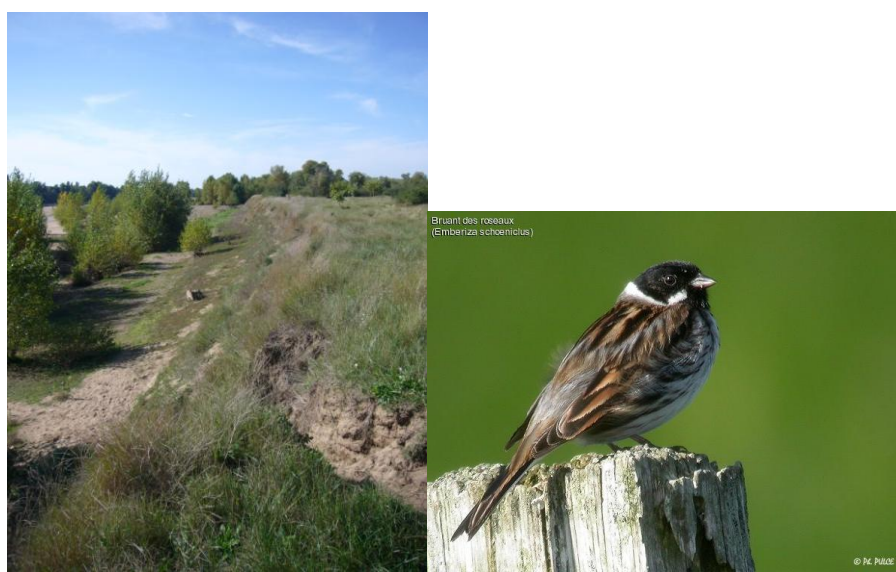




Rapport de synthèse de la thématique 2

Vulnérabilité de la biodiversité par rapport au changement climatique dans le bassin versant de la Loire – Synthèse des données existantes et mise en place d'un protocole standardisé de suivi en vue d'une modélisation.



Coordination du thème : Sabine Greulich (UMR CITERES)

Participants recherche : Jean Secondi, Nina Richard, Marc Villar, Isabelle La Jeunesse, Jean-Louis Yengué, Clélia Carreau

Gestionnaires des espaces naturels : Michel Chantereau, Denis Lafage, Stéphanie Hudin



Table de matières

Contexte et objectifs du travail.....	3
I Habitats (occupation du sol)	5
Sources des données et méthodes d'analyse	5
Occupation du sol en 1969	9
Occupation du sol en 2000 et dynamiques 1969 – 2000.....	10
Stabilité des milieux entre 1969 et 2000	13
Trajectoire des habitats modifiés entre 1969 et 2000 – Analyse par segment	14
Conclusion.....	20
II Végétation.....	22
Sources des données et méthodes d'analyse	22
Synthèse des données existantes	24
Lacunes identifiées	33
Nouvelles données acquises dans le cadre du projet.....	34
III Macroinvertébrés aquatiques.....	38
Sources des données.....	39
Synthèse des données existantes	40
Les insectes - Plécoptères	45
Les insectes - Ephéméroptères	45
Les insectes - Trichoptères	47
Les insectes - Odonates.....	48
Les insectes - Coléoptères	49
Les insectes - Diptères.....	49
Les insectes - Hétéroptères.....	49
Les insectes - Mégaloptères.....	50
Les Mollusques, gastéropodes et bivalves.....	50
Les Crustacés	50
Lacunes identifiées.....	51
Nouvelles données acquises dans le cadre du projet.....	51
IV Avifaune des prairies inondables	51
Introduction	51
Méthodes	53
Résultats	57
Discussion et Perspectives.....	65
V Mise en place d'un protocole d'échantillonnage.....	67
Nature des données à collecter en vue d'une modélisation.....	67
Sites et protocole de suivi.....	67
Premiers résultats : calage thermique des habitats par rapport aux stations météo de référence	68
Conclusion générale du volet « biodiversité »	74
Références bibliographiques	75

Contexte et objectifs du travail

Le changement climatique se manifeste à travers l'augmentation des températures moyennes à la surface terrestre. Les impacts probables de ces modifications concernent à la fois les composantes biotiques et abiotiques des écosystèmes. Ainsi, les modifications de température sont susceptibles d'entraîner des modifications des *patterns* de pluviométrie et donc du cycle hydrologique dans son ensemble. Les conséquences directes et indirectes de ces modifications sont susceptibles d'avoir des impacts majeurs dans les années à venir sur la répartition et le fonctionnement des écosystèmes et sur la répartition des organismes, voire sur la survie de certains d'entre eux. Les organismes potentiellement les plus vulnérables sont ceux à valence écologique particulièrement étroite. Des déplacements d'organismes ont d'ores et déjà été observés (Parmesan 1996, Parmesan & Yohe 2003). Selon les prévisions du GIEC (GIEC 2007), l'augmentation des températures à l'échelle de la majeure partie de la France hexagonale, dont le bassin versant de la Loire, pourrait être comprise entre 2 et 4°C à l'horizon 2090 en fonction de l'importance des rejets en CO₂ actuels et futurs. Comme ailleurs, les impacts sur le fonctionnement abiotique des écosystèmes de ce territoire pourraient se traduire, outre les augmentations directes des températures moyennes, voire journalières, par des modifications des cycles hydrologiques avec une modification du régime hydrologique de la Loire et donc par des modifications concernant les fréquences et durées d'inondations des habitats et des organismes fixés de la plaine alluviale de la Loire. D'autres conséquences pourraient être une modification des périodes de végétation, des cycles de reproduction des espèces animales et végétales etc.

L'appel d'offre à projets de recherche lancé par l'Etablissement Public Loire en été 2008 pour des projets à recherche d'une durée de 18 mois concernant la « connaissance des vulnérabilités des activités humaines et des milieux du bassin de la Loire par rapport aux effets du changement climatique sur les régimes d'inondation et de sécheresse » a pour objectif d'acquérir des connaissances précises sur l'impact du changement climatique à l'échelle du bassin versant de la Loire.

Une évaluation des vulnérabilités des milieux et des espèces animales et végétales se confronte cependant à plusieurs problèmes :

- (i) Le détail des modifications climatiques à l'échelle du bassin versant de la Loire en termes de régimes hydrologique et de température étaient inconnus lors du début du travail. Quelques prévisions plus précises ont été disponibles seulement vers la fin du projet (Moatar et al. 2010).
- (ii) Avant de pouvoir évaluer la vulnérabilité des organismes et des milieux par rapport aux impacts potentiels du changement climatique, leurs exigences en termes de régime d'inondation et de température doivent être connues.

Le présent volet « biodiversité » du projet EV2B vise à réunir des éléments de réponse pour le point (ii) et cherche à identifier des lacunes qu'il convient de combler afin de pouvoir évaluer de manière précise la vulnérabilité des organismes et de leurs habitats. Il représente donc une première étape dans l'évaluation de la vulnérabilité des espèces et des milieux naturels ligériens, étape qui pourrait être complétée dès que les données ou scénarios précis de l'impact du changement climatique, élaborées par d'autres équipes de recherche, seront disponibles.

En conséquence, le volet « biodiversité » du présent projet de recherche a trois objectifs majeurs :

1. Collecter les **données écologiques existantes** pour des habitats et des groupes animaux et végétaux susceptibles d'être des indicateurs des changements climatiques et évaluer le potentiel informatif des données collectées à l'aide d'une exploitation statistique lorsque cela s'avère possible.
2. Mettre en place un **protocole d'échantillonnage** visant à compléter les données déjà acquises et à réaliser de façon standardisée un suivi des habitats et des populations d'intérêt reconnu sur le moyen et le long terme. Cette étape doit déboucher sur la réalisation de modélisations prédictives permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur les habitats patrimoniaux ligériens et sur un choix d'espèces animales et végétales plus caractéristiques de ces habitats.
3. Réaliser une **modélisation test** des niches pour un groupe faunistique où d'ores et déjà l'existence d'une quantité significative de données est connue.

De plus, l'acquisition de données complétant la synthèse de données a été prévue là où elles s'avéreraient indispensables pour atteindre les objectifs annoncés du travail et où elle était possible dans la durée de cette étude de 18 mois.

L'étude menée concerne les habitats naturels du lit endigué de la Loire et leur dynamique récente, leur végétation ligneuse et herbacée, les macroinvertébrés aquatiques ainsi que quatre espèces d'oiseaux prairiaux. Elle couvre le lit endigué de la Loire depuis l'aval du barrage de Villerest (département 42, Loire supérieure, Malavoi 2002) jusqu'à S^t Florent le Vieil (département 49, Loire aval) ainsi que plusieurs vallées des affluents de la Loire au niveau des basses vallées angevines pour les oiseaux prairiaux.

Le présent rapport est organisé en chapitres par thème d'étude (habitats, groupes taxonomiques) suivi de la proposition d'un protocole de suivi des habitats et d'espèces clés et d'une discussion concernant les possibilités de modélisation de la distribution des espèces et habitats patrimoniaux ligériens. Il est le fruit de la collaboration de chercheurs en écologie et géographie appartenant à plusieurs laboratoires et Universités, et de plusieurs gestionnaires d'espaces naturels ligériens (annexe 1).

Le rapport rend compte des travaux menés entre mars 2009 et fin novembre 2010.

Mots clés : habitats, occupation du sol, dynamiques des habitats, valence écologique, température, inondation, végétation ligneuse, végétation herbacée, espèces patrimoniales, espèces envahissantes, macroinvertébrés aquatiques, oiseaux prairiaux, modélisation des niches.

I Habitats (occupation du sol)

Sources des données et méthodes d'analyse

L'étude couvre le lit endigué de la Loire compris entre l'aval du barrage de Villerest (42) et St. Florent-le-Vieil (49). L'objectif est d'identifier la dynamique des habitats dans le lit endigué de la Loire des années 1960 aux années 2000. La démarche adoptée s'est organisée en trois phases :

Phase 1 : Collecte de cartographies de végétation disponibles pour le lit endigué de la Loire (sources SIEL <http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/SIEL/index.htm> et CORELA). L'objectif ici était d'harmoniser ces nombreuses données, de sources, de forme et d'organisation différentes afin de les structurer dans un Système d'Information Géographique (SIG).

Concernant les années 2000, les données pré-citées ont été géoréférencées en Lambert II étendu et traitées avec le logiciel ArcGIS 9.3. Afin d'obtenir une base de données exploitable, il a fallu effectuer un long travail de validation et de réorganisation des fichiers sources (nettoyage d'erreurs, suppression de nombreux doublons, recoupements d'objets identiques mais portant des noms différents, ...).

Toutes ces informations ont ensuite été intégrées dans un seul fichier dit « fichier de formes » sous ArcGIS, fichier comportant plusieurs attributs (qualificatifs des objets géographiques qui les décrivent). Notre travail a ensuite consisté en la définition d'une nouvelle typologie d'habitats permettant de réaliser une étude diachronique. Le fichier de formes a donc été retravaillé pour agréger les habitats selon la nouvelle typologie.

Phase 2 : Caractérisation des habitats en 1969, première année de couverture homogène de notre zone d'étude par les prises de vue aérienne. Cette tâche s'est faite essentiellement par photo interprétation. La qualité des clichés en noir et blanc ne permet pas d'identifier tous les types d'habitat considérés dans la phase 1. Plusieurs classes d'habitats ont donc dû être agrégées afin de pouvoir comparer l'occupation du sol en 1969 et dans celle des années 2000 (Tableau 1).

Phase 3 : La comparaison des deux jeux de données a été effectuée par segments de Loire (Fig. 1). Nous avons suivi la sectorisation de Malavoi (2002). L'analyse couvre 5 segments (Tableau 2) : la Loire amont (segment 23), la Loire moyenne (segments 34 à 36) et l'amont de la Loire aval sur environ la moitié de l'unité 7 (segment 47). Les principaux résultats de l'analyse sont présentés ici.

Tableau 1 : Correspondances des classes d'occupation du sol entre les cartographies de 1969 et de 2000

Typologie 1969	Typologie 2000
Zones urbanisées	
	Espaces anthropisés
Espaces verts artificialisés, non agricoles	
	Arbres d'alignement
	Autres plantations d'arbres
	Haie bocagère mixte
	Jardins
	Peupleraie plantée
	Robineraie (plantation de Robinier faux-acacia)
Terres arables	
	Autres cultures
	Cultures
	Friches agricoles
	Grandes cultures
	Jachères
	Surfaces agricoles non cultivées
Cultures permanentes	
	Vergers
	Vignes
Prairies	
	Mégaphorbiaies
	Pelouse à Sedum sp. plur. (orpins) dominants
	Pelouses à Corynephorus canescens (L.) P. Beauv. (Canche blanchâtre)
	Pelouses à Festuca longifolia Thuill. (Fétuque à longues feuilles)
	Pelouses et autres communautés xérophiles à mésophiles du lit majeur
	Pelouses, landes à Artemisia campestris L. (Armoise champêtre)
	Prairie mésophile à avoine élevée
	Prairie mésophile à mésoxérophile à chiendents dominants
	Prairies humides atlantiques
	Prairies mésophiles et mésoxérophiles du lit majeur
	Prairies mésophiles pâturées du lit majeur
Forêts	
	Chênaie alluviale à Quercus robur L. (Chêne pédonculé)
	Chênaie planitiaire ou collinéenne à Quercus robur L. (Chêne pédonculé)
	Forêt de bois durs
	Forêt de bois tendres
	Forêt de bois tendres colonisés par les bois durs
	Forêts naturelles
	Frênaie fraîche
	Frênaie, ormaie à Fraxinus et Ulmus
	Frênaie-ormnaie typique
	Fruticées

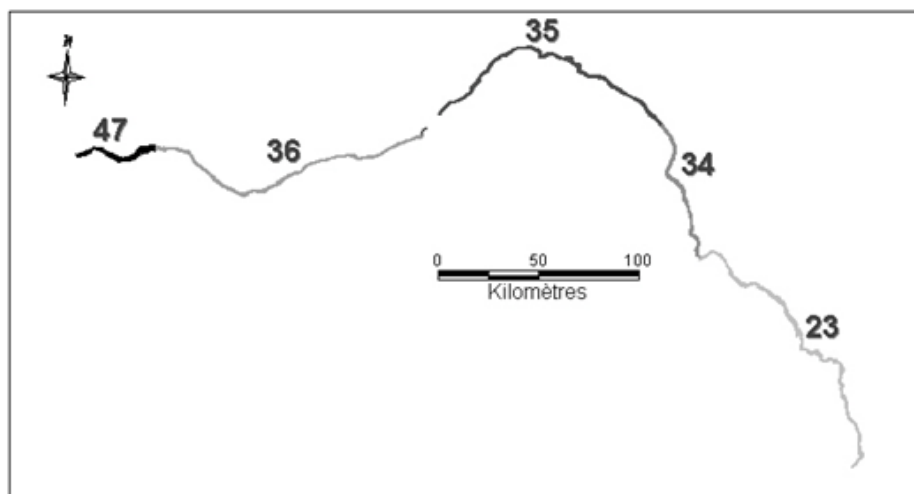
	Peupleraie sèche
	Saulaie à <i>Salix alba</i> L. (Saulé blanc)
	Saulaie-peupleraie à <i>Populus nigra</i> L. (peuplier noir)
	Saulaie-peupleraie arborescente
Milieus à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	
	Autres communautés aquatiques
	Autres communautés d'hélophytes
	Autres friches herbacées
	Communautés à lentilles d'eau
	Communautés à potamots
	Communautés aquatiques
	Communautés d'amphiphytes
	Communautés des basses vaseuses du lit mineur (<i>Bidention tripartitae</i>)
	Communautés d'hélophytes, mégaphorbiaies hygrophiles
	Communautés hygrophiles du lit majeur
	Fruticées
	Herbiers de Jussie
	Landes à genêts
	Magnocariçaies
	Peuplements algaux
	Peuplements de substitution à grandes renouées exotiques
	Phalaridaies
	Saulaie arbustive
	Saulaie arbustive à <i>Salix purpurea</i> L. (Saulé pourpre)
	Saulaie peupleraie arbustive
	Végétations herbacées, landes et friches à l'écart du lit mineur
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	
	Communauté pionnière des sables humides (<i>Chenopodion rubri</i>)
	Communauté pionnière des vases humides (<i>Nanocyperion</i>)
	Sable
	Végétations herbacées pionnières typiques du lit mineur
	Végétations pionnières alluviales des sables secs du lit mineur
Cours d'eau	
	Eau courante
Plans d'eau	
	Eau stagnante
	Gravière
	Plan d'eau artificiel (étangs, lacs de retenue)
	Plan d'eau naturel (Boire)

Tableau 2 : Découpage géomorphologique de la Loire selon Malavoi (2002). Sont indiqués en grisé les segments pris en compte dans l'analyse de l'occupation du sol et leurs surfaces respectives.

