été. La Salamandre tachetée est protégée en France et classée dans le livre rouge des vertébrés de France. La mortalité de cette espèce par les écrasements routiers est notable.

## *Analyse des données*

### **Occurrence des espèces**

A partir du tableau de données brut (*cf. Annexe 1*), il a été possible de calculer et de représenter graphiquement l'occurrence (nombre de sites où l'espèce a été rencontrée par rapport au nombre de sites totaux) de chaque espèce ainsi qu'un tableau de présence / absence ; le **Tableau II** permet d'explicitier les abréviations utilisées.

**Tableau II** : *Abréviations utilisées pour chaque espèce*

| <b>Abréviations</b> | <b>Noms des espèces</b>        |
|---------------------|--------------------------------|
| G.ver               | Complexe de Grenouilles vertes |
| G.agi               | Grenouille agile               |
| R.arb               | Rainette verte                 |
| C.com               | Crapaud commun                 |
| C.cal               | Crapaud calamite               |
| A.acc               | Alyte accoucheur               |
| P.pon               | Pélodyte ponctué               |
| T.pal               | Triton palmé                   |
| T.pon               | Triton ponctué                 |
| T.crê               | Triton crêté                   |
| T.mar               | Triton marbré                  |
| S.ter               | Salamandre terrestre           |

## **Analyse thématique**

Lorsque l'ensemble des sites a été prospecté pour la deuxième fois, le nombre d'individus contactés par espèce et par pièce d'eau a été reporté sur une carte par le biais du logiciel MapInfo (MapInfo Professional Version 6.5 2001). Tous les sites étaient référencés et leur étaient associés un numéro ID, la localisation et le nombre d'individus recensés pour chaque espèce. Malgré un effort de prospection constant pour toutes les zones humides, la taille des populations contactées est, entre autres, fonction de la discrétion relative à chaque espèce. Afin d'éviter les biais dans l'exploitation des données relatives à l'abondance de chaque population recensée, les nombres d'individus ont été transformés en gamme d'abondance (*cf. Annexe 2*). La valeur moyenne d'abondance pour chaque espèce a été calculée en divisant le nombre total d'individus d'une espèce par le nombre total de sites. La gamme 0 correspond à l'absence d'une espèce, la gamme 1 à des effectifs locaux inférieurs à la valeur moyenne d'abondance spécifique et la gamme 2 à des effectifs locaux supérieurs ou égaux à la valeur moyenne d'abondance spécifique. Après analyse thématique, la carte a permis de mettre en évidence l'abondance relative des espèces d'Amphibiens pour chaque zone humide.

## **Richesses spécifiques**

La richesse spécifique est le nombre total d'espèces présentes en un lieu donné, elle a été définie sur chaque site. L'exploitation des résultats a été faite en classant les sites de différentes façons. Les variables choisies (*cf. Tableau III*) pour étudier les différentes richesses spécifiques ont été :

- \_ 1) La situation géographique des sites (en plateau ou en vallée) ;
- \_ 2) Les distances existantes entre les zones humides et le cours d'eau le plus proche. L'influence du fleuve a été mesurée en prenant la distance entre le centre de la zone humide et la berge du cours d'eau le plus proche à l'aide d'une des fonctionnalités du logiciel informatique MapInfo 6.5 ; ces données ont été transformées en gammes d'influence fluviale. Les distances bornant chaque gamme ont été sélectionnées afin d'obtenir des nombres de sites relativement similaires entre les gammes ;
- \_ 3) Le type de zone humide (avec distinction entre boire et bras mort, mare de plaine alluviale, mare du plateau continental) ;
- \_ 4) Le type de zone humide (sans distinction entre boire et bras mort, mare de plaine alluviale, mare du plateau continental).

Ces différentes façons de traiter les résultats ont permis d'apporter des informations complémentaires. Le traitement des données a été complexe car de nombreux paramètres ont rentré en jeu quant à l'influence du fleuve : le relief, la position de la nappe phréatique, la perméabilité du substrat...

**Tableau III : Variables utilisées pour caractériser les zones humides prospectées**

| Distance par rapport au fleuve |                      | Type de zone humide         |            |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------|
| Intervalles de distance        | Influence/Classement | Nature des pièces d'eau     | Classement |
| 0 - 200 m                      | Forte / 1            | Boires/Bras mort            | 1          |
| 201 - 600 m                    | Moyenne /2           | Mare de prairie alluviale   | 2          |
| > à 600m                       | Faible /3            | mare du plateau continental | 3          |
| Type d'habitat                 |                      | Situation du site           |            |
| Forestier/Ouvert               | Classement           | En vallée/Sur le plateau    | Classement |
| Forêt                          | 1                    | Vallée                      | 1          |
| Milieu ouvert                  | 2                    | Plateau                     | 2          |

### Indices de Simpson

L'évaluation des diversités spécifiques a été possible grâce à l'indice de Simpson dont la formule est la suivante :

$$I_s = 1 / \sum P_i^2$$

Pi représente l'abondance relative de l'espèce i dans le peuplement. Les sites ayant été classifiés de plusieurs façons, les diversités spécifiques ont d'abord été calculées pour l'ensemble des données obtenues à la suite des prospections nocturnes, puis pour des ensembles de sites regroupés en fonction 1) de la situation des pièces d'eau, 2) des gammes de distance les séparant de la Loire et 3) & 4) de la nature des zones humides (boires, bras morts, mares de plaine alluviale et mares du plateau continental).

### Histogrammes empilés

Des histogrammes empilés ont été réalisés à partir des effectifs recensés afin de pouvoir comparer les variations de peuplements d'Amphibiens en fonction des différentes variables précédemment citées.

Les richesses spécifiques, les indices de Simpson et les gammes d'abondance des espèces ont pu être comparés à des variables qualitatives : la situation du site (en vallée ou en plaine), les gammes de distance séparant les sites de la Loire et la nature de la zone humide. La taille des échantillons et la comparaison entre des données quantitatives et qualitatives ont conduit à mener des tests non paramétriques. Les Amphibiens ne furent recensés qu'une fois, les données ont donc été indépendantes et non appariées. La comparaison de plusieurs groupes indépendants (richesse spécifique vs type de zone humide, gammes d'abondance des espèces vs distance par rapport au fleuve...) a conduit à mener des tests de Kruskal-Wallis par le biais du logiciel *Statistica* (StatSoft France 2005). Quant à la comparaison de deux groupes indépendants (gammes d'abondance des Amphibiens vs situation de la pièce d'eau, diversité spécifique vs type d'habitat ...) fut possible en utilisant le test de Mann-Whitney grâce au même logiciel.

### **ACP**

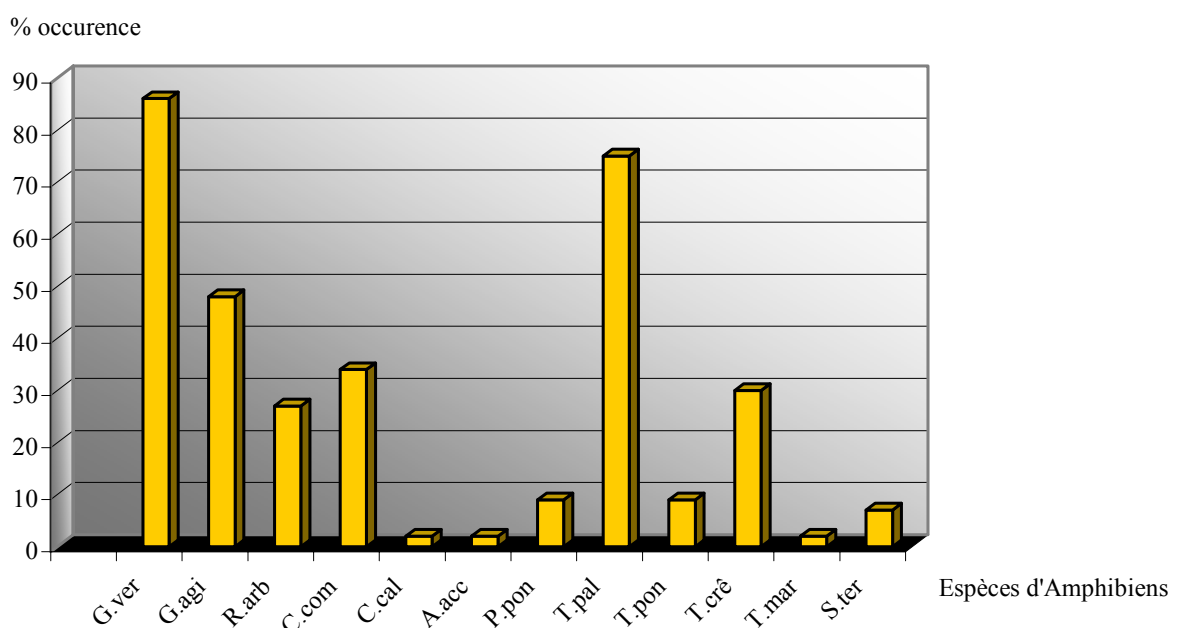
Une Analyse en Correspondance Principale a été réalisée afin d'avoir une idée sur le type d'habitat dans lequel se trouvait préférentiellement chaque espèce. Les variables utilisées ont été les mêmes que celles décrites auparavant avec en plus le type d'habitat (fermé vs ouvert et prairial vs forestier) qui était à proximité des zones humides prospectées.

## RESULTATS

Les prospections réalisées sur 44 sites au niveau des annexes hydrauliques de la Loire ont révélées la présence de 12 espèces d'Amphibiens parmi lesquelles 7 espèces d'Anoures et 5 espèces d'Urodèles. A titre de comparaison, 18 espèces d'Anoures et 9 espèces d'Urodèles sont présentes en France.

### *Résultats par espèce*

La **Figure 15** a montré les occurrences des espèces d'Amphibiens pour les zones humides prospectées. D'une manière générale, aucune espèce n'était présente sur tous les sites et les espèces les moins contactées n'ont été rencontrées que sur un site. Le complexe des Grenouilles vertes et les Tritons palmés ont été de loin les espèces le plus souvent présentes au niveau des zones visitées avec des occurrences respectives de 86 et 75 %. Les Grenouilles agiles ont occupé 48 % des sites, les Crapauds communs 34 %, les Tritons crêtés 30 % et les Rainettes vertes 27 %. Les espèces qui ont été les moins rencontrées sont les Pélodytes ponctués, les Tritons ponctués, les Salamandres terrestres, les crapauds calamites, les Alytes accoucheurs et les Triton marbrés avec des pourcentages d'occurrence inférieurs à 9 %.