		Limites géographiques	Longueur	Superficie (m ²)	Part de la surface totale (%)
Secteur 1 : Loire supérieure	Unité 1	Sources - barrage de Grangent	169 km		
	Unité 2	Barrage Grangent – barrage Villarest	82 km		
Secteur II : Loire amont	Unité 3	Villarest – bec d'Allier	192 km	204426136,7	28,4
Secteur III : Loire moyenne	Unité 4	Bec d'Allier – Bonny-sur-Loire	81 km	98444476,4	13,7
	Unité 5	Bonny – confluence du Beuvron	166 km	182054859,4	25,3
	Unité 6	Confluence Beuvron – Les-Ponts-de-Cé	152 km	153945660,7	21,4
Secteur IV : Loire aval	Unité 7	Ponts-de-Cé – Couëron (aval de Nantes)	102 km	81444026,9	11,3
	Unité 8	Couëron – Saint Nazaire, l'estuaire	35 km		

SECTEURS DE LOIRE UTILISES POUR L'ANALYSE DIACHRONIQUE

Secteurs issus de la sectorisation de Malavoi (2002)



Sources : cartographies IGN, secteurs Malavoi
Date : 2000
Réalisation : I. La Jeunesse, Janvier 2011

SECTEURS DE LOIRE	
■	23 (71065)
■	34 (28134)
■	35 (71192)
■	36 (57848)
■	47 (36077)

Figure 1 : Secteurs de Loire pour l'étude

Occupation du sol en 1969

Pour l'ensemble des secteurs, des surfaces relativement importantes, i.e. au moins 10% de la surface totale, sont occupées par des cours d'eau (i.e. généralement la Loire), des forêts, des prairies et de terres arables (Fig. 2).

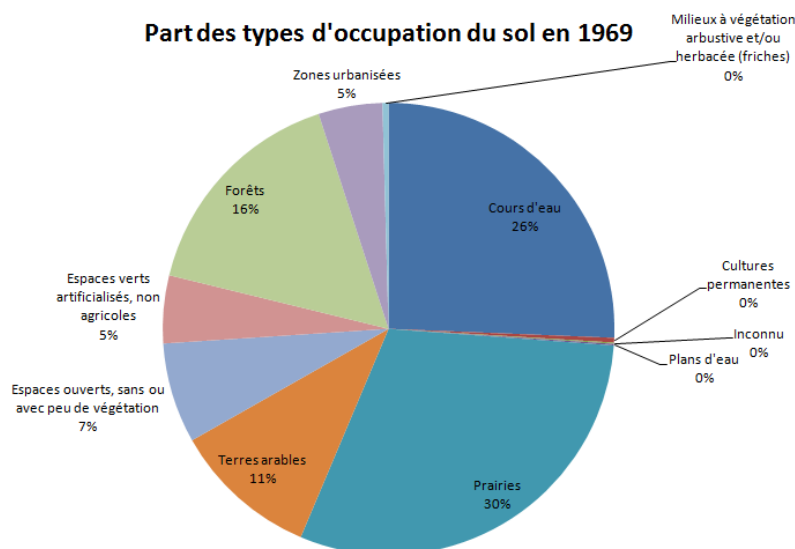


Figure 2: Répartition des habitats entre Villarest (Haute Loire) et Florent-le-Vieil (Maine et Loire) en 1969

L'importance relative de ces habitats varie selon les secteurs (Tableau 3) : la Loire amont est caractérisée par la forte présence de prairies (59,5% de la surface totale du secteur) et la très faible présence de terres arables (2,1%). Les segments de la Loire moyenne (34 à 36) ont pour particularité des surfaces relativement importantes couvertes par l'eau courante (> à 25%) et par les forêts (entre 16 % et 35 % selon les segments). Quant à la Loire aval (47), elle se caractérise par une présence relativement importante de prairies (32,7%), une surface forestière faible (4,1%) et des espaces verts artificialisés importantes (15,8%). Parmi les segments de la Loire moyenne, le segment 35 (de Bonny à la confluence du Beuvron) se singularise par la relativement forte présence de terres arables (20%), qui est du même ordre de grandeur que celle des prairies (18,9 %) et avant celle des forêts (17,4%).

Quant aux types d'occupation du sol plus faiblement représentés ou prenant une certaine importance sur certains secteurs seulement, il s'agit premièrement des espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation. En 1969 ils représentent 7 à 8% de la surface alluviale dans tous les segments sauf sur la Loire aval (1,9%). Les espaces verts artificialisés, non agricoles (jardins, arbres d'alignement, populiculture...) prennent une certaine importance dans les segments avals (segment 36 : 7,7% ; segment 47 : 15,8%). Quelques petites surfaces de cultures permanentes (vignoble, vergers) sont présentes localement (segments 23, 36 et 47). Les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée regroupant pour l'essentiel l'ensemble de la végétation herbacée et arbustive du lit mineur, ne sont que très peu représentés (<1%).

Dans tous les secteurs, l'emprise des zones urbanisées est relativement faible et se situe entre 2,5 % et 6 %.

Tableau 3 : Part des différents types d'occupation du sol en 1969 selon les secteurs (en %)

	Secteurs					Total (%)
	23	34	35	36	47	
Prairies	59,48	14,37	18,90	13,46	32,68	30,19
Cours d'eau	15,48	25,59	25,88	38,70	25,90	25,63
Forêts	10,46	35,54	17,42	16,26	4,07	16,17
Terres arables	2,15	9,19	19,98	8,65	14,78	10,44
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	7,77	7,62	8,66	7,10	1,90	7,17
Espaces verts artificialisés, non agricoles	1,67	2,47	2,39	7,71	15,77	4,85
Zones urbanisées	2,38	4,83	5,85	5,90	4,48	4,58
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	0,38	0,31	0,39	0,86	0,05	0,43
Cultures permanentes	0,04	0,00	0,00	1,35	0,32	0,34
Plans d'eau	0,18	0,09	0,16	0,01	0,07	0,11
Inconnu	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,09
<i>Total (%)</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>

Occupation du sol en 2000 et dynamiques 1969 – 2000

En 2000, les grands types d'occupation du sol (> 10%) restent les mêmes (Fig. 3), bien que les zones urbanisées s'approchent maintenant de la valeur des 10% à partir de la Loire moyenne vers l'aval (Tableau 4). Sur l'ensemble de la zone étudiée, les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) sont marqués par une augmentation de leur surface, tout comme les terres arables et les zones urbanisées (Fig. 4). Seul les cours d'eau ont perdu en superficie sur l'ensemble du site. Les autres types de milieux présentent une dynamique plus nuancée en fonction des secteurs (Tableau 5).

Les segments 23 et 47 tendent à perdre leurs singularités par rapport à la Loire moyenne. Ainsi, sur la Loire amont, la part des prairies a baissé de près d'un quart, bien qu'elles restent toujours dominantes avec 44,9% de la surface occupée, et la part des terres arables dépasse maintenant les 10%. Sur le segment de la Loire aval, la part de la forêt en 2000 reste la plus faible vis-à-vis des autres segments avec 8,6% mais a augmenté par rapport à 1969 (+110,4%) contrairement aux secteurs 23 à 35 (-1,1% à -22%). D'autre part, les surfaces en espaces verts artificialisés non agricoles ont largement diminué (6,8%).

Les milieux qui ont connu la plus forte progression relative sont les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) (Fig. 4). Quasiment inexistantes en 1969 (valeurs comprises entre 0,05% et 0,9%), ils occupent en 2000 environ de 3% à 7% de l'espace sur tous les segments. Sur l'ensemble des segments ont également progressé les plans d'eau, les terres

En revanche, elle a diminué concernant les secteurs 36 (-15,3%) et 47 (-56,6%) ainsi que la part des prairies (entre -5,2% et -40,8 %), à l'exception du segment 36 où la surface des prairies augmente légèrement (+4,6%). De ce fait, les prairies représentent en 2000 environ 10% de la surface du lit endigué de la Loire moyenne. Un dernier type de surface est moins étendu en 2000 qu'en 1969 sur l'ensemble du secteur étudié, à savoir la surface occupée par l'eau courante (-3,8 % sur le segment 23, entre -20,2% et -43,2% sur les autres segments). Cette diminution pourrait refléter l'incision du lit de la Loire, cependant l'hypothèse de débits plus bas durant les prises de vue en 2000 est à vérifier. Des niveaux d'eaux ponctuellement plus faibles devraient être couplés à des surfaces sableuses découvertes plus grandes (*i.e.* espaces ouverts sans ou avec peu de végétation) et à une augmentation de la surface en eau stagnante due à la déconnexion de certains bras secondaires du chenal actif. Or, la somme des gains en espaces ouverts et en plans d'eau reste inférieure aux pertes nets en cours d'eau (entre -2,7 km², segment 47 et -19,9 km², segment 35), ce qui rend peu probable que ce recul relatif de la surface occupée par l'eau courante soit uniquement dû à un artefact des prises de vue. La situation des espaces ouverts sans ou avec peu de végétation dont font partie les grèves de la Loire avec leur végétation spécifique, varie fortement selon les segments : ces surfaces ont diminué de plus de 50% sur les segments 23 et 35, elles ont augmenté respectivement de 27,5%, 68,3% et 429,8% sur les segments 34, 36 et 47.

Tableau 5 : Surfaces des types d'occupation du sol en 2000 par rapport à 1969 (en pourcent) sur les différents segments de la Loire. En rouge : augmentations, en vert : diminutions.

	23	34	35	36	47	Total (%)
Cours d'eau	-3,8	-43,2	-20,3	-32,6	-39,2	-26,7
Cultures permanentes	-91,3			-74,5	62,9	52,2
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	-46,4	27,5	-60,7	68,3	429,8	-1,5
Espaces verts artificialisés, non agricoles	30,5	134,3	216,0	-15,3	-56,6	13,3
Forêts	-1,1	-21,7	-22,0	4,8	110,4	-8,5
Inconnu			-100,0			-92,7
Milieus à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	1 412,1	2 109,8	1 648,3	460,7	6 389,4	1 191,9
Plans d'eau	222,4	1 519,4	625,3	4 326,3	238,9	570,2
Prairies	-24,5	-7,3	-40,8	4,6	-5,2	-20,9
Terres arables	504,8	26,6	30,9	13,7	4,6	50,8
Zones urbanisées	77,2	52,6	52,5	51,1	93,1	60,3

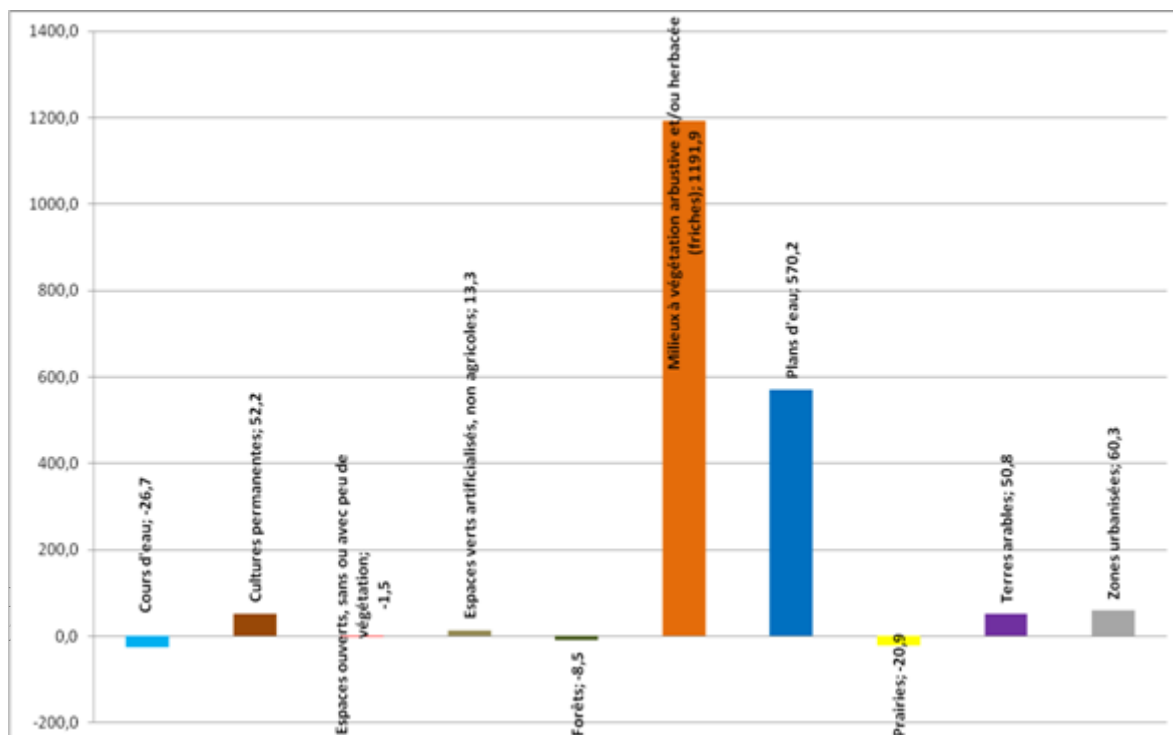


Fig. 4 : Evolution globale des types d'occupation du sol sur la zone d'étude en %

Stabilité des milieux entre 1969 et 2000

Le fait que les grands types d'occupation du sol soient globalement les mêmes sur tous les segments entre 1969 et 2000 ne veut pas forcément dire qu'il s'agit physiquement des mêmes espaces n'ayant pas changé d'occupation. Pour pouvoir évaluer la stabilité physique d'un milieu entre 1969 et 2000, la part des surfaces n'ayant pas changé d'occupation entre ces deux dates a été évaluée (sachant qu'il ne nous est pas possible d'évaluer des dynamiques plus rapides).