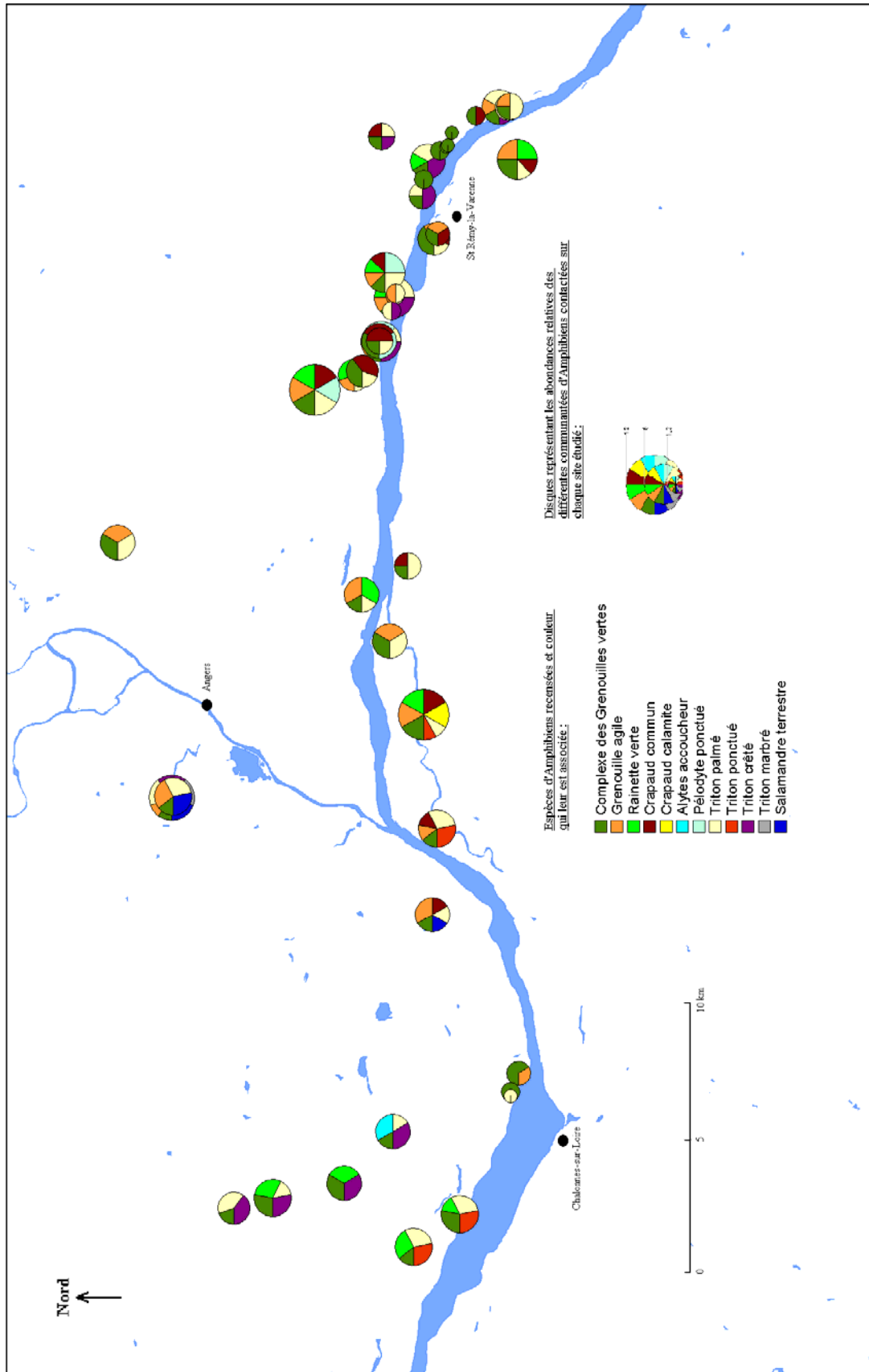


**Figure 15** : Occurrences (en %) des espèces d'Amphibiens pour les zones humides visitées au niveau des annexes hydrauliques de la Loire

## *Résultats par site*

### **Analyse thématique**

Grâce aux données obtenues au cours de la période de recensement, une carte représentant les peuplements d'Amphibiens et les abondances relatives des populations observées sur le réseau hydraulique de la Loire a pu être réalisée en utilisant la fonction d'analyse thématique du logiciel MapInfo (cf. **Figure 16**). Le site de « La Jubeaudière » (Murs-Erigné) a présenté la richesse spécifique la plus importante (7 espèces), et a supporté la seule population de Crapauds calamite recensée. Avec 6 espèces, les sites des « Prés d'Amont » (Brain-sur-Authion), « Les Minimeries » (La Bohalle, petite mare), « La Cour » (St Mathurin-sur-Loire) et la « mare n°2 » de l'étang St Nicolas (Angers) ont montré des richesses spécifiques très élevées. Les zones les moins riches en espèces étaient au nombre de 7 (mares de l'île de la Poste, Port-Girault, la Messagerie...). Ces écosystèmes ne supportaient qu'une seule espèce d'Amphibiens (Grenouilles vertes pour 6 d'entre eux) et sont situés à moins de 400m de la Loire. Aussi, le Complexe des Grenouilles vertes ont été les Amphibiens rencontrés le plus fréquemment ; ils ont été recensés sur la majorité des zones humides prospectées avec des tailles de population très variables. A première vue, les Grenouilles agiles, les Tritons palmés et les Tritons crêtés ont été contactés sur des sites de nature variée et ces pièces d'eau étaient plus ou moins distantes de la Loire. *A contrario*, les Tritons ponctués ont été rencontrés sur des boires et des mares dont la distance qui les séparait de la Loire était relativement faible. Les populations de Rainettes vertes ont été recensées sur des sites ayant une distance qui les séparent de la Loire variable tandis que les Pélodytes ponctués ont été rencontrés sur des zones assez proches de la Loire. Les Alytes accoucheurs, Tritons marbrés et Salamandres terrestres n'ont été observés que sporadiquement. La distribution préférentielle de chaque espèce a été testée statistiquement, ce qui a révélé une distribution significativement préférentielle du Triton crêté sur le plateau (p-value Kuskal-Wallis = 0.0465).



**Figure 16 :** Cartographie représentant les gammes d'abondance et la composition spécifique des populations d'Amphibiens recensées au niveau des annexes hydrauliques de la Loire, en Maine-et-Loire

## Richesses spécifiques et Indices de Simpson

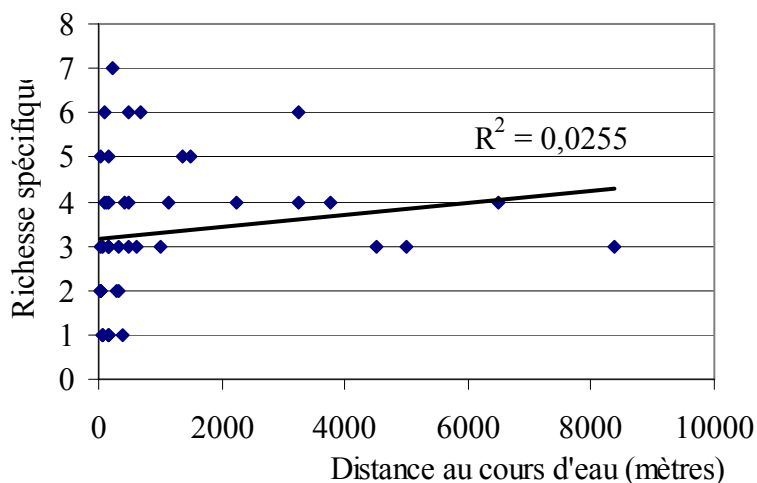
Les richesses spécifiques et les écarts-types associés ont été calculés à partir de la présence et de l'absence des espèces pour l'ensemble des 44 zones humides prospectées. Puis, ils ont été calculés en différenciant les sites de vallée et de plateau, en séparant les sites en fonction de la distance qui les a séparés du cours d'eau et en fonction de la nature de la zone humide considérée (*cf.* **Tableau IV**). Le traitement des données a aussi été fait en distinguant la nature des zones humides : en premier lieu, les boires et les bras morts ont été rassemblés dans une seule catégorie, puis ils ont été dissociés en deux catégories.

**Tableau IV** : Richesses spécifiques et écarts-types pour l'ensemble des sites visités et pour différentes classifications de ces sites

|                                     |                              | Richesses spécifiques | Ecart-types |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------|
| Ensemble des sites                  |                              | 3,32                  | 1,58        |
| Vallée/Plateau                      | Vallée                       | 3,11                  | 1,73        |
|                                     | Plateau                      | 4,11                  | 1,05        |
| Distance par rapport au cours d'eau | ≤ à 200 m                    | 2,71                  | 1,52        |
|                                     | Entre 201 et 600 m           | 3,13                  | 1,55        |
|                                     | > à 600 m                    | 4,27                  | 1,28        |
| Nature des zones humides            | Boires/bras morts            | 2,44                  | 1,24        |
|                                     | Mares de plaine alluviale    | 3,22                  | 1,73        |
|                                     | Mares du plateau continental | 4,17                  | 1,11        |
| Nature des zones humides            | Boires                       | 3,00                  | 1,26        |
|                                     | Bras morts                   | 2,20                  | 1,30        |
|                                     | Mares de plaine alluviale    | 3,22                  | 1,73        |
|                                     | Mares du plateau continental | 4,17                  | 1,11        |

D'après les résultats exposés par le **Tableau IV**, la richesse spécifique moyenne de l'ensemble des sites étudiés a été de 3,32 ( $\pm$  1,58) espèces par zone humide. Aussi, il a semblé que plus la pièce d'eau est éloignée du cours d'eau, plus la richesse spécifique a été élevée. En effet, la richesse spécifique des zones situées en vallée a été de 3,11 ( $\pm$  1,73) et celle des zones placées sur le plateau a été de 4,11 ( $\pm$ 1,05). Aussi, la richesse spécifique des pièces d'eau placées à moins de 200 mètres du fleuve était de 2,71 ( $\pm$ 1,52), ce chiffre était de 3,13 ( $\pm$ 1,55) pour les zones situées entre 201 et 600 mètres par rapport au cours d'eau et pour les zones placées à plus de 600 mètres du fleuve, la richesse spécifique était de 4,27 ( $\pm$ 1,28). De même, moins la zone humide est connectée à la Loire, plus la richesse spécifique est apparue élevée (*cf.* **Tableau IV**).

Afin de tester s'il existait une relation entre la distance qui sépare les sites visités de la Loire et la richesse spécifique, une régression linéaire a été testée (cf. **Figure 17**). Après avoir réalisé une corrélation entre ces paramètres, la méthode de régression linéaire de Pearson a permis d'obtenir un coefficient  $R^2$  de 2,55 %. Le test t de validité du modèle de corrélation ( $t = 1.048$ ,  $ddl = 42$ ) a rendu une p-value non significative de 0.3005, ce qui a indiqué qu'il n'y avait pas de corrélation entre la richesse spécifique et la distance par rapport au cours d'eau.