La part des milieux restés stables entre 1969 et 2000 correspond à 46,6% (33552,95 ha) de la surface totale de la zone d'étude (soit 72031,52 ha). Le secteur amont représente la plus grande superficie restée stable (33% des espaces y sont stables). La part des secteurs 35 et 36 reste supérieure à 20%. En revanche seulement 10,3% des surfaces sont restées stables sur le segment de la Loire aval.

Ces taux de stabilité varient selon les types d'habitat mais ils restent relativement faibles (< à 30%) pour la plupart (Figure 5). Des taux de stabilités plus élevés s'observent pour les cultures permanentes du secteur 36 (> 90%), les plans d'eau du secteur 35 (> 80%) et les prairies du secteur amont (70%).

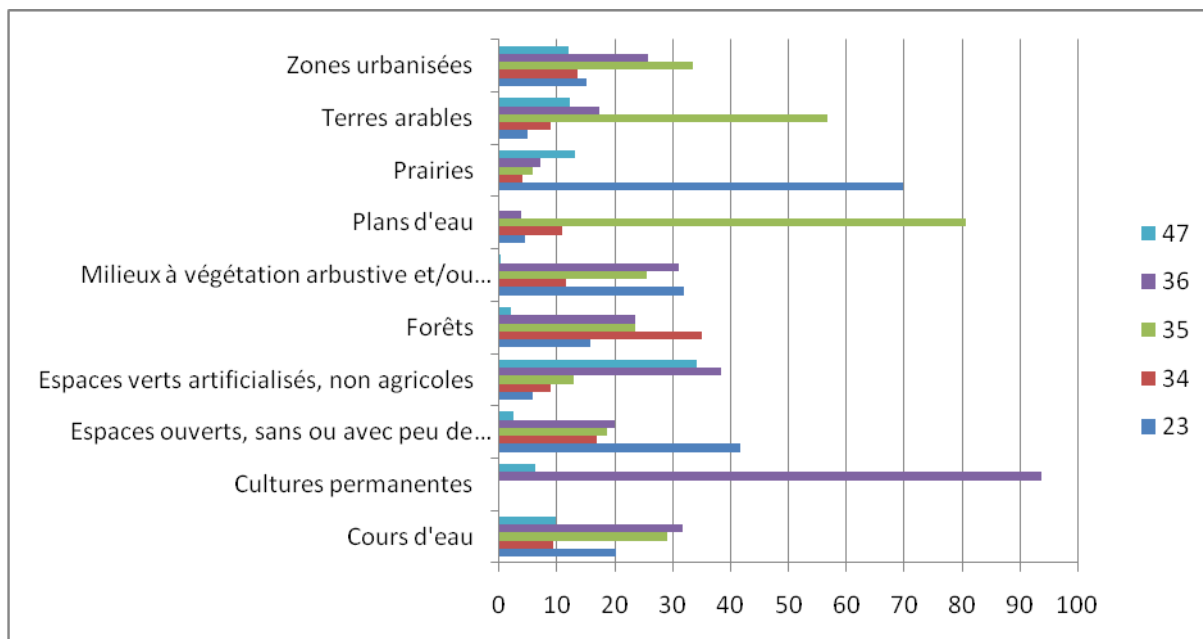


Figure 5 : Taux de stabilité des différents habitats entre 1969 et 2000 par type et par segment de Loire

Trajectoire des habitats modifiés entre 1969 et 2000 – Analyse par segment

Les paragraphes suivants décriront brièvement ce que sont devenues les surfaces de 1969 ayant changé de type d'occupation du sol sur les clichés de 2000. Y seront exposés uniquement les habitats présentant les plus grandes surfaces ou ayant changé le plus fortement. Des informations plus détaillées pourront être obtenues à partir des figures.

Loire amont (segment 23)

L'habitat ayant le plus diminué en surface totale sur ce segment était la prairie (diminution de près d'un quart). La moitié de ces surfaces sont devenues en 2000 terres agricoles, 16% sont devenues forêt. Le restant se distribue sur les autres types d'occupation du sol (Fig. 6). Sur ce segment avaient également disparu des surfaces relativement importantes des espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation (ce qui devrait correspondre essentiellement aux grèves à végétation herbacée pionnière). Près de la moitié de ces surfaces sont devenues prairies, les autres forêt (18%), milieux arbustifs/friches (15%) et cours d'eau (12%). Ces dernières dynamiques correspondant aux étapes d'une succession naturelle des habitats.

L'habitat qui avait connu la plus forte progression sur le segment correspond aux milieux à végétation arbustive et herbacée. Il est majoritairement issu de prairies (à 37%), de forêts (33,5%), de prairies et d'anciens milieux ouverts (17%) (Tableau 6).

Loire moyenne (segments 34 à 36)

Au niveau des secteurs 34 et 36, les principales modifications dans les occupations du sol dominantes concernaient l'habitat « cours d'eau » (diminutions respectivement de 26% à 24% et de 39% à 26% de la surface totale). En 2000, ces surfaces sont majoritairement devenues espaces ouverts sans ou avec peu de végétation (à respectivement 45% et 60%), forêt (à 37% et 20%) ou milieux à végétation arbustive ou herbacée (à 6% et 9%), ce qui correspond à une suite typique dans le cadre d'une succession naturelle progressive. Sur le segment 35, les modifications dans les occupations du sol étaient moindres, une particularité était la diminution des surfaces de prairies de 19% à 11% et une augmentation des terres arables de 20% à 26% de la surface totale. Cette augmentation est à 2/3 directement due à la transformation des prairies en terres arables.

Les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée dont la superficie relative avait fortement progressé de 1969 à 2000 sont issus pour la plus grande partie de forêts (segment 34 : 47%, segment 35 : 20,5%, segment 36 : 18,5 %) et/ou de cours d'eau (segment 34 : 17%, segment 35 : 24%, segment 36 : 30,5 %). Une part significative (autour de 15 à 17%) est également fournie par des prairies de 1969 (tous segments), voire des espaces ouverts et terres arables (segment 35) (Tableau 6).

Tableau 6 : Origine des surfaces étant devenues « milieux arbustifs et herbacées » en 2000 par segment et surfaces associées. % surf. tot : Part de l'habitat dans la surface totale.

	23		34		35		36		47	
	surface (ha)	% surf. tot	surface (ha)	% surf. tot	surface (ha)	% surf. tot	surface (ha)	% surf. tot	surface (ha)	% surf. tot
Cours d'eau	96,6	8,40%	90	16,62%	296,7	24,40%	219,5	30,50%	66,4	27,50%
Plans d'eau	0,26	0,00%	0,44	0,08%	3,96	0,30%	-	0,00%	0,13	0,10%
Espaces ouverts	198,3	17,30%	67,6	12,49%	202,33	16,60%	59,2	8,20%	6,15	2,60%
Forêts	384,9	33,50%	253,5	46,82%	249,8	20,50%	133,2	18,50%	24,4	10,10%
Prairies	425,6	37,10%	94	17,36%	208,12	17,10%	109,8	15,30%	58,43	24,20%
Terres arables	11,4	1,00%	1,03	0,19%	176,58	14,50%	66,6	9,30%	40,65	16,90%
Cultures perm.	0,16	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	13,3	1,80%	2,31	1,00%
Peupleraies	-	0,00%	0,65	0,12%	5,5	0,50%	2,53	0,40%	1,6	0,70%
Espaces verts artif.	15,1	1,30%	26,5	4,89%	30,14	2,50%	70,5	9,80%	33,92	14,10%
Zones urbanisées	15,6	1,40%	7,7	1,42%	44,2	3,60%	45,1	6,30%	7,09	2,90%
Non renseigné	-	0,00%	-	0,00%	0,7	0,10%	-	0,00%	-	0,00%
<i>Total (ha)</i>	<i>1 147,90</i>		<i>541,42</i>		<i>1 218,03</i>		<i>719,73</i>		<i>241,08</i>	