**Figure 17** : Richesses spécifiques des 44 sites étudiés en fonction de la distance séparant ces sites du cours d'eau et droite de régression linéaire correspondante

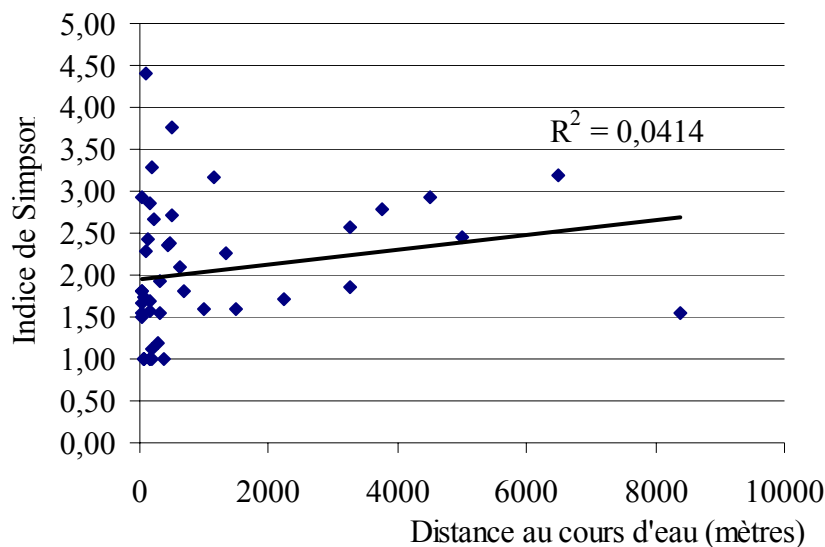
De même que précédemment, les indices de Simpson calculés à partir des effectifs des différentes espèces recensées ont été présentés par le **Tableau V**.

**Tableau V** : Diversités spécifiques et écarts-types pour l'ensemble des sites visités et pour différentes classifications de ces sites

|                                     |                              | Diversités spécifiques | Écarts-types |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------|
| Ensemble des sites                  |                              | 2,04                   | 0,82         |
| Vallée/Plateau                      | Vallée                       | 1,96                   | 0,85         |
|                                     | Plateau                      | 2,36                   | 0,59         |
| Distance par rapport au cours d'eau | ≤ à 200 m                    | 1,84                   | 0,91         |
|                                     | Entre 201 et 600 m           | 2,11                   | 0,90         |
|                                     | > à 600 m                    | 2,28                   | 0,58         |
| Nature des zones humides            | Boires/bras morts            | 1,59                   | 0,80         |
|                                     | Mares de plaine alluviale    | 2,11                   | 0,90         |
|                                     | Mares du plateau continental | 2,24                   | 0,55         |
| Nature des zones humides            | Boires                       | 1,60                   | 0,77         |
|                                     | Bras morts                   | 1,59                   | 0,91         |
|                                     | Mares de plaine alluviale    | 2,11                   | 0,90         |
|                                     | Mares du plateau continental | 2,24                   | 0,55         |

Le calcul des indices de Simpson a donné une idée assez fiable du nombre d'espèces qui ont dominé en termes d'effectifs sur l'ensemble du peuplement batrachologique pour l'ensemble des sites ou pour des catégories de zones humides. Cet indice a donné une valeur de 2.04 pour la totalité des sites étudiés, ce qui a signifié que deux espèces ont dominé les peuplements d'Amphibiens en terme d'effectifs. Comme pour les richesses spécifiques, les indices de Simpson ont semblé augmenter au fur et à mesure que le site était distant du cours d'eau et que la zone humide était moins connectée à la Loire (cf. **Tableau V**). Ces résultats ont donc laissé penser que plus un site était éloigné du fleuve, plus il y avait d'espèces qui contribuaient en terme d'effectifs aux peuplements d'Amphibiens.

Pour tester une relation qui pourrait exister entre la distance qui sépare les sites visités du cours d'eau et la diversité spécifique, une corrélation entre ces paramètres a été réalisée (cf. **Figure 18**). L'application de la méthode de régression linéaire de Pearson a permis l'obtention d'un coefficient  $R^2$  de 4,14 %. Le test t de validité du modèle de corrélation ( $t = 1.347$ ,  $ddl = 42$ ) a donné une p-value non significative de 0.1852, ce qui a indiqué qu'il n'y avait pas de corrélation entre la diversité spécifique et la distance par rapport au cours d'eau.



**Figure 18** : Diversités spécifiques des 44 sites étudiés en fonction de la distance séparant ces sites du cours d'eau et droite de régression linéaire correspondante

Pour compléter l'information apportée par les **Tableaux IV** et **V**, il a été possible d'effectuer des comparaisons de richesses spécifiques (à partir des données de présence/absence) et de diversités spécifiques (à partir des effectifs) entre les différentes catégories de zones humides à l'aide du logiciel *Statistica* (cf. **Tableau VI**).

**Tableau VI : Résultats obtenus après analyses statistiques des richesses spécifiques et des indices de Simpson (\* = résultat significatif)**

|  | Richesses spécifiques |                 | Indices de Simpson |                 |
|--|-----------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
|  | test utilisé          | p-value         | test utilisé       | p-value         |
| Vallée vs plateau                              | Mann-Withney          | 0,0618 (U=93,5) | Mann-Withney       | 0,1105 (U=102)  |
| Ensembles des gammes de distance               | Kruskal-Wallis        | 0,0705          | Kruskal-Wallis     | 0,022*          |
| ≤ à 200 m vs entre 201 et 600 m                | Mann-Withney          | 0,517 (U=70,5)  | Mann-Withney       | 0,3742 (U=65,5) |
| ≤ à 200 m vs > à 600 m                         | Mann-Withney          | 0,0042* (U=70)  | Mann-Withney       | 0,0329* (U=91)  |
| Entre 201 et 600 m vs > à 600 m                | Mann-Withney          | 0,087 (U=33)    | Mann-Withney       | 0,506 (U=49)    |
| Ensemble des différents types de zones humides | Kruskal-Wallis        | 0,1074          | Kruskal-Wallis     | 0,054           |
| Boires et bras morts vs mares alluviales       | Mann-Withney          | 0,321 (U=79)    | Mann-Withney       | 0,1029 (U=64,5) |
| Boires et bras morts vs mares du plateau       | Mann-Withney          | 0,0093* (U=18)  | Mann-Withney       | 0,227 (U=22)    |
| Mares alluviales vs mares du plateau           | Mann-Withney          | 0,073 (U=86)    | Mann-Withney       | 0,4196 (U=114)  |
| Ensemble des différents types de zones humides | Kruskal-Wallis        | 0,2136          | Kruskal-Wallis     | 0,1186          |
| Boires vs bras morts                           | Mann-Withney          | 0,556 (U=7,5)   | Mann-Withney       | 1 (U=10)        |
| Boires vs mares alluviales                     | Mann-Withney          | 0,767 (U=41)    | Mann-Withney       | 0,2719 (U=29,5) |
| Boires vs mares du plateau                     | Mann-Withney          | 0,1033 (U=10)   | Mann-Withney       | 0,1033 (U=10)   |
| Bras morts vs mares alluviales                 | Mann-Withney          | 0,2636 (U=38)   | Mann-Withney       | 0,1934 (U=35)   |
| Bras morts vs mares du plateau                 | Mann-Withney          | 0,0194* (U=8)   | Mann-Withney       | 0,0637 (U=12)   |
| Mares alluviales vs mares du plateau           | Mann-Withney          | 0,073 (U=86)    | Mann-Withney       | 0,4196 (U=114)  |

La comparaison de la richesse spécifique des sites placés en vallée et celle des sites de plateau a laissé supposé une influence non vérifiée statistiquement de la situation de la pièce d'eau (vallée ou plateau) sur la richesse spécifique (p-value Mann-Withney = 0.0618 ; U =93.5). Il en a été de même en ce qui concerne la comparaison des richesses spécifiques des différentes gammes de distance (p-value Kruskal-Wallis = 0.0705). En particulier, la richesse spécifique des zones situées à moins de 200 mètres du cours d'eau a été significativement différente de celle des sites se trouvant à plus de 600 mètres du fleuve (p-value Mann-Withney = 0.0042 ; U = 70). Aussi, la richesse spécifique des bras morts a été significativement moins élevée que celle des mares du plateau continentale (p-value Mann-Withney = 0.0194 ; U =8). Les richesses spécifiques ont donc été plus élevées pour les sites les plus éloignés du cours d'eau et ceux étant les moins connectés à la Loire, en opposition aux zones les plus proches du fleuve et étant les plus connectées à la Loire.

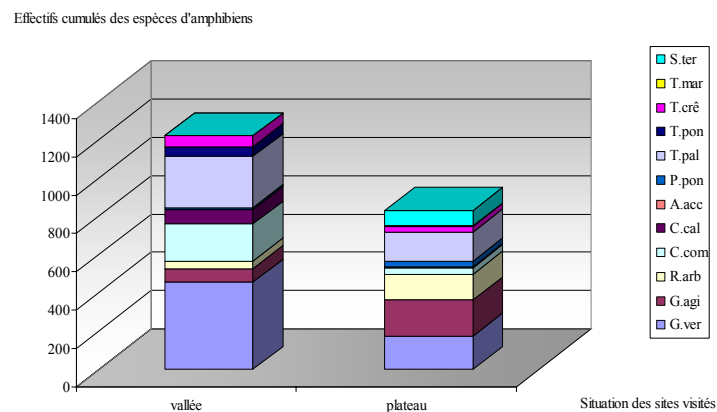
Les indices de Simpson des zones humides ayant des distances d'éloignement différentes par rapport au fleuve ont été significativement différents (p-value Kruskal-Wallis = 0.022). Le nombre d'espèces qui ont dominé les peuplements d'Amphibiens va donc en augmentant lorsque la distance séparant les sites du cours d'eau s'accroît. Le nombre d'espèces qui a prédominé dans les peuplements d'Amphibiens a donc augmenté au fur et à mesure que cette

distance s'est accentuée. Aussi, le résultat obtenu en comparant les différents types de zones humides (p-value Kruskal-Wallis = 0.054) a laissé penser qu'il y avait une influence de la nature de la pièce d'eau (boire, bras mort, mare de plaine alluviale ou mare du plateau continental) sur la diversité spécifique.