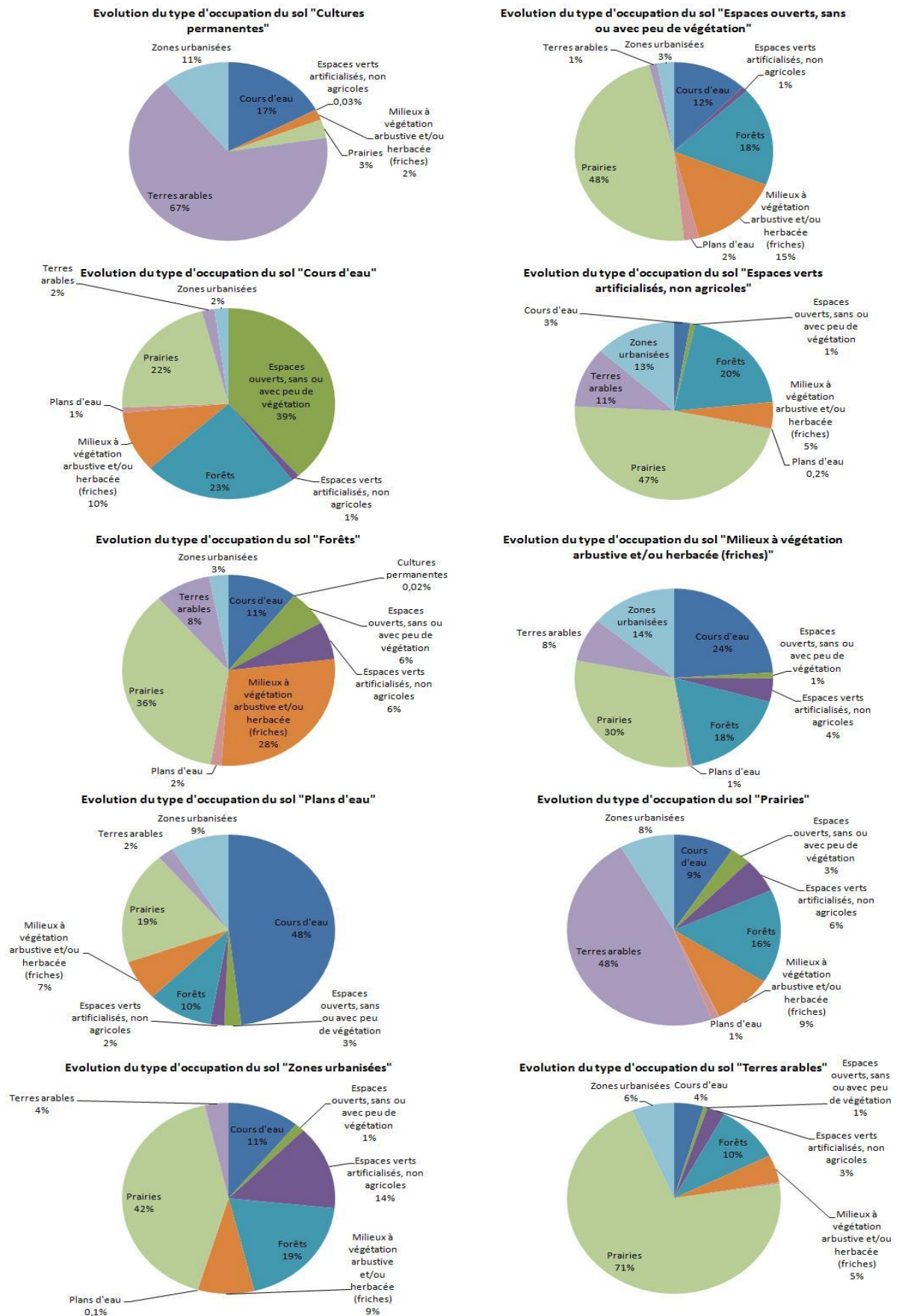


Figure 6 : Devenir espaces modifiés de 1969 sur le segment 23

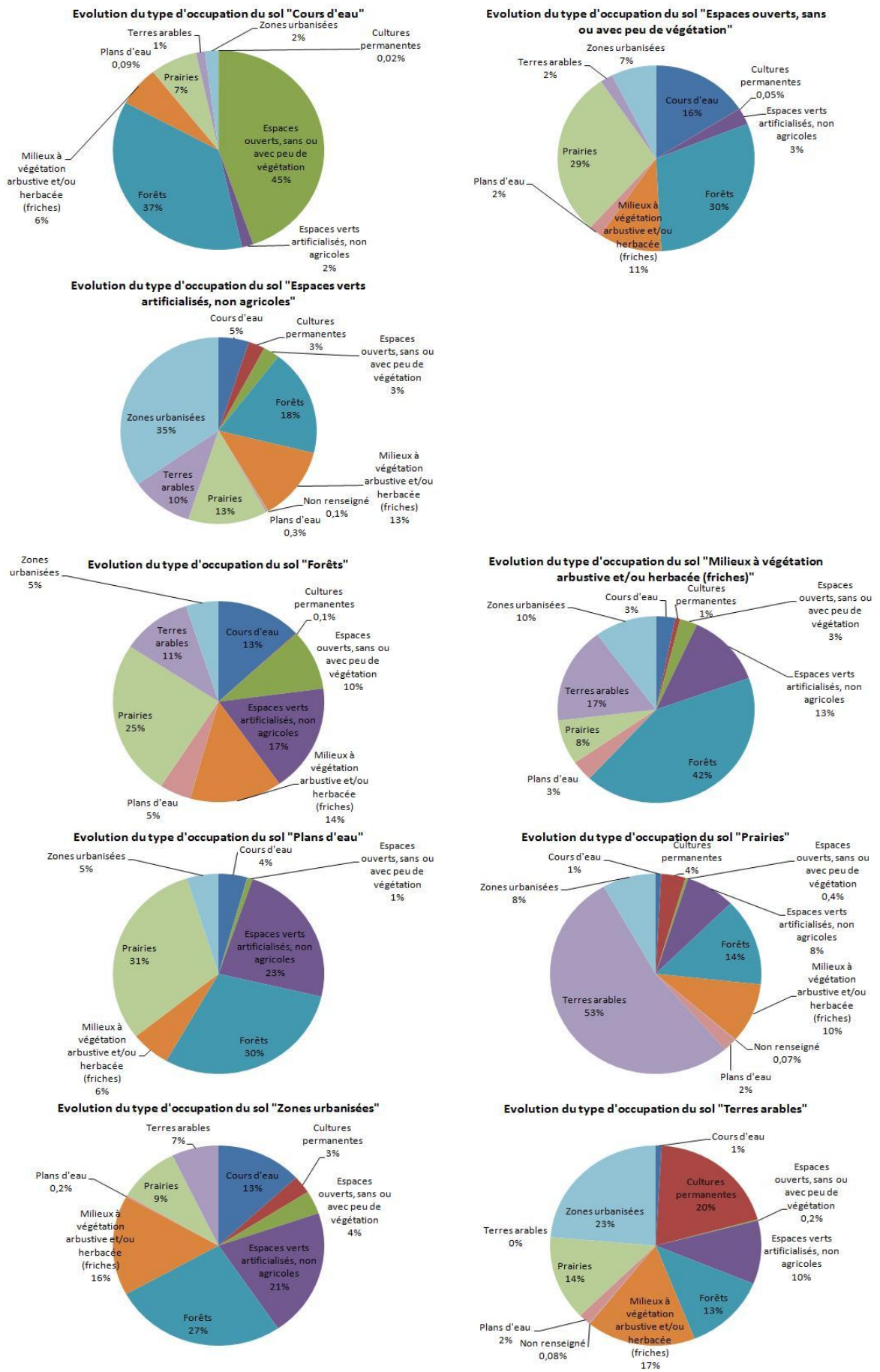


Figure 7 : Devenir espaces modifiés de 1969 sur le segment 34

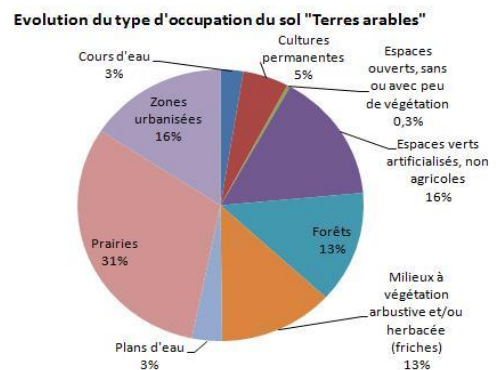
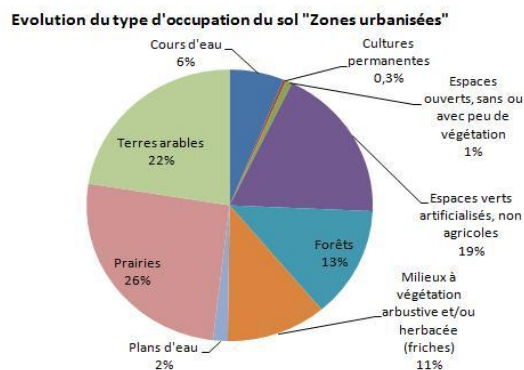
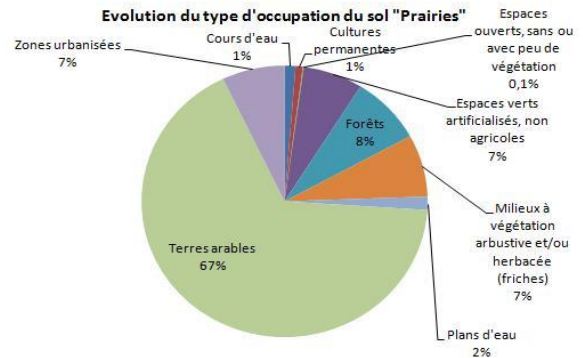
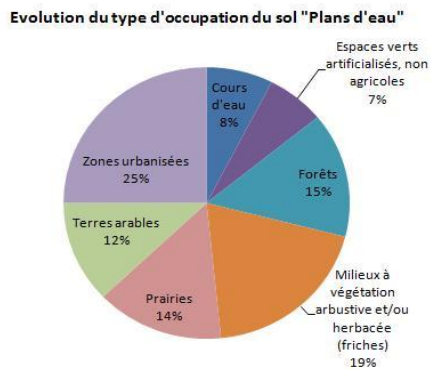
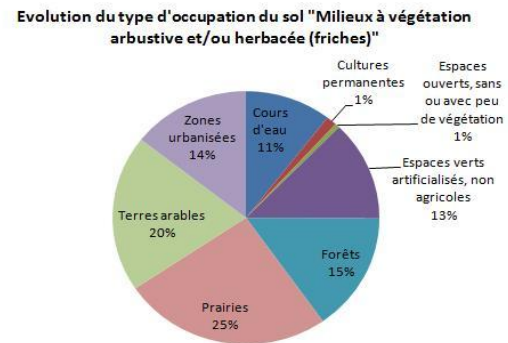
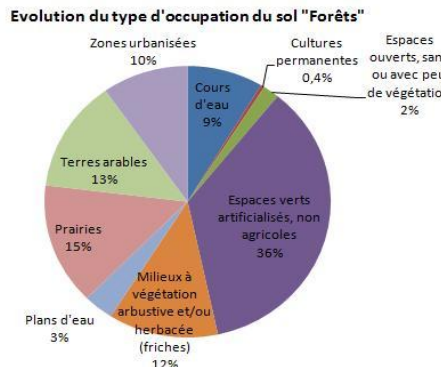
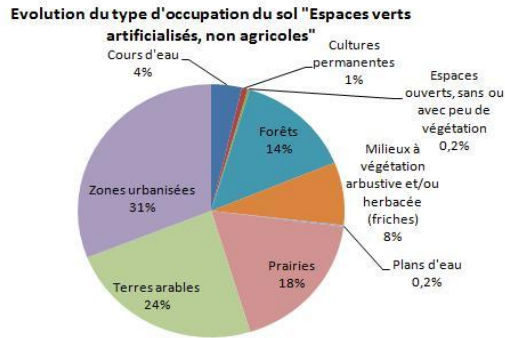
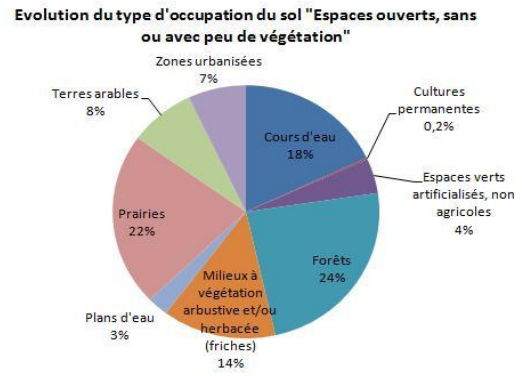
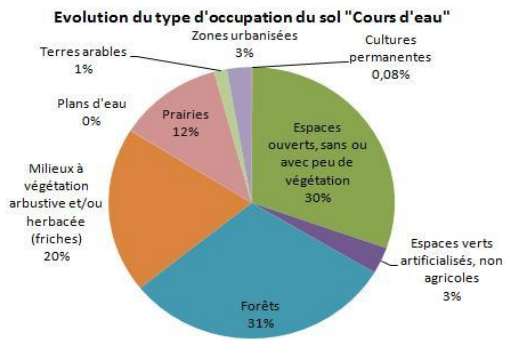
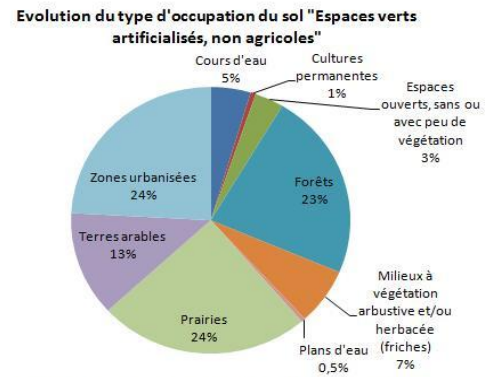
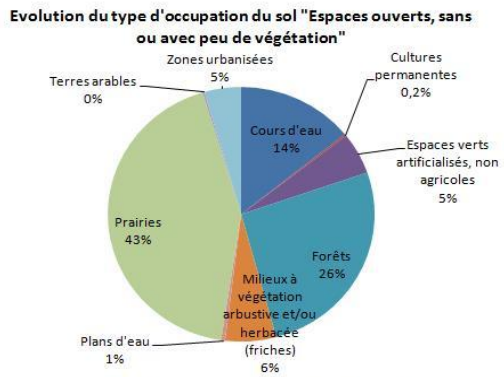
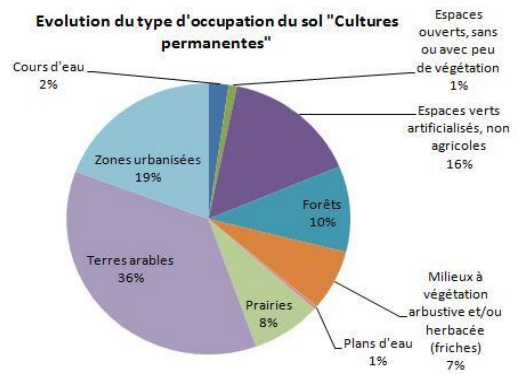
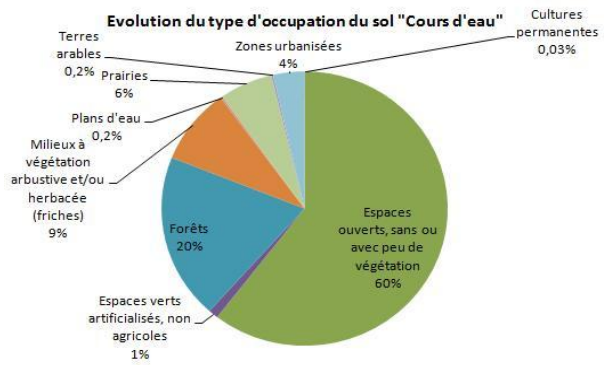
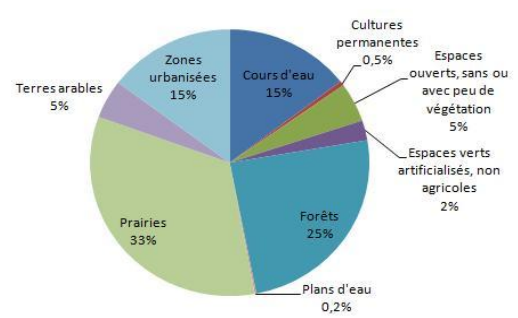
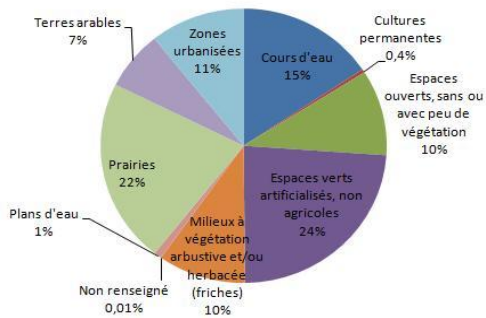


Figure 8 : Devenir espaces modifiés de 1969 sur le segment 35



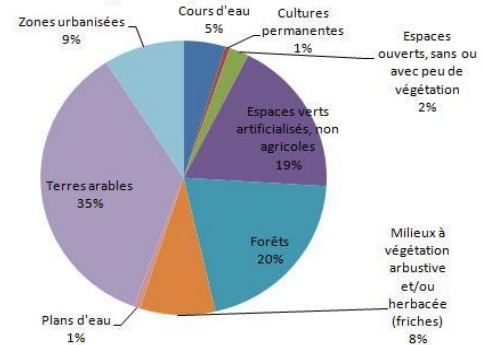
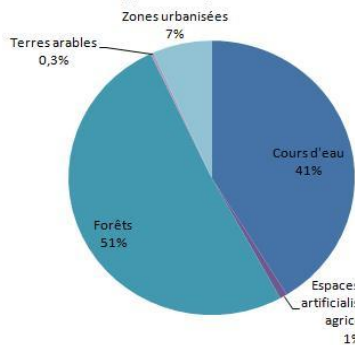
Evolution du type d'occupation du sol "Forêts"

Evolution du type d'occupation du sol "Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)"



Evolution du type d'occupation du sol "Plans d'eau"

Evolution du type d'occupation du sol "Prairies"



Evolution du type d'occupation du sol "Zones urbanisées"

Evolution du type d'occupation du sol "Terres arables"

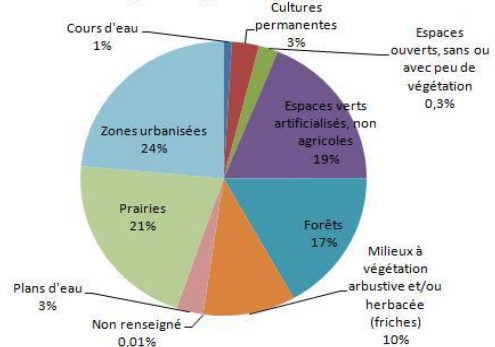
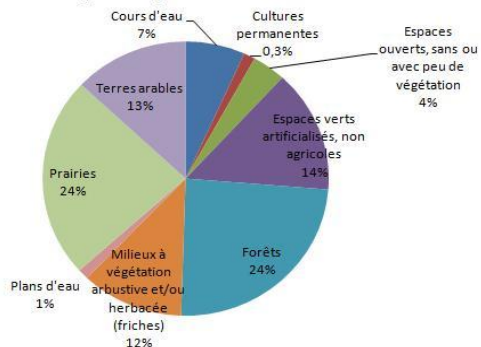


Figure 9 : Devenir des espaces modifiés de 1969 sur le secteur 36

Loire aval (segment 47)

Les principales diminutions en surface sur ce segment concernaient l'habitat « cours d'eau » (de 26% à 16% de la surface totale) et l'habitat « espaces verts artificialisés non agricoles » (de 16% à 7%). La perte de surface en cours d'eau s'est fait très majoritairement en faveur de l'espace ouvert sans ou avec peu de végétation (à 65%) et de la forêt (à 12%) (Fig. 10). Comme indiqué dans le paragraphe « occupation du sol en 2000 », il nous n'est pas possible de savoir avec précision dans quelle mesure cette perte de surface en eau courante est due à des niveaux d'eau ponctuellement plus bas au moment de la prise de vue et de qu'elle mesure s'il s'agit d'une tendance de fond. Pour ce qui est de la diminution des espaces verts non agricoles, ils sont devenus en 2000 prairies (42 %), forêts (17%), zones urbanisées (12%) ou terres arables (11%).

Les milieux à végétation arbustive et herbacée, c'est-à-dire les milieux qui ont connu la plus forte progression entre 1969 et 2000, sont en 2000 majoritairement issus de cours d'eau (à 27,5%), de prairies (24 %) et de terres arables (à 17 %) (Tableau 6). Ceci correspond donc partiellement à un avancement de la succession écologique vers un boisement (surfaces issues du cours d'eau) qu'à un enrichissement d'anciennes terres agricoles (surfaces issues de prairies et de terres arables).

Conclusion

Pour l'ensemble de la zone d'étude, i.e. le lit endigué de la Loire amont de Villarest à la Loire aval à St. Florent-le-Vieil, les milieux naturels, représentés pour l'essentiel par les cours d'eau, les plans d'eau (essentiellement boires dans ce contexte), les espaces ouverts sans ou avec peu de végétation, les forêts, et partiellement par les milieux arbustifs ou herbacées (friches), occupent près de la moitié de la surface, aussi bien en 1969 qu'en 2000, avec cependant des particularités selon les secteurs : ils sont davantage représentés sur la Loire moyenne que sur les secteurs amont et aval. Les espaces exploités économiquement par l'agriculture (prairies, terres arables) ou d'autres productions (cultures permanentes, jardins etc...) occupent aussi bien en 1969 qu'en 2000 environ 45 % des surface de l'ensemble du secteur étudié, avec une plus forte abondance sur les secteurs amonts et avals et certaines particularités par segment.

L'étude a montré qu'uniquement une faible part des parcelles n'a pas changé d'occupation de sol pendant la période considérée. Les taux de renouvellement étaient particulièrement forts pour les milieux naturels hors cours d'eau, même si la somme des surfaces appartenant aux différents types d'habitat changeait peu. Il y avait cependant une tendance générale vers un accroissement des surfaces occupées par des stades avancées de la succession (milieux arbustifs, forêt). Pour ce qui est des surfaces agricoles, la tendance globale va vers une diminution des surfaces à exploitation extensive (prairies) vers davantage de terres arables, mais aussi, à la marge, un enrichissement d'anciennes prairies.

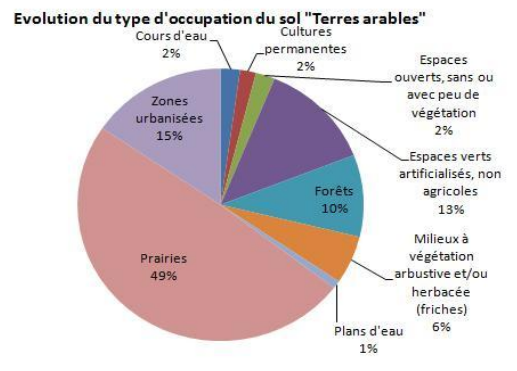
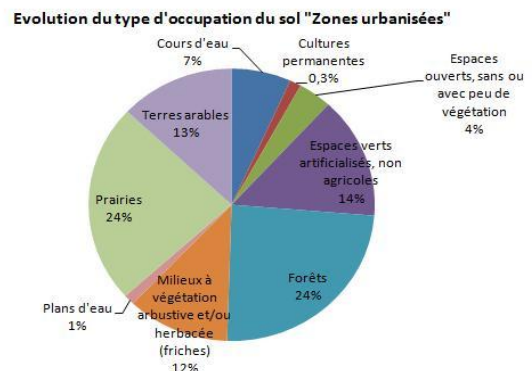
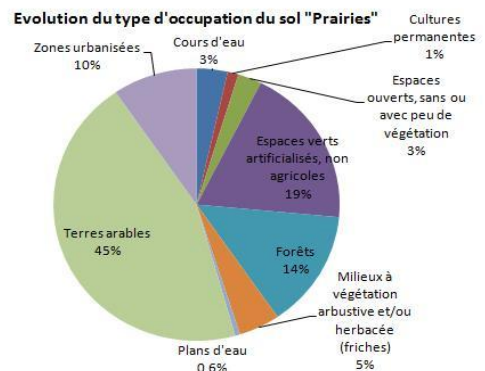
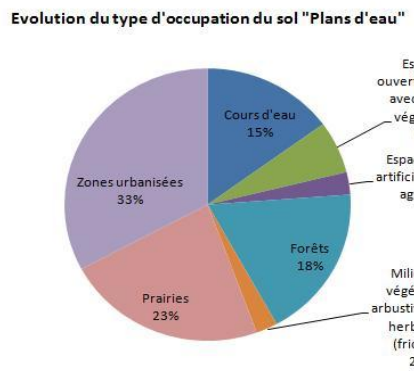
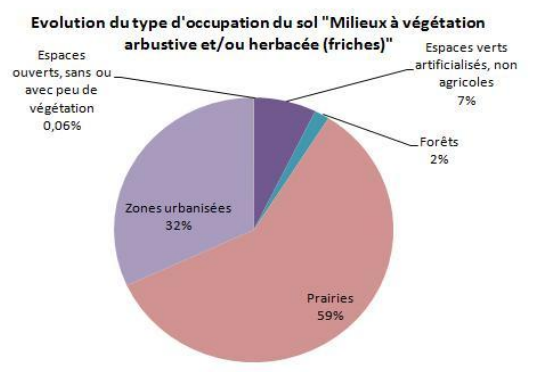
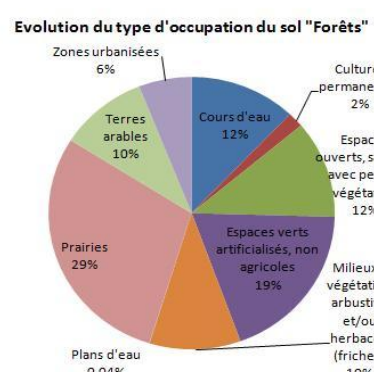
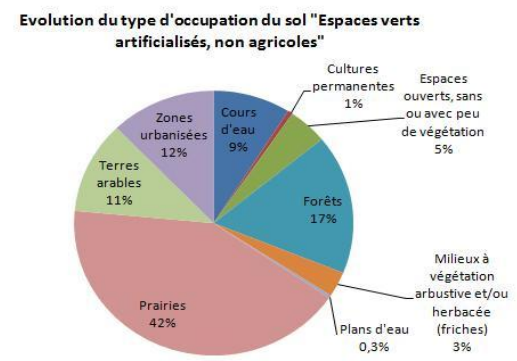
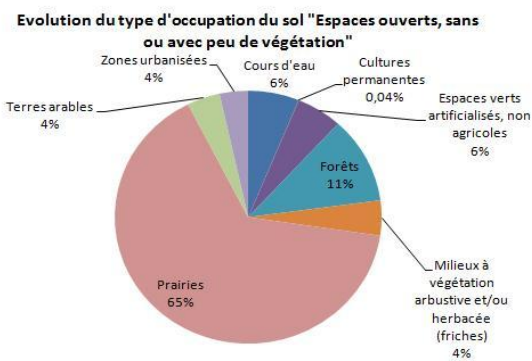
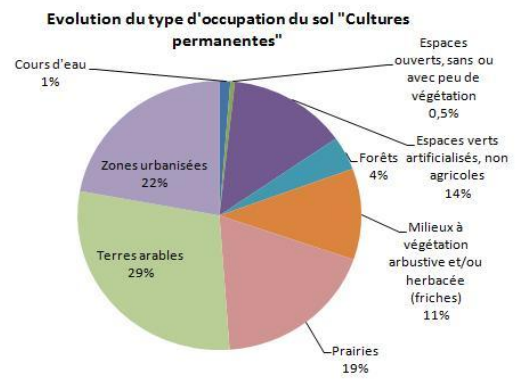
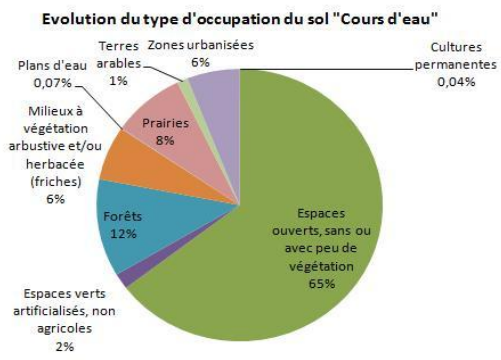


Figure 10 : Devenir des espaces modifiés de 1969 sur le secteur 47

II Végétation

Sources des données et méthodes d'analyse

Ce volet visait à récolter les données disponibles concernant les espèces végétales des différents habitats naturels et semi-naturels (prairies) du lit endigué de la Loire par rapport à leur sensibilité vis-à-vis de deux paramètres susceptibles d'être modifiés par les changements climatiques : leurs **exigences/tolérances thermiques** et leurs **exigences/tolérances** en termes de **durée ou fréquence d'inondation**. Trois sources potentielles de données avaient été identifiées avant le départ du projet : (i) les laboratoires universitaires ou autres, membres de la « Zone Atelier bassin versant de la Loire », (ii) les données disponibles dans la littérature (notamment pour les données anciennes), (iii) les données récoltées par des associations et d'institutions menant des opérations de suivis et de gestion sur le territoire concerné et désireuses de collaborer.

La liste des habitats ligériennes a été dressée sur la base des travaux de Thierry Cornier (2002). La typologie de CORNIER distingue 47 habitats du lit endigué de la Loire en fonction de quelques critères abiotiques (p.ex. grèves sableuses...) et de leur végétation. Pour une meilleure cohérence entre les volets « espèces et habitats » et « système d'informations géographiques » qui se base partiellement sur des photos aériennes (cf. chapitre « Habitats »), la typologie de Cornier a été simplifiée en regroupant différents habitats proches, peu distinguables à partir de photographies aériennes. Il en résulte 7 grands types d'habitats (Tab. 7).

Le nombre d'espèces végétales sur la Loire étant estimé à environ 1340 espèces (Cornier 2002), les recherches d'informations bibliographiques se sont concentrées sur un sous-ensemble d'espèces. Ainsi, pour chacun des 7 habitats ont été pris en compte (i) les **espèces dominantes ou caractéristiques**, (ii) les **espèces patrimoniales**, (iii) les **espèces exotiques**. Ces groupes paraissent en effet particulièrement intéressantes dans un contexte patrimonial potentiellement menacé par des modifications climatiques soit à cause de leur fort impact sur les milieux dans des conditions actuelles (cas des espèces dominantes), soit à cause de leur relative rareté et donc comme élément constitutif de la biodiversité à une échelle qui dépasse le seul bassin versant de la Loire (cas des espèces patrimoniales), ou encore à cause de leurs préférences potentielles pour les conditions climatiques futures et donc leurs impacts potentiellement grandissants sur les milieux et espèces (cas des espèces exotiques). Ont été considérées comme dominantes les espèces présentes dans au moins 75% des relevés de végétation trouvés dans la littérature relevant de l'habitat considéré et y ayant au moins dans un relevé un taux de recouvrement selon Braun-Blanquet de 4 à 5 (i.e. > 50%). L'essentiel des relevés pris en compte est issu de Cornier (2002). Pour les habitats pionniers très ouverts comme les grèves sableuses, aucune des espèces n'a rempli le critère de dominance. Dans ce cas ont été retenues les espèces rencontrées fréquemment et ayant été citées comme « caractéristiques » par Cornier ou considérées comme telles par notre propre expérience. Comme « espèces patrimoniales » ont été considérées celles qui relèvent d'un statut de protection (national, régional ou départemental) dans au moins une des régions du bassin versant de la Loire (Rhône-Alpes, Auvergne, Bourgogne, Centre, Pays de la Loire). Les informations concernant le statut de protection des espèces ont été obtenues par la base de données du conservatoire botanique national du bassin parisien (<http://cbnb.mnhn.fr/cbnb/>) et de Boudin et al. (2007). Pour les cas où ces informations

Tableau 7 : Regroupement des 47 habitats de la typologie Cornier (2002) en sept grands types d'habitats

HABITATS REGROUPES	HABITATS DE CORNIER
végétation aquatique	algues filamenteuses et coloniales microphytiques
	algues benthiques macrophytiques
	communautés à hydrophytes flottants dominées par les lentilles d'eau
	communautés dominées par les potamots eutrophes
	communautés dominées par les potamots mésotrophes
	communautés dominées par les myriophylles et les nénuphars
	communautés dominées par les renoncules aquatiques des eaux stagnantes
	communautés dominées par les renoncules aquatiques des eaux courantes
hélrophytes et mégaphorbiaies	communautés d'amphiphytes
	phragmitaies
	autres roselières
	mégaphorbiaies
	phalaridaies
	ourlets riverains
	magnocariçaies
végétation herbacée du lit mineur	communautés pionnières des sables humides du Chenopodium rubri
	communautés pionnières des vases exondées du Nanocyperion flavescens
	communautés des basses vaseuses du lit mineur du Bidention tripartitae
	communautés à Hieracium peleterianum subsp. ligericum et Corynephorus canescens
	communautés pionnières alluviales des sables du lit mineur
prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur	communautés hygrophiles des dépressions pacagées
	prairies à Elytrigia repens et Rumex crispus
	communautés printannières à Myosorus minimus
	cariçaies
	prairies hygrophiles
	prairies mésohygrophiles de fauche
	prairies mésophiles à Arrhenatherum eliatum dominant
	prairies mésophiles à Elytrigia campestris x repens dominant
	prairies pâturées mésophiles
	pelouses à Sedum sp. plur. dominants
	pelouses à Corynephorus canescens
	pelouses à Festuca longifolia
	pelouses, landines à Artemisia campestris
	landes à Cytisus scoparius
landes à Cytisus oromediterraneus	
fruticées et fourrés	fruticées
	fourrés précurseurs de la forêt de bois durs
forêts de bois tendres	saulaies buissonnantes
	saulaies-peupleraies
	peupleraie sèche à Populus nigra
forêts de bois durs	forêts intermédiaires
	frênaies-ormaies
	chênaies alluviales à Quercus robur
	chênaies-charmaies
	chênaies sèche à Quercus robur
	frênaies fraîches
	aulnaies-frênaies

divergeaient, le cas le plus restrictif (i.e. la protection d'une espèce) a été retenu. La liste des espèces exotiques par habitats suit celle de Boudin et al. (2007). Y ont été ajoutés l'ensemble des espèces classées comme envahissantes (liste prioritaire) ou potentiellement envahissantes (liste secondaire) sur le bassin Loire-Bretagne (Groupe de travail Loire-Bretagne plantes envahissantes, 2009). La base de données constituée lors du projet contient également un certain nombre d'espèces citées comme « caractéristiques » pour les habitats élémentaires par Cornier (2002). Elles ne seront pas prises en compte dans l'analyse des données du présent rapport, mais soulignent la vocation de la base de données à être complétée ultérieurement pour d'autres espèces et d'autres sources de données.