### Histogrammes empilés

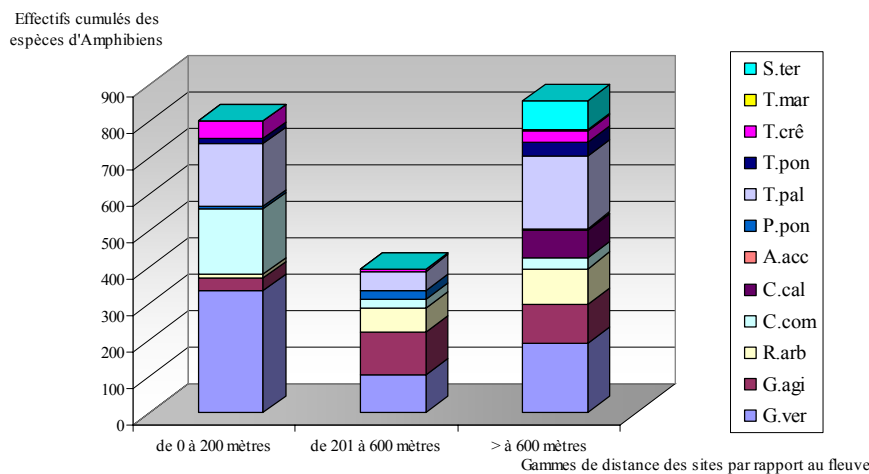
Des histogrammes empilés ont été réalisés à partir des effectifs recensés sur l'ensemble des sites afin de mieux percevoir les différences d'effectifs et les variations des peuplements d'Amphibiens. Ces histogrammes ont d'abord été effectués 1) pour comparer les zones humides situées en vallée et celles situées en plateau. Puis, ils ont été réalisés pour visualiser 2) les différences de peuplements pouvant exister entre les sites proches du cours d'eau (distance  $\leq$  à 200 mètres), ceux situés entre 201 et 600 mètres du fleuve et ceux positionnés à plus de 600 mètres de la rivière. Enfin, les différents types de zones humides ont été comparés. En premier lieu, 3) les boires et les bras morts ont été considérés ensemble, puis 4) ils ont été analysés séparément.

L'histogramme présenté par la **Figure 19** a été réalisé à partir des effectifs recensés au niveau des zones humides situées en vallée d'une part et sur le plateau d'autre part. En vallée alluviale, les communautés d'Amphibiens ont été nettement dominées, en effectifs, par le complexe des Grenouilles vertes, les Tritons palmés puis les Crapauds communs. En revanche, les effectifs recensés au niveau des zones humides situées en plateau n'ont pas clairement révélés la domination de certaines espèces d'Amphibiens par rapport à d'autres. En plateau, les Grenouilles agiles, le complexe des Grenouilles vertes, les Tritons palmés et les Rainettes vertes ont composés l'essentiel des communautés d'Amphibiens. Par ailleurs, il est à noter que les Tritons ponctués n'ont été rencontrés qu'en vallée alluviale.



**Figure 19** : Histogrammes empilés des effectifs d'Amphibiens rencontrés en vallée et en plateau

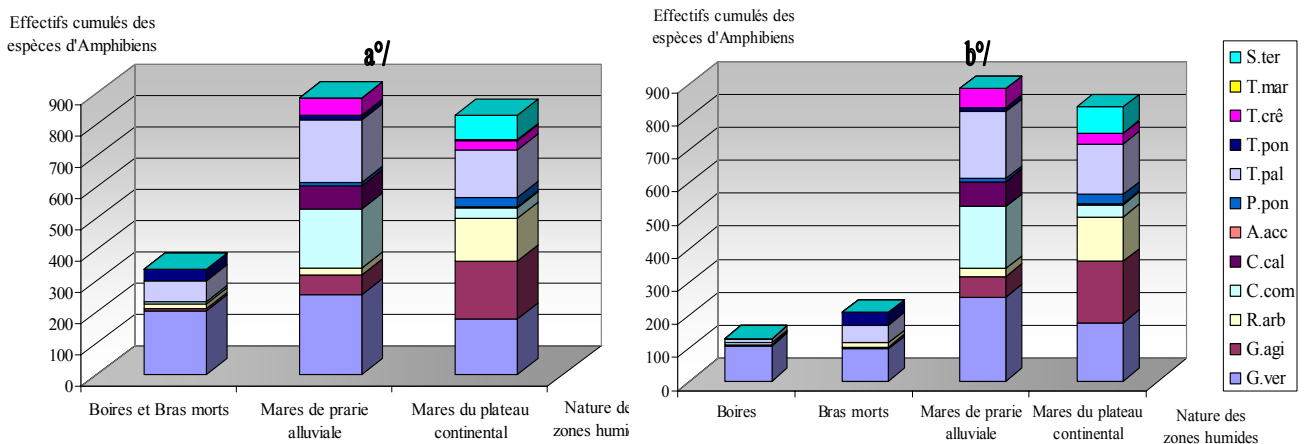
Les sites ont ensuite été regroupés en fonction de la distance qui les a séparés du cours d'eau (cf. **Figure 20**). Les effectifs recensés pour les sites placés entre 201 et 600 mètres par rapport au fleuve ont été deux fois moins importants que pour les deux autres gammes de distance. Entre 0 et 200 mètres, les communautés d'Amphibiens ont été dominées par le complexe des Grenouilles vertes ; les effectifs des Crapauds communs et des Tritons palmés ont également été très importants par rapport aux autres espèces d'Amphibiens rencontrées sur l'ensemble des zones étudiées. De 201 à 600 mètres, les effectifs des différentes espèces se sont équilibrés : les Grenouilles agiles ont été les plus nombreuses mais elles ont été suivies d'assez près par les Grenouilles vertes, les Rainettes vertes et les Tritons palmés. Les sites placés à plus de 600 mètres du cours d'eau ont montrés les effectifs cumulés les plus importants. Le nombre d'espèces prédominantes a été de 6 (G.ver, G.agi, R.arb, C.cal, T.pal et S.ter). Ces histogrammes ont semblés indiquer que moins l'influence du fleuve s'est fait sentir, plus la contribution des différentes espèces dans les peuplements d'Amphibiens s'est équilibrée, ce qui a concordé encore une fois avec ce qui avait été trouvé grâce aux indices de Simpson.



**Figure 20 :** Histogrammes empilés des effectifs d'Amphibiens recensés au niveau de zones humides situées à distance variable du fleuve

Les effectifs batrachologiques des mares de plaine alluviale et du plateau continental ont été beaucoup plus importants que ceux des boires et des bras morts (cf. **Figure 21**). Cette différence d'effectifs peut être due au fait qu'en boires et en bras morts, toutes les espèces n'ont pas été présentes : les Grenouilles vertes, les Tritons palmés et les Tritons ponctués ont composés la très grande majorité des effectifs pour ces types de zones humides. En faisant la distinction entre les boires et les bras morts, il est apparu que le complexe des Grenouilles vertes a constitué l'essentiel des effectifs d'Amphibiens pour les boires, qui ont été les pièces

d'eau les plus connectées au fleuve. En mares de plaine alluviale, 3 espèces ont dominés les peuplements d'Amphibiens (G.ver, C.com, T.pal). En mares du plateau continental, 4 espèces ont été prédominantes (G.agi, G.ver, T.pal, R.arb). De la même manière que pour les indices de Simpson, ces histogrammes empilés ont montré que plus l'influence du fleuve diminuait, plus il y avait d'espèces qui contribuaient aux peuplements d'Amphibiens. D'autre part, il a été possible, à partir de la **Figure 21**, de remarquer que les Crapauds communs ont semblé préférer les mares de plaine alluviale et que les Grenouilles agiles et les Rainettes vertes étaient préférentiellement rencontrées au niveau des mares du plateau continental.



**Figure 21** : Histogrammes empilés des effectifs d'Amphibiens rencontrés au niveau des différents types de zones humides (en **a** les boires et les bras morts sont considérés ensemble ; en **b** les effectifs des boires et des bras morts ont été dissociés)

A l'aide du logiciel *Statistica*, il a été possible de comparer les gammes d'abondance des espèces d'Amphibiens recensés. En suivant la même logique que les histogrammes empilés, les gammes d'abondance des populations ont été comparés grâce au test de Kruskal-Wallis en séparant les sites de vallée des sites de plateau, en catégorisant les zones humides en fonction de la distance qui les a séparées du fleuve et en fonction de la nature de la zone étudiée (sans distinction entre boires et bras morts puis avec distinctions entre ces deux derniers). Les résultats obtenus ont été résumés par le **Tableau VII**.

La composition des peuplements d'Amphibiens des zones humides situées en vallée a été significativement différente de celle des pièces d'eau situées sur le plateau (p-value Kruskal-Wallis = 0,004), ce qui a confirmé les observations précédentes. Les différences existant entre les peuplements d'Amphibiens pour les sites regroupés en fonction de la distance qui les a séparés du fleuve ont été significatives (p-value Kruskal-Wallis = 0,0445). Les zones situées à

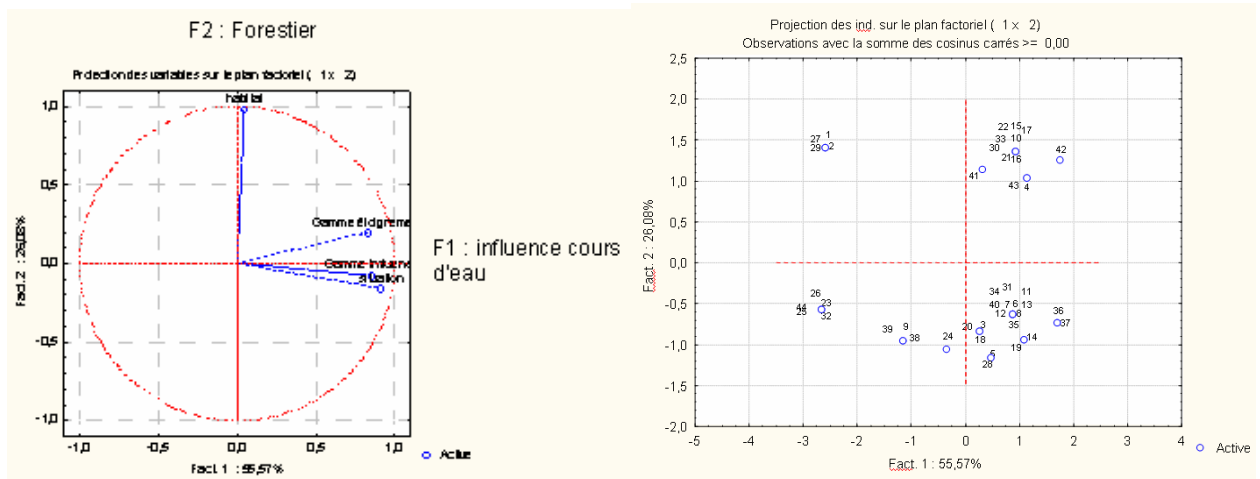
moins de 200 mètres du fleuve et celles placées à plus de 600 mètres de ce dernier ont montré des différences significatives en ce qui concerne leur contenu batrachologique (p-value Kruskal-Wallis = 0,0323). Aussi, à propos des variations de peuplements d'Amphibiens en fonction de la nature des zones humides, le fait de différencier les boires et les bras morts n'a pas permis de donner de meilleurs résultats par rapport à ceux obtenus en regroupant les boires et les bras morts en une seule catégorie. Les différences de peuplements existant entre tous les types de zones humides ont été significatives (p-value Kruskal-Wallis = 0,0137 en regroupant les boires et les bras morts ; p-value Kruskal-Wallis = 0,0353 en les différenciant). Il est à remarquer que les effectifs des mares de vallée alluviale et ceux des mares du plateau ont été significativement différents (p-value Kruskal-Wallis = 0,0121).