Les données concernant les exigences en température et concernant les régimes d'inondation proviennent principalement, outre quelques données disponibles auprès des partenaires du projet, pour ce qui est des données température, de la base de données BIOPOP, consacrée aux traits des espèces végétales (Poschlod et al. 2003 ; <http://www.floraweb.de/proxy/biopop/en/index.php>), ainsi que, dans une moindre mesure, de la base de données SOPHY (Université Aix-Marseille, Université de Nice Sophia Antipolis, CNRS ; sophy.u-3mrs.fr/sophy.htm). Les données concernant l'inondation sont principalement issues de Cornier (2002), ainsi que Glenz (2005) pour les espèces ligneuses. Afin de récolter des données complémentaires non publiées, un questionnaire concernant un ensemble de 37 espèces (espèces potentiellement les plus sensibles aux changements des températures et du régime d'inondation, espèces emblématiques i.e. dominantes et/ou typiques d'un des habitats ligériens, espèces protégées) a été envoyé par l'intermédiaire de la FCEN à plus de 300 gestionnaires d'espaces naturels du bassin de la Loire.

L'ensemble des informations récoltées a été rassemblé dans une base de données sous Access©.

Synthèse des données existantes

Liste et répartition des espèces cibles par habitat

Une liste comportant un total de 151 espèces a pu être établie (Tableau 8). Les différentes catégories d'espèces se répartissent de manière non-aléatoire à travers les différents habitats (test de χ^2 , $p=0,007$) (Tab. 9). Les espèces protégées sont ainsi surreprésentées dans les prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur, tandis que les espèces dominantes et exotiques y sont sous-représentées. Une analyse plus fine révèle qu'au sein des prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur ce sont principalement les pelouses sableuses qui abritent un nombre et une proportion particulièrement élevés d'espèces protégées, et secondairement les prairies mésohygrophiles. Quant aux « fruticées et fourrés » et aux « forêts de bois tendre & saulaies arbustives », ils se caractérisent par une sous-représentation d'espèces protégées.

Tableau 8 : Espèces cibles végétales présentes dans les différents habitats (selon Cornier 2002, simplifié) et leur critère de sélection. D : espèce dominante ; E : espèce exotique ; P : espèce protégée ; F : espèce fréquente (pour les espèces herbacées du lit mineur). * : Espèce localement fréquente, statut de protection pour empêcher l'exploitation commerciale

Communautés aquatiques

D

Ceratophyllum demersum
Lemna minor
Myriophyllum spicatum
Ranunculus fluitans

E

Azolla filiculoides
Crassula helmsii (Kirk) Cockayne
Egeria densa Planch.
Hydrocotyle ranunculoides L. f.
Lagarosiphon major (Ridl.) Moss
Lemna minuta Kunth
Lemna turionifera Landolt.
Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verdc.

D, E

Elodea canadensis
Elodea nuttallii

P

Alisma gramineum
Ceratophyllum submersum
Hottonia palustris
Hydrocharis morsus-ranae
Marsilea quadrifolia
Najas marina
Najas minor
Nymphoides peltata

Communautés aquatiques, Végétation herbacée lit mineur

D, E

Ludwigia grandiflora
Ludwigia peploides

P

Ludwigia palustris

Hélophytes et mégaphorbiaies

D

Calystegia sepium
Carex acutiformis
Carex riparia
Lysimachia vulgaris
Lythrum salicaria
Phalaris arundinacea

E

Aster lanceolatus Willd.
Aster squamatus (Spreng.) Hieron.
Aster x salignus Willd.
Aster x versicolor Willd.
Heracleum mantegazzianum Sommier & Levier

D, P

Butomus umbellatus

P

Baldellia ranunculoides
Cicuta virosa
Sagittaria sagittifolia
Sanguisorba officinalis
Thysselium palustre

Hélophytes et mégaphorbiaies, Végétation herbacée lit mineur, Prairies, pelouses et landes (P. mésohygrophiles)

D

Agrostis stolonifera

Hélophytes et mégaphorbiaies, Forêts de bois tendre, Fruticées et fourrés

D

Rubus caesius

Hélophytes et mégaphorbiaies, Forêts de bois tendre, Forêts de bois dur

D

Urtica dioica

E

Impatiens balfouri Hook.f.
Impatiens capensis Meerb.
Impatiens glandulifera Royle
Polygonum polystachyum Meisn.
Reynoutria japonica Hoult.
Reynoutria sachalinensis (F.Schmidt) Nakai
Reynoutria x bohémica Chrték & Chrtkova

Hélophytes et mégaphorbiaies, Forêts de bois dur

P

Thalictrum flavum

Végétation herbacée lit mineur

D

Plantago scabra

E

Ambrosia artemisiifolia L.
Bidens frondosa
Cotula coronopifolia L.
Cuscuta australis R. Br
Spartina alterniflora Loisel.
Xanthium albinum
Xanthium saccharatum

D, E

Eragrostis pectinacea (Michx.) Nees

F

Corrigiola littoralis
Cyperus fuscus
Rorippa sylvestris
Veronica anagallis-aquatica

F, E

Cyperus esculentus
Lindernia dubia (L.) Pennell
Panicum capillare
Paspalum distichum

P

Cardamine parviflora
Crypsis alopecuroides
Eleocharis ovata
Hieracium peletarianium subsp. ligericum
Inula britannica
Limosella aquatica
Potentilla supina

Pulicaria vulgaris
Schoenoplectus supinus
P, F
Cyperus michelianus

**Végétation herbacée lit mineur; Prairies, pelouses et landes
(P. sableuses xérophiles)**

D, P
Corynephorus canescens

Prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur

E
Conyza bonariensis (L.) Cronquist
Conyza canadensis (L.) Cronquist
Conyza floribunda Kunth
Conyza sumatrensis (Retz.) E.Walker
Cortaderia seloana (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn.
Senecio inaequidens DC.
Solidago canadensis L.
Solidago gigantea Aiton

Prairies, pelouses et landes (P. mésohygrophiles)

P
Fritillaria meleagris
Gratiola officinalis
Holandrea carvifolia
Oenanthe peucedanifolia
Oenanthe silaifolia
Ranunculus ophioglossifolius
Stellaria palustris
Teucrium scordium

Prairies, pelouses et landes (P. mésophiles à xérophiles)

D
Arrhenatherum elatius

P
Equisetum x moorei
Gagea pratensis
Gagea villosa
Muscari botryoides
Neotinea ustulata
Scrutellaria hastifolia

Prairies, pelouses et landes (P. mésophiles à xérophiles)

D
Elytrigia campestris x repens
Elytrigia repens
Elytrigia campestris
Lolium perenne

E
Paspalum dilatatum

Prairies, pelouses et landes (pelouses sableuses)

E
Carpobrotus edulis (L.) N.E.Br.

P
Anarrhinum bellidifolium
Artemisia campestris
Biscutella laevigata
Bupleurum tenuissimum
Carex ligetica
Lupinus angustifolius
Miliun vernale

Oreoselinum nigrum
Ornithopus compressus
Ornithopus pinnatus
Orobanche laevis
Ranunculus paludosus
Scilla autumnalis
Sesamoides purpurascens
Silene conica
Trifolium subterraneum
Tuberaria guttata

**Prairies, pelouses et landes (P. mésophiles à xérophiles),
Forêts de bois dur**

E
Ailanthus altissima

Prairies, pelouses et landes, Fruticées et fourrées

E
Phytolacca americana L.

Fruticées et fourrés

D
Crataegus monogyna
Prunus spinosa

E
Baccharis halimiifolia L.
Buddleja davidii Franch.

Fruticées et fourrés, Forêts de bois dur

E
Prunus laurocerasus L.
Rhododendron ponticum L.

D, E
Robinia pseudoacacia

P
Ulmus laevis

Forêts de bois tendre + saulaies arbustives

D
Populus nigra
Salix purpurea
Salix viminalis

E
Acer negundo
Aster lanceolatus Willd.
Aster novae-angliae L.
Aster novi-belgii L.

Forêts de bois tendre, Forêts de bois dur

P
Angelica heterocarpa

Forêts de bois dur

D
Fraxinus angustifolia
Glechoma hederacea
Hedera helix
Quercus robur

E
Parthenocissus inserta (A.Kern.) Fritsch

P
Corydalis solida
Galanthus nivalis *

Tab. 9 : Répartition des différentes catégories d'espèces cibles à travers les différents habitats. En gras : effectifs significativement sur- ou sous-représentés. Nombre total d'espèces : 151. Une espèce peut appartenir à plusieurs catégories.

	Nb espèces dominantes	Nb d'espèces protégées	Nb d'espèces exotiques
Communautés aquatiques	8	10	11
Hélophytes et mégaphorbaies	9	7	11
Végétation herbacée lit mineur	4	10	13
Prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur	6	34	12
Fruticées et fourrés	3	1	6
Forêts de bois tendre + saulaies arbustives	3	1	4
Forêts de bois dur	5	4	4

Exigences des espèces cibles en termes de température et de régime d'inondation

Afin de prévoir la dynamique des différentes espèces suite aux augmentations de température et modifications des régimes d'inondation, l'idéal serait de disposer des amplitudes écologiques des espèces par rapport à ces facteurs ainsi que de leurs optima physiologiques et écologiques. Cependant, les informations disponibles concernant les exigences des espèces cibles par rapport aux paramètres « température » et « inondation » sont peu nombreuses et, si elles existent, présentent des formats disparates, difficilement exploitables statistiquement. Le retour des questionnaires envoyés aux gestionnaires a été extrêmement faible. Uniquement 20 questionnaires nous ont été renvoyés, sans indication de données chiffrées pour les paramètres visés.

Des jeux de données relativement larges ont pu être trouvés pour les températures minimales de germination, relativement faciles à mesurer de manière expérimentale. Elles sont pour l'essentiel issues de la base de données BIOPOP (Poschlod et al. 2003). D'autres données de nature homogène sont celles des classes d'inondation indiquées par T. Cornier pour l'ensemble des espèces relevées dans sa thèse. Elles se présentent sous forme d'estimations des durées d'inondation pour les sites visités avec les classes d'inondation suivantes : « < 5 jours/an », « 5 à 30 jours/an », « 30 à 90 jours/an », « 90 à 270 jours/an » et « > 270 jours/an » et indication du nombre total d'observations et fréquences (en pourcent) de l'espèce dans l'ensemble des relevés appartenant à chacune des classes. L'analyse et la discussion des données ci-dessous concernent ces deux sources de données. Autres informations plus ponctuelles ont été ajoutées à la base de données sans exploitation et description statistique à ce stade.

Les informations concernant à la fois les exigences en température de germination et les exigences en termes d'inondation existent pour un ensemble de 27 espèces, donc pour 17,9 % des espèces cibles. Des informations « température » seules sont disponibles pour 35 espèces, des informations « durée d'inondation » seules pour 39 espèces, donc 25,8 % des espèces cibles. Pour 22 espèces (Tab. 10), les informations concernant les exigences en termes de température de germination sont sous forme température minimum – température maximum, permettant le calcul d'une amplitude écologique. Pour 20 de ces espèces existent également des informations concernant leur amplitude en termes d'inondation (sauf *Phytolacca americana* et *Stellaria palustris*). La majorité des informations

disponibles en termes d'amplitude de température concerne les espèces dominantes ou fréquentes, suivi des espèces exotiques (Tab 10). En termes d'habitats, les informations se concentrent sur les espèces herbacées hors communautés aquatiques, avec néanmoins particulièrement peu d'informations disponibles pour les espèces protégées des prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur, malgré le fait que cet habitat concentre le plus grand nombre d'espèces protégées.

Tab. 10 : Données disponibles concernant les amplitudes des températures de germination pour les différentes catégories d'espèces cibles par habitat. Une espèce peut appartenir à plusieurs catégories ou habitats. Nombre total d'espèces : 22.

Habitat	Amplitude Température			totaux
	D/F	P	E	
Communautés aquatiques	1	0	1	2
Hélophytes et mégaphorbaies	6	1	0	7
Végétation herbacée lit mineur	3	1	3	7
Prairies, pelouses et landes à l'écart du lit mineur	4	2	4	10
<i>général</i>	0	0	2	2
<i>P. mésohygrophiles</i>	0	1	0	1
<i>P. mésophiles à xérophiles</i>	3	0	2	5
<i>Pelouses sableuses</i>	1	1	0	2
Fruticées et fourrés	0	0	1	1
Forêts de bois tendre + saulaies arbustives	0	0	1	1
Forêts de bois dur	1	0	0	1
Totaux	15	4	10	29

Pour la majorité des espèces pour lesquelles une amplitude thermique de germination est disponible, celle-ci se situe dans une gamme de températures relativement large (entre 9 et 33°C) et monte jusqu'à des valeurs élevées (valeurs maximales entre 22°C et 40°C) (Tab. 11). L'augmentation des températures de quelques degrés semble donc peu susceptible d'empêcher la germination de ces espèces. Cependant, les seules amplitudes ne permettent pas de prédire d'éventuels changements dans l'importance des germinations (augmentation ou diminution) avec l'augmentation des températures, comme cela pourrait être déduit à partir des préférences et optima thermiques (disponible uniquement pour deux espèces). Parmi les espèces à amplitude thermique connue, *Corynephorus canescens*, espèce patrimoniale des pelouses sableuses, pourrait être celle potentiellement la plus vulnérable, à cause de sa température de germination moins élevée que celle des autres espèces (22°C) et une amplitude thermique parmi les plus étroites (10°C).

Un cas particulier concerne l'espèce emblématique le Peuplier noir. Un travail de thèse est en cours, financé par la Région Centre dans le cadre du PLGN, plateforme RDI : Variabilité de facteurs écophysologiques contrôlant la régénération de populations naturelles de peuplier noir (*Populus nigra* L.) en Loire moyenne dans le cadre des modifications climatiques actuelles (S. Chamaillard). Ces travaux montrent une remarquable adaptation de l'espèce aux températures élevées dans la phase de croissance estivale des jeunes plantules

(quelques semaines après germination). Des travaux d'écophysio­logie en conditions expérimentales ont montré que la transpiration foliaire de ces semis était maximale dans ces conditions particulières (température maximale de +56°C sur le sable de Loire), permettant ainsi le cooling de ces jeunes feuilles pour une photosynthèse optimale (article scientifique en préparation).