*Tableau VII : Résultats obtenus après avoir comparés les gammes d'abondance des Amphibiens selon différentes catégories à l'aide du test de Kruskal-Wallis (\* = résultat significatif)*

|  | p-value du test de Kruskal-Wallis |
|--|-----------------------------------|
| Vallée vs plateau                              | 0,0004*                           |
| Ensembles des gammes de distance               | 0,0445*                           |
| ≤ à 200 m vs entre 201 et 600 m                | 1,0000                            |
| ≤ à 200 m vs > à 600 m                         | 0,0323*                           |
| Entre 201 et 600 m vs > à 600 m                | 0,1750                            |
| Ensemble des différents types de zones humides | 0,0137*                           |
| Boires et bras morts vs mares alluviales       | 1,0000                            |
| Boires et bras morts vs mares du plateau       | 0,1052                            |
| Mares alluviales vs mares du plateau           | 0,0121*                           |
| Ensemble des différents types de zones humides | 0,0353*                           |
| Boires vs bras morts                           | 1,0000                            |
| Boires vs mares alluviales                     | 1,0000                            |
| Boires vs mares du plateau                     | 0,2673                            |
| Bras morts vs mares alluviales                 | 1,0000                            |
| Bras morts vs mares du plateau                 | 0,2179                            |
| Mares alluviales vs mares du plateau           | 0,0121*                           |

## ACP

L'ACP a permis de comparer les sites entre eux en fonction de plusieurs variables telles que le type d'habitat (forestier ou ouvert), la situation (en vallée ou en plateau), la distance par rapport à la Loire et la nature de ces zones humides (boire, bras mort, mare de plaine alluviale et mare du plateau continental). La **Figure 22** a présenté le cercle de corrélation et la carte factorielle obtenue.

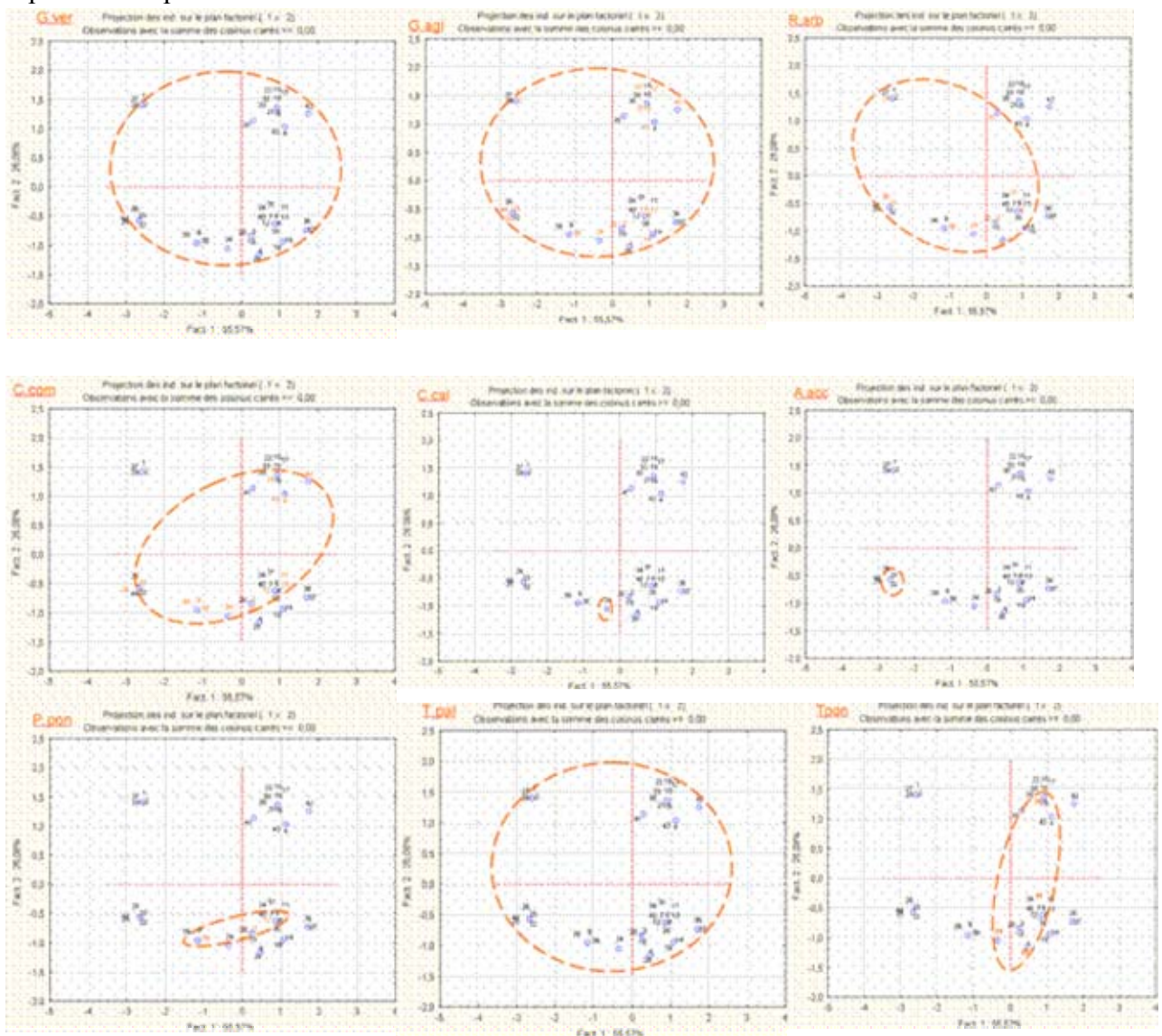


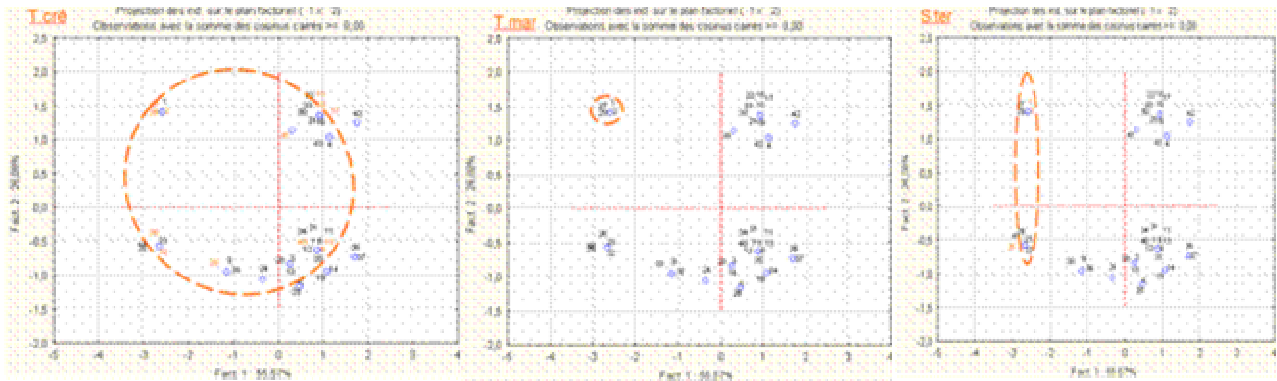
**Figure 22** : Cercle de corrélation (à gauche) et carte factorielle (à droite)

L'axe 1 a été représentatif d'un gradient d'influence fluviale, les sites les plus à droite sur la carte factorielle ont été ceux qui subissaient le plus l'influence du fleuve. L'axe 2 a quant à lui été représentatif d'un gradient d'influence forestier, plus la valeur de cet axe fut élevée, plus l'influence forestière a été grande. A partir de cette figure, il a été possible d'évaluer

quels étaient les types de sites occupés par chacune des espèces d'Amphibiens (cf. **Figure 23**). Le complexe des Grenouilles vertes, les Grenouilles agiles et les Tritons palmés ont utilisé presque la totalité des sites, ils ont donc été considérés comme ubiquistes aux vues des variables utilisées. Les Rainettes vertes, les Crapauds communs et les Tritons crêtés sont apparus comme plus spécialisés que les espèces précédentes.

Les Pélodytes ponctués (présents en milieu ouvert avec des influences moyennes du fleuve), les Triton ponctués (présents avec une forte influence fluviale, quelle que soit le degré d'ouverture du milieu) et les Salamandres terrestres (présents pour des influences très faibles du fleuve, quelle que soit l'ouverture du milieu) ont semblé être des espèces spécialistes. Les Crapauds calamites, les Alytes accoucheur et les Tritons marbrés ont été des espèces rares pour la zone étudiée.





**Figure 23 :** Amplitude des sites utilisés par chacune des espèces d'Amphibiens recensées (les sites entourés correspondent à ceux où étaient présentes chaque espèce)

## DISCUSSION

A tous les niveaux d'organisation, la diversité, portée par la diversité génétique à l'intérieur des populations jusqu'à la diversité des écosystèmes dans le paysage, contribue à la biodiversité globale (Chapin et al. 2000). Sur l'ensemble de la zone étudiée, la biodiversité en Amphibiens variait en fonction de la distance qui séparait les sites prospectés du cours d'eau et du degré de connectivité des pièces d'eau par rapport à la Loire. En effet, plus la zone humide était distante du fleuve, plus la richesse spécifique en Amphibiens y était élevée et plus il y avait d'espèces qui contribuaient au peuplement local.

### *Facteurs qui structurent les communautés d'Amphibiens*

#### **Généralités**

Pour les Amphibiens, un habitat de qualité est constitué de zones humides peu profondes et d'un taux de prédation faible pendant la période de reproduction (Knutson et al. 1999).

Les annexes hydrauliques se distinguent particulièrement des autres pièces d'eau de par leur hydropériodicité et leur contenu faunistique lié au cours d'eau qui les alimente. Ces

facteurs paraissent les plus importants quant à la biodiversité en Amphibiens (Porej & Hetherington 2005).