Quant aux amplitudes de durées d'inondation, un peu plus de 2/3 des espèces renseignées (47 sur 66) ont été observées dans au moins cinq relevés, ce qui permet de tirer des conclusions prudentes concernant leur répartition sur le gradient d'inondation (Tab. 12). La plupart de ces espèces ont une répartition plutôt large (présence dans trois classes ou plus). Les espèces sténoèces (présence dans seulement une ou deux classes) sont *Corynophorus canescens* (espèce patrimoniale, habitats secs), le Perce-neige *Galanthus nivalis* (espèce patrimoniale, habitats secs), *Cyperus fuscus* (espèce patrimoniale, habitats plutôt humides) et *Lemna minor* (espèce dominante, habitats humides). Il est raisonnable de penser que l'ensemble des hydrophytes strictes (présentes dans les « communautés aquatiques ») ainsi que bon nombre des héliophytes appartiennent à cette dernière catégorie, même s'ils n'ont pas été observés de manière suffisamment fréquente pour y être classés formellement. Ce sont ces espèces, parmi celles à amplitude d'inondation connue, qui sont potentiellement les plus vulnérables à une modification du régime d'inondation. Cependant, contrairement à la température, les conditions d'inondation (durée et fréquence) varient localement à petite échelle en fonction de l'altitude topographique. Si la morphologie du site le permet, et en fonction de la connexion entre habitats potentiels, un déplacement des espèces sténoèces par rapport au facteur « durée » et/ou « fréquence d'inondation » peut être possible (via le transport de graines ou de fragments végétatifs), leur permettant ainsi d'échapper aux conditions devenues défavorables sur leur site d'implantation.

Tableau 11 : Amplitudes thermiques (phase de germination) disponibles pour les espèces cibles ligériennes

Espèce	Catégorie	Température minimale de germination (en °C)	Température maximale de germination (en °C)	Température optimum (en °C)	Amplitude (en °C)
<i>Elytrigia repens</i>	D	2	35	15	33
<i>Rubus caesius</i>	D	5	25		20
<i>Stellaria palustris</i>	P	5	29		24
<i>Arrhenatherum elatius</i>	D	5	30		25
<i>Hedera helix</i>	D	6	29		23
<i>Phalaris arundinacea</i>	D	7	35		28
<i>Calystegia sepium</i>	D	8	25		17
<i>Solidago gigantea</i> Aiton	E	8	37		29
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	P	10	40	15-35	30
<i>Echinochloa crus-galli</i>	C, E*	9,5 / 11,7	40,6		30
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	E	5, 13 (x3), 20	30, 35 (x2)		15-30
<i>Agrostis stolonifera</i>	D	11	36	18	25
<i>Corynophorus canescens</i>	D, P	12	22		10
<i>Cotula coronopifolia</i> L.	E	15	30		15
<i>Panicum capillare</i>	F, E	15	30		15
<i>Aster novi-belgii</i> L.	E	17	37		20
<i>Ludwigia peploides</i>	D, E	18	30		12
<i>Urtica dioica</i>	D	18,5	27,5		9
<i>Lythrum salicaria</i>	D	19	37		18
<i>Lolium perenne</i>	D	20	30		10
<i>Ailanthus altissima</i>	E	20	30		10
<i>Phytolacca americana</i> L.	E	20	35		15

Tab. 12. Amplitude écologique des espèces cibles renseignées par rapport gradient d'inondation. La colonne « durée d'inondation » (exprimé en pourcent de la période de croissance fait référence à selon Glenz (2005), les autres colonnes à Cornier (2002). Classes d'inondations : pourcent de l'effectif observé présent dans la classe. Catégorie d'humidité : En fonction de la classe la moins inondée dans laquelle l'espèce est présente : S : habitat sec (inondé < 5jours/an) ; s : habitat plutôt sec (inondé 5 à 30 jours/an) ; h : habitat plutôt humide (inondé 30 à 90 jours/an) ; H : habitat humide (inondé 90 à 270 jours/an) ; HH habitat très humide (inondé > 270 jours/an). Les espèces sont classées en amplitude d'inondation et catégorie d'humidité croissante.

Espèce	Nombre d'observations	Durée d'inondation (%)	Amplitude d'inondation (en nb de classes)					Catégorie d'humidité	
			<5j/a	5-30j/a	30-90j/a	90-270j/a	> 270j/a		
<i>Corynephorus canescens</i>	5	-	100	0	0	0	0	1	S
<i>Lupinus angustifolius</i>	3	-	100	0	0	0	0	1	S
<i>Orobancha laevis</i>	1	-	100	0	0	0	0	1	S
<i>Ranunculus paludosus</i>	1	-	100	0	0	0	0	1	S
<i>Artemisia campestris</i>	4	-	75	25	0	0	0	2	S
<i>Carex ligERICA</i>	2	-	50	50	0	0	0	2	S
<i>Elytrigia campestris</i>	3	-	33	67	0	0	0	2	S
<i>Galanthus nivalis</i>	18	-	84	16	0	0	0	2	S
<i>Parthenocissus inserta</i> (A.Kern.) Fritsch	2	-	50	50	0	0	0	2	S
<i>Arrhenatherum elatius</i>	39	-	59	21	18	2	0	3	S
<i>Crataegus monogyna</i>	57	21-35	73	23	4	0	0	3	S
<i>Robinia pseudoacacia</i>	29	21-35	66	31	3	0	0	3	S
<i>Ulmus laevis</i>	15	-	80	13	7	0	0	3	S
<i>Xanthium saccharatum</i>	2	-	50	0	50	0	0	3	S
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	6	-	18	50	18	18	0	4	S
<i>Elytrigia campestris x repens</i>	24	-	59	25	8	8	0	4	S
<i>Fraxinus angustifolia</i>	38	-	69	21	8	2	0	4	S
<i>Hedera helix</i>	47	-	75	21	0	4	0	4	S
<i>Salix viminalis</i>	11	77-100	9	18	18	55	0	4	S
<i>Solidago gigantea</i> Aiton	9	-	22	22	34	22	0	4	S
<i>Thalictrum flavum</i>	5	-	20	0	60	20	0	4	S

<i>Acer negundo</i>	35	-	26	23	23	26	2	5	S
<i>Agrostis stolonifera</i>	47	-	6	12	28	37	17	5	S
<i>Aster lanceolatus Willd.</i>	19	-	10,5	21	31	31	5	5	S
<i>Bidens frondosa</i>	44	-	2	11	13	47	27	5	S
<i>Calystegia sepium</i>	37	-	17	21	23	30	9	5	S
<i>Carex acutiformis</i>	11	-	18	18	18	27	18	5	S
<i>Carex riparia</i>	11	-	9	9	9	45	28	5	S
<i>Corrigiola littoralis</i>	28	-	4,5	0	10,5	53	32	5	S
<i>Cyperus michelianus</i>	6	-	17	17	0	33	33	5	S
<i>Elytrigia repens</i>	29	-	27	30	27	8	8	5	S
<i>Eragrostis pectinacea</i> (Michx.) Nees	22	-	5	5	0	64	28	5	S
<i>Glechoma hederacea</i>	69	-	65,5	20,5	11	1,5	1,5	5	S
<i>Lindernia dubia (L.) Pennell</i>	8	-	12	0	0	50	38	5	S
<i>Lythrum salicaria</i>	33	-	3	15	18	39	25	5	S
<i>Panicum capillare</i>	40	-	5	2,5	10	50	32,5	5	S
<i>Phalaris arundinacea</i>	93	-	17	16	25	31	11	5	S
<i>Populus nigra</i>	78	61-76	29	21	18	22	8	5	S
<i>Prunus spinosa</i>	46	21-35	59	28	9	2	2	5	S
<i>Quercus robur</i>	54	36-60	66	24	6	2	2	5	S
<i>Rubus caesius</i>	98	-	46	28	12	12	2	5	S
<i>Salix purpurea</i>	27	61-76	26	15	19	36	4	5	S
<i>Urtica dioica</i>	95	-	40	21	20	16	3	5	S
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	14	-	8	8	0	50	34	5	S
<i>Lolium perenne</i>	2	-	0	100	0	0	0	1	s
<i>Potentilla supina</i>	1	-	0	100	0	0	0	1	s
<i>Scilla autumnalis</i>	1	-	0	100	0	0	0	1	s
<i>Oenanthe silaifolia</i>	3	-	0	33	67	0	0	2	s
<i>Cyperus esculentus</i>	29	-	-	10	6	59	23	4	s
<i>Echinochloa crus-galli</i>	19	-	0	6	0	58	36	4	s
<i>Lysimachia vulgaris</i>	35	-	0	11	23	49	17	4	s

<i>Paspalum distichum</i>	13	-	0	8	0	78	14	4	s
<i>Rorippa sylvestris</i>	37	-	0	9	13	43	35	4	s
<i>Xanthium albinum</i>	32	-	0	13	6	47	34	4	s
<i>Impatiens capensis</i> Meerb.	2	-	0	0	50	50	0	2	h
<i>Butomus umbellatus</i>	9	-	0	0	11	68	21	3	h
<i>Pulicaria vulgaris</i>	9	-	0	0	11	78	11	8	h
<i>Azolla filiculoides</i>	1	-	0	0	0	100	0	1	H
<i>Elodea canadensis</i>	1	-	0	0	0	100	0	1	H
<i>Lemna minuta</i> Kunth	1	-	0	0	0	100	0	1	H
<i>Ludwigia palustris</i>	1	-	0	0	0	100	0	1	H
<i>Myriophyllum spicatum</i>	1	-	0	0	0	100	0	1	H
<i>Ranunculus fluitans</i>	1	-	0	0	0	100	0	1	H
<i>Cyperus fuscus</i>	13	-	0	0	0	53	47	2	H
<i>Lemna minor</i>	5	-	0	0	0	60	40	2	H
<i>Ludwigia peploides</i>	3	-	0	0	0	67	33	2	H

Lacunes identifiées

La synthèse des données disponibles concernant les exigences par rapport aux facteurs température et inondation pour les espèces dominantes, patrimoniales ou exotiques des habitats du lit endigué de la Loire révèle d'importantes lacunes. Ces lacunes concernent :

- le **nombre d'espèces** pour lesquelles des données quantitatives sont disponibles. Ainsi, moins de 20% des espèces cibles identifiées sont renseignées à la fois pour les deux paramètres d'intérêt dans cette étude, la température et l'inondation. Les données disponibles concernent plus souvent les espèces fréquentes que les espèces patrimoniales.
- la **nature des données**. Pour pouvoir prévoir une modification éventuelle de l'abondance des différentes espèces, il est nécessaire de connaître, premièrement, leurs amplitudes écologiques par rapport au facteur en question (température, inondation) et, deuxièmement, la corrélation entre ce facteur et l'abondance de l'espèce. Or, ce type de données est particulièrement absent pour le facteur température. Là où les données sur l'amplitude thermique des espèces sont disponibles (i.e. 22 espèces sur 151 espèces cibles), elles concernent le plus souvent les températures de germination, donc une seule phase du cycle de vie. Or, la propagation et le maintien des espèces végétales d'une année sur l'autre dépendent aussi d'autres traits susceptibles d'être influencés par la température, notamment des traits qui concernent la phase de croissance et qui sont liés à l'aptitude compétitive de l'espèce (taux de croissance, hauteur de la canopée, etc.). De l'autre côté, le maintien d'une espèce, au moins à l'échelle de plusieurs décennies, ne dépend pas forcément de la reproduction sexuée, puisque un grand nombre d'espèces est capable de multiplication végétative. Pour une prédiction voire modélisation de la présence des espèces végétales en fonction de la température, la température de germination ne semble donc pas être l'information la plus pertinente. Il serait souhaitable de disposer des données concernant l'abondance (végétative) des espèces en fonction de la température de l'habitat. Quant aux données durées d'inondation selon Cornier (2002), elles se présentent sous forme de classes relativement larges qui différencient bien milieux présents au sein de la pleine alluviale. Cependant, ces classes semblent trop grossières pour pouvoir discerner des modifications légères des conditions d'inondation au sein d'un habitat donné et qui sont susceptibles de modifier les équilibres entre espèces y présentes.
- La **forme des données**. Les données provenant de sources variées se présentent généralement aussi sous formes variées, ce qui rend leur exploitation statistique difficile. Dans le présent rapport sont inclus dans l'analyse les données de forme similaire et présentant un jeu de données relativement important (indication d'une température minimale et maximale de germination avec calcul d'une amplitude écologique de l'espèce pour ce paramètre ; classes d'inondation selon Cornier). Des méthodes pour analyser de données de forme variable sont à rechercher, ce qui permettrait à inclure davantage de données parcellaires.

Nouvelles données acquises dans le cadre du projet

Des données expérimentales ont été acquises concernant **l'impact du régime hydrologique sur quatre espèces caractéristiques de la végétation herbacée du lit mineur**, plus particulièrement des grèves basses, faisant partie du *Nanocyperion* (habitat d'intérêt communautaire, code Natura 2000 3130).

L'expérience concernait deux espèces envahissantes : *Ludwigia peploides* et *Paspalum distichum* ainsi que deux taxons autochtones : *Corrigiola litoralis* et un petit Souchet (*Cyperus sp.*). A priori il s'agissait de *C. fuscus* mais une confusion avec *C. michelianus* ne peut être exclue au stade végétatif. Tous ont été soumis durant cinq semaines à trois régimes d'inondation différents : assec (avec substrat profond saturé en eau), inondation permanente et inondation intermittente (4 jours d'inondation, 4 jours d'assec).

Matériel et protocole expérimental

Le matériel végétal et le substrat (sable-gravier) provenait des grèves de la Loire à proximité de Tours : le substrat des grèves à St. Genouph, les individus de *Corrigiola* du lieu dit « la Frillière » (Commune de Vernou-sur-Brenne), *Cyperus sp.* principalement de la Frillière et quelques individus de l'île de la Métairie (la Ville-aux-Dames), *Ludwigia* et *Paspalum* provenait de l'île de la Métairie, avec quelques individus provenant de la Frillière pour le dernier. Les plantes étaient prélevées sur le terrain, stockées en condition humide dans des sachets en plastique et plantées dans les 24h au laboratoire. L'eau utilisée était prise dans la Loire (Tours, aval pont Mirabeau) et stockée au laboratoire dans des jerricanes.

A cause des formes de croissance différentes des taxons étudiés, le matériel végétal et sa préparation était propre à chaque espèce : Pour *Corrigiola* et *Cyperus*, deux taxons sans multiplication végétative par fragmentation, de jeunes individus entiers non fleuris d'un diamètre compris entre 3 à 6 cm environ, étaient utilisés. Dans le cas de *Corrigiola*, une espèce à racine pivotante et tiges rampantes multiples qui partent en rayons du point d'enracinement, les racines présentaient des longueurs d'environ 4 à 10 cm. Les plants de *Cyperus*, espèce à feuilles en rosette dressées et avec des racines fasciculées, étaient entre 1 à 3 cm en hauteur, et présentaient tous de multiples racines (>5). Leurs longueurs maximales étaient comprises entre 4,5 et 8 cm. Pour *Ludwigia* et *Paspalum*, deux taxons capables de multiplication végétative à partir de fragments, le matériel végétal utilisé étaient des fragments comportant un nœud avec racine, de taille standard de respectivement 1 et 2 cm de longueur de chaque côté du nœud (les entrenœuds étant plus longues en *Paspalum* qu'en *Ludwigia*).