### **Hydropériodicité**

Une hydropériode plus importante des zones humides favorise l'installation d'un plus grand nombre d'espèces d'Amphibiens et contribue ainsi à une richesse spécifique élevée (Snodgrass 2000 ; Rubbo & Kiesecker 2005). La temporarité de nombreux sites se trouvant en vallée alluviale a sans doute joué sur le fait qu'ils aient été délaissés par certaines espèces. (e.g. mares de l'île de la Poste, vers la Ménitry). Au niveau des pièces d'eau les plus connectées, sont retrouvées principalement les espèces ayant la plus large amplitude écologique tels les Grenouilles vertes, comme le laisse supposer l'ACP qui a été réalisée. Elles ont même été retrouvées au niveau des bords du cours actif et des cours secondaires (e.g. Loire et Louet). Il faudrait réaliser une analyse génétique pour discriminer chacune des trois espèces du complexe des Grenouilles vertes, ce qui n'a pas été effectué lors de l'étude. Néanmoins, l'identification de *Rana ridibunda* est présumée car elle est connue pour habiter les eaux les plus dynamiques (Pagano et al. 2001a).

Au contraire, des espèces comme la Salamandre tachetée semblent délaissées les zones perturbées hydrologiquement (*cf.* ACP). Ceci est en cohérence avec les conclusions de Maret et al. (2006) qui stipulent que la diminution ou l'augmentation de la fréquence d'assèchement des milieux peut influencer négativement la taille des populations de Salamandres.

Il est à préciser que, outre l'influence d'un cours d'eau, l'hydropériode est aussi influencée par la taille de la pièce d'eau : un site de petite taille se réchauffe et se dessèche plus rapidement qu'une zone humide de grande taille (Baber et al. 2004). Pour les Zones humides isolées, la richesse spécifique et la composition en Amphibiens sont d'abord influencées par le risque de dessiccation. Quant aux zones humides semi-permanentes et permanentes (e.g. « Les Prés de bourg » à Juigné sur Loire), le premier facteur de perturbation est la prédation par les poissons (Hecnar & M'Closkey 1997 ; Baber et al. 2004).

### **Poissons**

En général les boires et les bras morts avaient une superficie et une hauteur d'eau plus importante que les mares de plaine alluviale et du plateau continental. Aussi, de part leur proximité et leur forte connectivité avec le fleuve, les boires (pièce d'eau connectée par une extrémité au cours actif) possédaient le même contenu piscicole que la Loire. Or, certains poissons sont des prédateurs efficaces d'Amphibiens. La présence de poissons prédateurs est négativement corrélée avec la richesse spécifique en Amphibiens (Porej & Hetherington 2005).

Ceci pourrait expliquer le fait que les abondances, les richesses spécifiques et les indices de Simpson aient été relativement faibles pour ce type de zones humides.

Les poissons peuvent causer une diminution de l'abondance des Amphibiens, une élimination des sous populations ou bien causer des extinctions locales et altérer les modèles de distribution de ces espèces (Hecnar & M'Closkey 1997). La prédation est une force sélective majeure qui restreint certaines espèces d'Amphibiens à des mares temporaires ou qui conduit à l'évolution d'adaptations qui ont permis la co-existence avec des prédateurs dans les pièces d'eau permanentes (Hecnar & M'Closkey 1997). Peu d'espèces résistent à la présence de poissons prédateurs. Parmi ces espèces, il y a les Grenouilles vertes et les Crapauds communs dont les larves sont toxiques. Les populations d'Amphibiens semblent être spécialement susceptibles de décliner après l'invasion réussie d'une espèce prédatrice ou compétitrice (Maret et al. 2006). D'après Hecnar & M'Closkey (1997), l'introduction de poissons exotiques est une des causes du déclin des populations d'Amphibiens. A ce titre, il est connu que les Tritons crêtés disparaissent rapidement après l'introduction de poissons dans leurs sites de reproduction (Beebee 1997). Ceci corrobore avec les résultats de cette étude selon lesquels cette espèce a été principalement retrouvée au niveau du plateau.

D'après ce que nous avons pu constater, moins une pièce d'eau est connectée au fleuve, plus la biodiversité en Amphibiens y est importante. En effet, la faible connexion d'une zone humide par rapport au cours d'eau induit une présence en poissons peu importante et donc un taux de prédation qui est dû à certains d'entre eux qui est minime (Ward et al. 1999). Cependant, ceci n'exclut pas le fait que certaines mares de particulier sont empoisonnées pour la pêche. Une grande partie des zones humides visitées étaient situées en ville ou près d'habitations. Or, en zone urbaine et périurbaine, l'hydropériode des pièces d'eau est plus importante et donc ces sites sont plus permanents, ce qui favorise la rémanence de poissons prédateurs (Rubbo & Kiesecker 2005).

## **Habitat**

D'après Hecnar & M'Closkey (1997), Snodgrass (2000) et Porej & Hetherington (2005), il n'y a pas de preuves claires de l'impact de la taille, de l'âge, du taux de boisement autour des zones humides et de la végétation aquatique sur la richesse spécifique en Amphibiens. En revanche, il existe une forte corrélation entre la structure des zones entourant les sites de reproduction et la diversité en Amphibiens dans les pièces d'eau (Porej et al. 2004).

D'après Skelly et al. (2005), la richesse en Amphibiens augmente avec l'ensoleillement des zones humides, ces espèces sont affectées par le degré de couverture de la canopée. En effet, une pièce d'eau envahie par les végétaux supérieurs reçoit moins de lumière, ce qui provoque une diminution de la température de l'eau et des ressources disponibles. Le taux de développement des larves d'Amphibiens devient alors plus faible et l'abondance en Anoures et Urodèles est alors moindre.

D'après les résultats obtenus, beaucoup d'espèces semblent bénéficier d'un habitat ouvert (e.g. le Pélodyte ponctué, *cf.* ACP), et les sites les plus couverts paraissent les plus délaissés (e.g. « Port-Girault » à St Georges-sur-Loire et « la Messagerie » à La Bohalle).

Seule la salamandre tachetée a été retrouvée exclusivement quand le site de reproduction était bordé d'arbres. D'après la littérature, la diversité en Salamandres est positivement associée aux taux de boisement à proximité du site de reproduction, et négativement corrélée avec la prédation exercée par certains poissons et la construction de routes (Porej et al. 2004).

## **Autres facteurs**

La proximité des routes a aussi une influence sur la distribution des Amphibiens (Gibbs 1998). Certaines espèces y sont particulièrement sensibles comme la Salamandre tachetée ou encore le Crapaud commun qui paraît être une espèce généraliste quant à l'utilisation de l'habitat (Rubbo & Kiesecker 2005).

La qualité de l'eau est aussi un facteur jouant sur la distribution des Amphibiens (Gibbs 1998).

Une relation positive lie la richesse spécifique en Amphibiens et la présence d'une berge peu profonde (Porej & Hetherington 2005). D'après les observations faites au cours des prospections, beaucoup d'espèces privilégient les pentes douces pour frayer (obs. pers. Grenouille agile, Pélodyte ponctué, Crapaud calamite...).

Aussi, la présence d'une espèce peut parfois influencer celle d'autres espèces. Les Tritons sont des prédateurs efficaces des têtards d'Anoures, ce qui à long terme peut provoquer le déclin des Anoures dans ces pièces d'eau où les populations de Tritons sont durablement installées (Beebee 1997).

## *Dégradation et fragmentation des milieux*

### **Destruction de l'habitat**

Parmi l'ensemble des causes possibles du déclin des Amphibiens, la destruction de l'habitat est indubitablement le facteur majeur causant la détérioration de ces populations (Blaustein et al. 1994). Au cours des visites nocturnes des zones humides, il a été possible de se rendre compte qu'un nombre relativement important de mares avait été comblé ou étaient en projet de comblement. A l'heure où 95% des mares sont privées, la disparition des habitats aquatiques pose un problème inquiétant.

### **Altération de la connectivité et métapopulation**

En général, pour chaque espèce d'Amphibiens, une pièce d'eau supporte une population (Beebee & Griffiths 2005). Les forêts et les habitats naturels sont des corridors qui permettent le mouvement des Amphibiens (Knutson et al. 1999). De ce fait, l'habileté à la dispersion est en relation inverse avec la résistance du milieu due à la fragmentation (Gibbs 1997).

Au niveau de la zone étudiée comme partout ailleurs, les infrastructures routières, les zones de culture et les aménagements urbains brisent les interactions qui structurent les écotones et donc altèrent la connectivité des zones de transition, ce qui conduit à une diminution de la biodiversité (Ward et al. 1999). Ceci est particulièrement vrai pour les

Urodèles. En effet, les Urodèles sont moins agiles et moins capables que les Anoures de traverser les terrains inhospitaliers situés entre les mares. Pendant la période de migration, les Anoures sont plus mobiles et pour des laps de temps comparables couvrent des distances plus grandes que les Urodèles (Beebee 1997). La connectivité du paysage peut donc être particulièrement importantes pour supporter les populations de Tritons, d'où l'importance de la perméabilité du paysage (Gibbs 1997).

Les travaux menés par Knutson et al. (1999) ont permis d'attester que la présence de zones urbaines est négativement corrélée à la richesse spécifique en Amphibiens. De plus, d'après Rubbo & Kiesecker (2005), les espèces sont moins présentes en zones urbaines par rapport aux zones rurales (exemple : « La Boire Girard » à La Ménitry), les Amphibiens étant sensibles aux changements du milieu et à la fragmentation induits par l'urbanisation (perte de zone boisée). Aussi, en zone urbaine, le nombre de zones humides diminue, ce qui augmente la distance avec la pièce d'eau la plus proche (Rubbo & Kiesecker 2005).

Ainsi, l'abondance des zones humides est en rapport direct avec la connectivité, la dynamique source-puits, la structure génétique et l'adaptation locale des Amphibiens (Semlitsch & Bodie 1998). La perte de zones humides entraîne une diminution du nombre de sites favorables à la reproduction des Amphibiens et une augmentation des distances entre ces sites. La diminution des probabilités de migration et de recolonisation rend critique la dynamique source-puits. En particulier, la perte de pièces d'eau de petites tailles conduit à une diminution de l'effet rescousse et donc à une diminution de la densité des populations (Semlitsch & Bodie 1998). Les infrastructures routières et l'augmentation des distances entre les zones humides créent des barrières à la dispersion, et donc influent sur la dynamique des métapopulations en rompant les dynamiques sources-puits (Rubbo & Kiesecker 2005). Les populations d'Amphibiens ont une probabilité de persistance plus basse lorsqu'elles sont isolées (Hamer et al. 2002).

### **Autres problèmes**

En Europe, le déclin de la biodiversité des plaines d'inondation est aussi dû au pâturage, à l'intensification de l'agriculture, au drainage de ces plaines et à l'emploi massif de fertilisants (Godreau et al. 1999).

# *Restauration des peuplements d'Amphibiens*

## **Paysage et conservation**

D'après Ward (1998), l'aménagement des écosystèmes est nécessaire pour maintenir ou restaurer la biodiversité à l'échelle du paysage. Il est alors nécessaire de :

- \_ Rétablir les gradients environnementaux au niveau des dimensions longitudinales, verticales et latérales à travers une série d'échelles ;
- \_ Rétablir la connectivité écologique entre les éléments du paysage ;
- \_ Reconstituer des milieux ayant quelques ressemblances avec une dynamique naturelle.

Les plans de conservation efficaces des Amphibiens doivent prendre en compte les dynamiques locales et paysagères (Porej et al. 2004). Afin d'enrayer le déclin des populations, il est nécessaire de conserver ou de créer des habitats de grande qualité pour des espèces isolées ou en groupe. Des efforts doivent être réalisés pour restaurer ces habitats au sein du paysage (Knutson et al. 1999). De plus, d'après Snodgrass (2000) et Porej & Hetherington (2005), les créations et les restaurations réussies de zones humides pouvant soutenir un maximum de biodiversité en Amphibiens passent par la préservation de la diversité des hypopériodes, la restauration de la connectivité entre les zones humides et la mise en place d'une végétation aquatique.

Les sites de reproduction de nombreux Amphibiens peuvent être subdivisés en populations locales. Les fluctuations naturelles, les extinctions et les colonisations naturelles sporadiques des populations locales sont l'essence de la perception faussée que les observateurs ont des dynamiques des communautés d'Amphibiens (Blaustein et al. 1994). Au niveau régional, les espèces d'Amphibiens fonctionnent donc en métapopulations. De ce fait, la possibilité d'alterner les sites de reproduction permet de stabiliser les populations régionales dans le cas où les conditions sur les sites locaux ne sont pas favorables à la reproduction (Rubbo & Kiesecker 2005).

Afin de prédire avec quelques degrés de confiance la probabilité qu'une population donnée persiste, il est indispensable d'acquérir suffisamment d'information démographique pour prévoir la trajectoire de croissance d'une population : classes d'âge, taux de natalité, de mortalité et taux d'immigration (Blaustein et al. 1994).

## **Les plaines d'inondation**

Les plaines inondables sont les environnements qui présentent la biodiversité globale la plus importante (Ward et al. 1999). Dans le cas de la plaine inondable de la Loire ceci n'a pas forcément été vérifié pour les Amphibiens.

Lorsque cette biodiversité est fragmentée par les activités humaines, la restauration des écosystèmes devient nécessaire pour la soutenir (Ward et al. 1999). Le succès de restauration des zones humides pour retrouver les faunes disparues ou en voie de disparition dépend tout d'abord de la compréhension des facteurs écologiques qui affectent la structure des communautés faunistiques de ces pièces d'eau (Godreau et al. 1999 ; Porej & Hetherington 2005). Au niveau des plaines d'inondation, trois étapes majeures permettent de préserver leur fonctionnement écologique :

- \_ Préserver ou si possible restaurer l'intégrité fonctionnelle au niveau des confluences ;
- \_ Diminuer la fragmentation et l'altération des prairies de grande taille ;
- \_ Eviter la présence d'espèces exotiques dans les forêts naturelles (Godreau et al. 1999).

## **Habitats forestiers et zones humides**

Les Anoues tirent profit d'un complexe d'habitats qui inclue les zones humides (Knutson et al. 1999). Pour que les Amphibiens complètent leur cycle de vie, ils ont besoin d'habitats terrestres pour les activités estivales et l'hibernation, et de zones humides pour la reproduction et le développement larvaire (Godreau et al. 1999). La préservation des habitats terrestres et aquatiques est donc nécessaire pour maintenir les populations d'Amphibiens (Porej et al. 2004).

Tout d'abord, les Amphibiens sont plus abondants et plus diversifiés quand le milieu présente une grande diversité de taches et de zones boisées « pont » entre les zones humides (Knutson et al. 1999). Un paysage ouvert entre des habitats forestiers fragmentés peut entraîner une diminution démographique de nombreuses espèces d'Amphibiens dépendantes de l'habitat forestier (Gibbs 1997). Aussi, en milieu rural, les zones boisées sont des refuges pour les Amphibiens, ce qui peut permettre à ces populations de subsister (Knutson et al. 1999).

Ainsi, il paraît capital de préserver un noyau d'habitat terrestre autour des zones humides pour maintenir la diversité d'Amphibiens (Porej et al. 2004). De plus, les forêts supportent de

nombreuses niches écologiques, apportent de la matière organique, permettent une régulation naturelle de la température et de l'évaporation au niveau local, et ajoutent une diversité faunistique et floristique (Knutson et al. 1999).

Pour conserver un maximum d'espèces d'Amphibiens, la restauration et la préservation des zones humides possédant une superficie importante n'est pas suffisante. En effet, il est également nécessaire de préserver des pièces d'eau de dimension plus petite. Les espèces retrouvées dans les zones humides de petite taille ne se retrouvent pas obligatoirement dans les grandes zones humides (Snodgrass 2000). Même si ces pièces d'eau ont une superficie inférieure à 1 hectare, leur préservation permet une bonne connectivité entre les populations et elles sont donc vitales pour maintenir la biodiversité locale (Semlitsch & Bodie 1998).

## CONCLUSION

La biodiversité batrachologique d'une zone humide est fortement influencée par l'hydropériodicité, la présence éventuelle de poissons prédateurs et la qualité de l'habitat (terrestre et aquatique). Or, ces facteurs sont directement liés à la proximité du réseau hydraulique du cours d'eau. La Loire joue donc un rôle majeur sur la richesse et la structure des peuplements d'Amphibiens.

Ainsi, les aménagements visant à restaurer dans une zone humide la richesse et la diversité en Amphibiens doivent en priorité protéger cette zone de la destruction, rétablir la connectivité écologique entre les éléments du paysage et préserver la diversité des hypopériodes des pièces d'eau. La conservation des espèces d'Amphibiens doit également passer par la préservation de taches boisées à proximité des zones humides, par un suivi démographique continu des populations et un entretien annuel de ces sites afin de les débarrasser des débris de toutes sortes, des polluants et d'éviter la fermeture de la pièce d'eau causée par un recouvrement arboré trop important.

En outre, une estimation plus précise de l'influence du fleuve sur ses annexes hydrauliques aurait nécessité des travaux de cartographie et de modélisation des paysages plus poussés.

Les effets de l'activité humaine sur le climat, les cycles biogéochimiques, l'utilisation du sol et la mobilité des organismes ont modifié la diversité locale et globale de la planète, avec des conséquences importantes sur les écosystèmes et la société (Chapin et al. 2000). La biologie de la conservation est par la force des choses devenue une nécessité pour protéger ce qui reste de l'environnement.

Cependant, la restauration ou la création d'habitats pour Amphibiens n'est habituellement pas un des buts de la restauration des zones humides (Porej & Hetherington 2005). La prise en compte de ce groupe faunistique est relativement récente dans les travaux de gestion des sites.

Pour être efficace et durable, la préservation de la biodiversité impose une gestion locale conduite par les populations concernées. Actuellement, la gestion de la diversité biologique dans les sociétés occidentales est fondée sur des concepts et des valeurs morales centralisés, ce qui ne semble pas aller vers une meilleur écoute des politiques envers les sociétés et les scientifiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- Arnold N. & Ovenden D. (2004) Le guide herpéto. Delachaux et Niestlé, Paris, 288 p.
- Baber M.J., Fleishman E., Babitt K.J. & Tarr T.L. (2004) The relationship between wetland hydroperiod and nestedness patterns in assemblages of larval amphibians and predatory and macroinvertebrates. *OIKOS*, 107, 16-27.
- Beebee T.J.C. (1997) Changes in dewpond numbers and amphibian diversity over 20 years on Chalk Downland in Sussex, England. *Biological Conservation*, 81, 215-219.
- Beebee T.J.C. & Griffiths R.A. (2005) The amphibian decline crisis: A watershed for conservation biology? *Biological Conservation*, 125, 271-285.
- Blaustein A.R., Wake D.B. & Sousa W.P. (1994) Amphibian Declines: Judging Stability, Persistence, and Susceptibility of Populations to Local and Global Extinctions. *Conservation Biology*, 8, 60-71.
- Bouchardy C. (2002) La Loire : Vallées et vals du grand fleuve sauvage. Delachaux et Niestlé, Lonay, 287 p.
- Chapin F.S., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C. & Diaz S. (2000) Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405, 234-242.
- Cushman S.A. (2006) Effects of habitat loss and fragmentation on Amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 128, 231-240.
- Duguet R. & Melky F. (2003) Les Amphibiens de France, Belgique et Luxembourg. Collection Parthénope, éditions Biotope, Mèze. 480 p.
- Gibbs J.P. (1998) Distribution of woodland amphibians along a forest fragmentation gradient. *Landscape Ecology*, 13, 263-268.
- Godreau V., Bornette G., Frochot B., Amoros C., Castella E., Oertli B., Chambaud F., Oberti D. & Craney E. (1999) Biodiversity in the floodplain of Saône : a global approach. *Biodiversity and Conservation*, 8, 839-864.
- Hamer A.J., Lane S.J. & Mahony M.J. (2002) Management of freshwater wetlands for the endangered green and golden bell frog (*Litoria aurea*): roles of habitat determinants and space. *Biological Conservation*, 106, 413-424.
- Hecnar S.J. & M'Closkey R.T. (1997) The effects of predatory fish on Amphibian species richness and distribution. *Biological Conservation*, 79, 123-131.

- Holenweg A.K. & Reyer H.U. (2000) Hibernation Behaviour of *Rana lessonae* and *Rana esculenta* in their natural habitat. *Oecologia*, 123, 41-47.
- Knutson M.G., Sauer J.R., Olsen D.A., Mossman M.J., Hemesath L.M. & Lanoo M.J. (1999) Effects of Landscape Composition and Wetland Fragmentation on Frog and Toad Abundance and Species Richness in Iowa and Wisconsin, U.S.A.. *Conservation Biology*, 13, 1437-1446.
- Malavoi J.R. & Souchon Y. (1996) Dynamique fluviale et dynamique écologique. *La Houille Blanche*, 6, 98-107.
- MapInfo Professional Version 6.5 (2001) Copyright © 1985-2001 MapInfo Corporation
- Maret T.J., Snyder J.D. & Collins J.P. (2006) Altered drying regime controls distribution of endangered salamanders and introduced predators. *Biological Conservation*, 127, 129-138.
- Matz G. & Weber D. (1983) Amphibiens et Reptiles d'Europe. Delachaux et Niestlé, Bruxelles, 12-90.
- Mensing D.M., Galatowitsch S.M. & Tester J.R. (1998) Anthropogenic effects on the biodiversity of riparian wetlands of a northern temperate landscape. *Journal of Environmental Management*, 53, 349-377.
- Pagano A. (1999) Les complexes hybrido-génétiques de Grenouilles vertes : déterminants de la distribution dans la vallée alluviale du Rhône. Thèse, Université Lyon 1. 132p.
- Pagano A., Crochet P.A., Graf J.D., Joly P. & Lodé T. (2001a) Distribution and habitat use of water frog hybrid complexes in France. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 433-441.
- Pagano A., Germain D. & Lodé T. (2001b) Etat de référence des communautés d'Amphibiens dans la vallée de la Loire, rapport final, campagne 2000-2001. *Rapport pour le Parc Naturel Régional Loire Anjou Touraine*, 32p.
- Pagano A. & Joly P. (1999) Limits of the morphometric method for field identification of water frogs, *Alytes*, 16, 130-138.
- Porej D., Micacchion M. & Hetherington T.E. (2004) Core terrestrial habitat for conservation of local populations of salamanders and wood frogs in agricultural landscapes. *Biological Conservation*, 120, 399-409.
- Porej D. & Hetherington T.E. (2005) Designing wetlands for Amphibians: the importance of predatory fish and shallow littoral zones in structuring of amphibian communities. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 445-455.
- Rubbo M.J. & Kiesecker J.M. (2005) Amphibian breeding distribution in an urbanized landscape. *Conservation Biology*, 19, 504-511.

- Semlitsch R.D. & Bodie J.R. (1998) Are small, isolated wetlands expendable? *Conservation Biology*, 12, 1129-1133.
- Skelly D.K., Halverson M.A., Freidenburg L.K. & Urban M.C. (2005) Canopy closure and amphibian diversity in forested wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 261-268.
- Snodgrass J.W., Komoroski M.J., Bryan A.L. JR & Burger J. (2000) Relationships among Isolated Wetland Size, Hydroperiod, and Amphibian Species Richness: Implications for Wetland Regulations. *Conservation Biology*, 14, 414-419.
- StatSoft France (2005) STATISTICA (logiciel d'analyse de données), version 7.1.  
[www.statsoft.fr](http://www.statsoft.fr)
- Ward J.V. (1998) Riverine landscapes : Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Conservation Biology*, 83, 269-278.
- Ward J.V., Tockner K. & Schiemer F. (1999) Biodiversity of floodplain river ecosystems: Ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research and Management*, 15, 125-139.

**Annexe 1 : Tableau de données brutes obtenu après recensement au niveau des annexes hydrauliques de la Loire**

| Commune - Localisation   | G.ver | G.agi | R.arb | C.con | C.cal | A.acc | P.pon | T.pal | T.pon | T.cré | T.mar | S.ter |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Angers - Mare 1 Etang St Nicolas                                       | 1     | 10    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 10    | 0     | 0     | 0     | 50    |
| Angers - Mare 2 Etang St Nicolas                                       | 2     | 4     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 40    | 0     | 4     | 1     | 29    |
| Bran sur Authion - Prés d'Amont  | 20    | 94    | 60    | 14    | 0     | 0     | 26    | 15    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Jugné sur Loire - Les Prés de Boug                                     | 12    | 0     | 0     | 5     | 0     | 0     | 0     | 11    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - La boie du Saule  | 0     | 3     | 4     | 0     | 0     | 0     | 0     | 24    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - La croix Dhiot (mare intermédiaire)                       | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - La croix Dhiot (mare la plus à l'Est)                     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 8     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - La croix Dhiot (mare la plus à l'Ouest)                   | 7     | 2     | 6     | 0     | 0     | 0     | 0     | 30    | 0     | 14    | 0     | 0     |
| La Bohalle - La Mare   | 19    | 0     | 0     | 11    | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - La Messagerie   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| La Bohalle - Les Minimeries (fossé)                                    | 7     | 0     | 0     | 31    | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - Les Minimeries (grande mare)                              | 44    | 0     | 0     | 143   | 0     | 0     | 8     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Bohalle - Les Minimeries (petite mare)                              | 5     | 3     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 5     | 0     | 7     | 0     | 0     |
| La Ménitré - Boire Girard  | 8     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Ménitré - Entre LePas au Blanc et La Porte (N-O)                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 15    | 0     | 4     | 0     | 0     |
| La Ménitré - Entre LePas au Blanc et La Porte (S-E)                    | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 11    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Ménitré - Le Pas au Blanc   | 10    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 26    | 0     | 6     | 0     | 0     |
| La Ménitré - Les Pelouses  | 3     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| La Poissonnière - Boire de Belle Vue                                   | 33    | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Les Ponts de Cé - Les Grollets   | 8     | 22    | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Les Ponts de Cé - Les Jubeaux  | 5     | 2     | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 15    | 7     | 0     | 0     | 0     |
| Les Ponts de Cé - Les Verdrières                                       | 16    | 9     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 13    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Le Thourel - La Roche à vent   | 21    | 8     | 49    | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Murs Erigné - La Jubeaudière   | 21    | 8     | 11    | 8     | 75    | 0     | 0     | 6     | 1     | 0     | 0     | 0     |
| Savennières - Le Bignolet  | 9     | 48    | 0     | 3     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     |
| St Augustin des Bois - Le Mortier                                      | 15    | 0     | 15    | 0     | 0     | 0     | 0     | 5     | 0     | 5     | 0     | 0     |
| St Augustin des Bois - Temps perdu                                     | 5     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 30    | 0     | 3     | 0     | 0     |
| St Georges sur Loire - Boire Blanche                                   | 14    | 0     | 9     | 0     | 0     | 0     | 0     | 30    | 38    | 0     | 0     | 0     |
| St Georges sur Loire - La Morinière                                    | 15    | 0     | 10    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 12    | 0     | 0     |
| St Georges sur Loire - Les Trois Enfs                                  | 61    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Georges sur Loire - L'Oie Pelée                                     | 36    | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 35    | 6     | 0     | 0     | 0     |
| St Georges sur Loire - Parc de la Maison neuve                         | 11    | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 0     | 1     | 0     | 6     | 0     | 0     |
| St Georges sur Loire - Port Girault                                    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste 1ère mare a gauche de l'entrée | 6     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste 2ème mare a gauche de l'entrée | 12    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste milieu le long route           | 42    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - Ile de la Poste (partie Ouest)                 | 19    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - La Cour  | 4     | 1     | 1     | 5     | 0     | 0     | 2     | 35    | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - La Plaine                                      | 12    | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - Mare de la Brèche                              | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 6     | 0     | 18    | 0     | 0     |
| St Mathurin sur Loire - Moulin du Coisard                              | 10    | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 24    | 0     | 6     | 0     | 0     |
| St Rémy La Varenne - Boire des Groselliers                             | 63    | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Rémy La Varenne - Boire Taro  | 11    | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| St Sylvain d'Anjou - Château à Motte                                   | 41    | 32    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 10    | 0     | 0     | 0     | 0     |

*Annexe 2 : Gammes d'abondances par espèces pour chaque site et autres variables prises en compte*

| N° ID | G.ver | G.gai | R.arb | C.com | C.eal | A.acc | P.pon | T.pal | T.pon | T.eré | T.mar | S.ter | Distance par rapport à la Loire (m) | Classement lié à la distance | Nature de la pièce d'eau | Richesse spécifique | Habitat |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| 1     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 2     | 3250 / à Maine                      | 3                            | mare cont.               | 4                   | f       |
| 2     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 2     | 2     | 3250/ à Maine                       | 3                            | mare cont.               | 6                   | f       |
| 3     | 2     | 2     | 2     | 2     | 0     | 0     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 500 / à Authion                     | 2                            | mare allu.               | 6                   | p       |
| 4     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 500                                 | 2                            | boire                    | 3                   | f       |
| 5     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1000                                | 3                            | bras mort                | 3                   | p       |
| 6     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 37                                  | 1                            | mare allu.               | 2                   | p       |
| 7     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 37                                  | 1                            | mare allu.               | 2                   | p       |
| 8     | 1     | 1     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 37                                  | 1                            | mare allu.               | 5                   | p       |
| 9     | 2     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 625                                 | 3                            | mare cont.               | 3                   | p       |
| 10    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 37                                  | 1                            | mare allu.               | 2                   | f       |
| 11    | 1     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 150                                 | 1                            | mare allu.               | 3                   | p       |
| 12    | 2     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 150                                 | 1                            | mare allu.               | 3                   | p       |
| 13    | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 87                                  | 1                            | mare allu.               | 6                   | p       |
| 14    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 375                                 | 2                            | bras mort                | 1                   | p       |
| 15    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 37                                  | 1                            | mare allu.               | 2                   | f       |
| 16    | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 37                                  | 1                            | mare allu.               | 3                   | f       |
| 17    | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 100                                 | 1                            | mare allu.               | 4                   | f       |
| 18    | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 312                                 | 2                            | mare allu.               | 2                   | p       |
| 19    | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 287                                 | 2                            | bras mort                | 2                   | p       |
| 20    | 1     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 475                                 | 2                            | mare allu.               | 4                   | p       |
| 21    | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 175                                 | 1                            | mare allu.               | 5                   | f       |
| 22    | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 162                                 | 1                            | mare allu.               | 3                   | f       |
| 23    | 2     | 2     | 2     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1350                                | 3                            | mare cont.               | 5                   | p       |
| 24    | 2     | 0     | 2     | 2     | 2     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 225 / à L'ouet                      | 3                            | mare allu.               | 7                   | p       |
| 25    | 1     | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1500                                | 3                            | mare cont.               | 5                   | p       |
| 26    | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 6500                                | 3                            | mare cont.               | 4                   | p       |
| 27    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 8375                                | 3                            | mare cont.               | 3                   | f       |
| 28    | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 1150                                | 3                            | bras mort                | 4                   | p       |
| 29    | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 4500                                | 3                            | mare cont.               | 3                   | f       |
| 30    | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 175                                 | 1                            | mare allu.               | 1                   | f       |
| 31    | 2     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 125                                 | 1                            | mare allu.               | 4                   | p       |
| 32    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 3750                                | 3                            | mare cont.               | 4                   | p       |
| 33    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 150                                 | 1                            | mare allu.               | 1                   | f       |
| 34    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 50                                  | 1                            | mare allu.               | 1                   | p       |
| 35    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 50                                  | 1                            | mare allu.               | 1                   | p       |
| 36    | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 150                                 | 1                            | bras mort                | 1                   | p       |
| 37    | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 75                                  | 1                            | boire                    | 1                   | p       |
| 38    | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 675                                 | 3                            | mare cont.               | 6                   | p       |
| 39    | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 2250                                | 3                            | mare cont.               | 4                   | p       |
| 40    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 2     | 0     | 0     | 50                                  | 1                            | mare allu.               | 3                   | p       |
| 41    | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 2     | 0     | 0     | 425                                 | 2                            | mare allu.               | 4                   | f       |
| 42    | 2     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 175                                 | 1                            | boire                    | 4                   | f       |
| 43    | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 325                                 | 2                            | boire                    | 3                   | f       |
| 44    | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     | 5000 / à Sarthre                    | 3                            | mare cont.               | 3                   | p       |