Les jeunes plants ont été plantés individuellement dans des pots (hauteur 16 cm, diamètre 17 cm) installés sur des tables dans la salle expérimentale (faculté des Sciences de l'Université de Tours) et remplis avec le substrat sur 10 à 12 cm de hauteur, saturé en eau. L'éclairage provenait de différentes sources : éclairage naturel à travers les fenêtres, complété par un éclairage artificiel « lumière du jour » (néons) et de la lumière horticole (Osram L 36W/77 Fluora), installé à environ 1,5 m au dessus de chaque table expérimentale, orienté perpendiculairement à la lumière incidente naturelle et réglée à une photopériode de 14h : 10h.

L'expérience comportait 10 réplicats de chaque traitement, répartis dans la salle expérimentale en 5 blocs randomisés (deux réplicats de chaque type et de chaque espèce par bloc). Cette randomisation permettait d'éviter des biais éventuels dans des résultats causés par des conditions non homogènes dans la salle expérimentale (p.ex. dues aux différentes sources d'éclairage). En début d'expérience, le poids sec de 10 individus supplémentaires de chaque espèce pris au hasard (individus témoin) a été déterminé, afin d'obtenir une estimation de la biomasse initiale (séchage à l'étuve à 105° C durant 48 heures). La température de la salle d'expérience a été suivie quotidiennement (9h, 12h, 16h30). Sa moyenne était de 24,1 ± 3,5°C, avec des valeurs comprises entre 17,9°C et 31,8°C. Les niveaux d'eau ont été ajustés tous les deux à trois jours et un relevé d'observation (état des individus) a été réalisé. L'expérience s'est déroulée entre le 23 juillet et le 28 août 2009.

Mesures et analyse des données

Sur chaque individu, son diamètre et sa hauteur (sauf dans *Corrigiola*) ont été mesurés avant la plantation. Pour les individus toujours vivants en fin d'expérience, ces mesures ont été répétées en fin de l'expérience afin d'évaluer leur croissance en dimension horizontale (diamètre) et verticale (hauteur). Le gain de biomasse total a été évalué après séchage à l'étuve à 105° C durant 48 heures. Afin de ne pas biaiser le résultat par des biomasses différentes des différents taxons en début d'expérience, le taux de croissance de chaque individu vivant en fin d'expérience a été calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux de croissance } \Delta = (p_i - p_t) / p_t$$

Avec p_i = poids de l'individu en fin d'expérience ; p_t : poids moyen des individus témoin.

Les données ont été analysées en utilisant le logiciel XLSTAT, avec, pour des comparaisons des différents échantillons une vérification de leur normalité et homoscédasticité, si nécessaire une transformation des données pour remplir ces conditions (généralement transformation arcsin) a été réalisée et/ou des tests non paramétriques ont été utilisés. Le seuil de référence pour la significativité des tests était $\alpha=0,05$.

Résultats

La survie des individus durant les cinq semaines de l'expérience différait significativement entre espèces. Elle était de 80,0 % dans *Ludwigia*, 53,3 % dans *Cyperus*, 46,7 % dans *Paspalum* et seulement 6,7 %, i.e. 2 individus, dans *Corrigiola*. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative de l'impact du régime d'inondation, i.e. du traitement, sur ces taux de survies), ni d'interaction significative entre les facteurs « espèces » et « traitement » (Tableau 13).

Tab. 13 : Résultats d'une analyse de variance à deux facteurs sur les mortalités des 4 espèces des grèves en fonction du traitement d'inondation. Aux individus en vie à la fin d'expérience a été attribué la valeur « 1 », aux individus morts la valeur « 0 ». En gras : différences statistiquement significatives.

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Traitement	0.217	2	0.108	0.591	0.55560404
Espèce	8.267	3	2.756	15.030	0.00000003
Interaction	1.583	6	0.264	1.439	0.20627739
A l'intérieur du groupe	19.800	108	0.183		
Total	29.86666667	119			

Quant à la croissance des individus présents en fin de l'expérience, le régime d'inondation a eu un **impact significatif sur la croissance horizontale (augmentation du diamètre) chez *Ludwigia***, pour laquelle les différences d'augmentation de diamètre entre le début et la fin de l'expérience étaient significativement **plus faibles en condition assec** ($53,3 \pm 24,3$ mm), qu'en condition d'inondation intermittente ou permanente (respectivement $99,1 \pm 32,1$ mm et $105,1 \pm 27,0$ mm) (ANOVA, $p=0,006$) (Fig. 11). *Paspalum* montrait une tendance à un diamètre plus grand dans le traitement assec, mais sans être statistiquement significatif (Kruskall-Wallis, $p=0,20$). Par ailleurs, uniquement cinq des quatorze individus présents en fin d'expérience avaient augmenté leur diamètre durant les cinq semaines de l'expérience, dont trois dans le traitement assec. Cette forte proportion des croissances nulles et la forte variabilité des résultats au sein des traitements peut expliquer le fait que les différences entre traitement assec et les autres traitements étaient non significatives. Quant à la croissance verticale de *Paspalum*, uniquement deux individus avaient développé une croissance verticale, elle n'a donc pas été prise en compte dans l'analyse. Dans *Cyperus*, les augmentations en taille des individus ne variaient pas significativement selon les traitements d'inondation, ni pour le cas la croissance verticale (Kruskall-Wallis, $p=0,37$), ni pour le cas de la croissance horizontale (ANOVA, $p=0,39$).

Concernant les gains de biomasse des durant l'expérience pour les individus présents en fin d'expérience, la variabilité interspécifique était grande (coefficients de variation : *Ludwigia* 4,54 ; *Cyperus* 10,27 ; *Paspalum* 23,37) et les différences entre espèces non significatives (test de Kruskal-Wallis $p=0,69$). Les gains de biomasse tous traitements confondus n'étaient pas significativement différents de zéro : *Cyperus* ($21,2\% \pm 217,2\%$), *Ludwigia* ($30,5\% \pm 138,7\%$) et de *Paspalum* ($-3,7\% \pm 87,2\%$). Le gain de biomasse moyen des deux individus de *Corrigiola* (non inclus dans l'analyse) était de $-15,0\% \pm 47,4\%$. Au niveau intraspécifique, dans aucune des espèces existaient des différences de gains de biomasse en fonction des différents traitements.

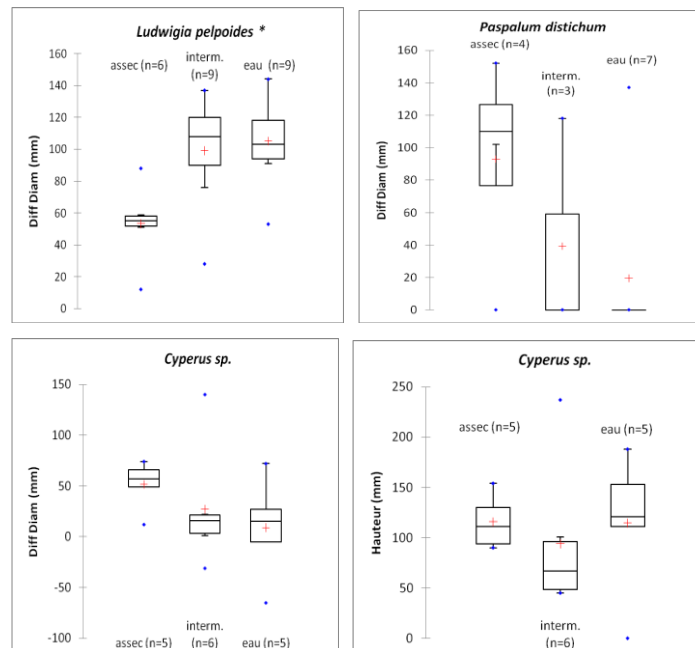


Fig. 11 : Représentation Box plot des augmentations de taille en fonction du régime d’inondation pour les individus présents en fin d’expérience. Diff Diam : croissance horizontale (diamètre) ; hauteur : croissance verticale. *Corrigiola littoralis* n’est pas représenté faute d’effectifs suffisants (deux individus en traitement assec).

Discussion des résultats

L’expérience, via son traitement « assec », a démontré qu’une exondation prolongée des grèves, même avec un substrat saturé d’eau en profondeur, a un impact négatif sur la croissance horizontale de *Ludwigia peploides*, la principale envahissante des habitats aquatiques et amphibies ligériens. Sa survie sous ces conditions ne semble cependant pas affectée. De l’autre côté, les résultats suggèrent que l’exondation prolongée est davantage favorable à la seconde espèce envahissante de l’expérience, *Paspalum distichum*, que des conditions d’inondation temporaires ou permanentes. Dans l’ensemble, l’expérience n’a cependant pas fourni les résultats espérés. La mortalité des individus durant l’expérience était élevée, variait en fonction de l’espèce et était sans lien avec le paramètre testé, le régime d’inondation. Elle était particulièrement élevée pour *Corrigiola littoralis*. Ce résultat paraît surprenant puisque l’espèce se rencontre sur les grèves sur un gradient topographique relativement large, allant des endroits très fréquemment inondés jusqu’aux grèves hautes et relativement sèches. Le fait que tous sauf trois individus ont dépéri rapidement (lors de la deuxième semaine de l’expérience) laisse penser que les plantes ont mal supporté leur transport et leur transplantation. Cela va dans le sens des observations de Wisskirchen (1995) qui considère *Corrigiola*, contrairement aux autres espèces des grèves, comme une espèce sensible au dessèchement, dépendant d’une bonne et constante alimentation en eau qu’elle peut obtenir sur les grèves grâce à sa racine profondément pivotante.

La grande taille des *Cyperus* présents en fin d'expérience ($10,72 \text{ cm} \pm 5,68$), supérieure à ce qui est habituellement observé sur le terrain (généralement $< 5 \text{ cm}$) et qui pourrait être due à un étiolement, suggère que la luminosité lors de l'expérience était suboptimale. Une ré-analyse des résultats par rapport à la position des individus dans la salle expérimentale en distinguant les blocs au centre de la salle (blocs 1 et 2) et les blocs à proximité des fenêtres (blocs 3 à 5), ces derniers ayant un apport plus fort en lumière du jour, peut être entreprise. L'examen des taux de mortalité dans les deux conditions de luminosité suggère des situations différentes selon les espèces (Fig. 12). Pour *Corrigiola*, la mortalité est forte quelque soient les conditions de luminosité, elle ne semble donc pas liée à ce facteur. Pour le cas de *Ludwigia*, les seuls cas de mortalité concernent des individus des conditions moins éclairées, pour le cas de *Cyperus*, la mortalité prédomine dans des conditions de faible éclairage (9 vs. 3 individus survivants), la survie dans des conditions de fort éclairage (13 vs. 5 individus morts). Il est donc probable que des conditions sub-optimales d'éclairage aient joué un rôle dans la mortalité chez ces deux espèces. Pour le cas de *Paspalum*, les taux de mortalité sont relativement similaires dans les deux conditions d'éclairage, l'espèce semble donc moins sensible à ce facteur que les précédentes.

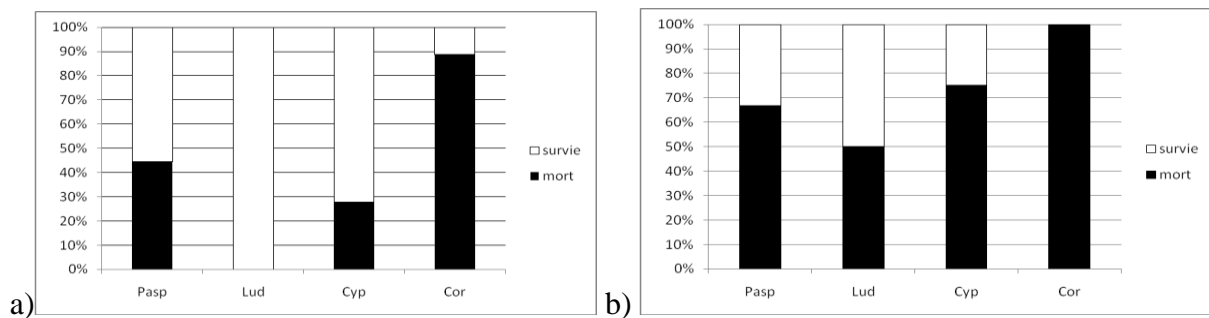


Fig. 12 : Taux de mortalité et de survie des quatre espèces avec (a) un apport fort de lumière du jour (blocs 3 à 5, position fenêtre) et (b) un apport faible de lumière du jour (blocs 1 et 2). Nombre d'individus par espèce conditions (a) : 18 ; nombre d'individus par espèce conditions (b) : 12. Pasp : *Paspalum disticum*, Lud : *Ludwigia peploides*, Cyp : *Cyperus sp.*, Cor : *Corrigiola littoralis*.

L'impact du facteur luminosité n'est cependant décelable dans la croissance des individus ayant survécu : il n'existe pas de différences significatives entre gains de biomasse en conditions de luminosité + et en luminosité - (tests de Mann-Whitney, α compris entre $p=0,104$ (*Ludwigia*) et $p=0,921$ (*Paspalum*)).

III Macroinvertébrés aquatiques

Les populations de macroinvertébrés aquatiques constituent un compartiment important des écosystèmes dulcicoles et un maillon déterminant dans la chaîne trophique. En effet, ce groupe animal très diversifié, et les organismes qui le composent présentent des sensibilités très variables aux modifications du milieu. Il occupe une place intermédiaire dans la chaîne alimentaire en tant que source d'alimentation pour les poissons, les amphibiens et les oiseaux. De plus, ces macroinvertébrés constituent les principaux décomposeurs de la matière organique. Un bouleversement de la composition, de la structure et de la

distribution de ce groupe animal agit directement sur l'équilibre global du milieu, c'est pourquoi nous l'avons intégré dans le volet « vulnérabilité de la biodiversité par rapport au changement climatique » du programme.

Sources des données

Ce projet visait i, à identifier les différentes sources de données concernant les macroinvertébrés aquatiques présents dans le lit endigué de la Loire entre le barrage de Villerest dans le département de la Loire (42) et la commune de Saint-Florent-le-Vieil en Maine-et-Loire (49) aussi bien dans le chenal principal que dans les chenaux secondaires et annexes hydrauliques et ii, à établir une liste de ces organismes. Dans un second temps, notre recherche se portait sur les données relatives aux conditions hydrologiques et thermiques en lien avec la présence des différents macroinvertébrés aquatiques en Loire. Cette démarche permettra d'évaluer la vulnérabilité de ces organismes par rapport aux potentielles modifications de ces deux paramètres en lien avec les changements climatiques et de répertorier les espèces de macroinvertébrés les plus sensibles à surveiller en priorité.

Les principales sources de données répertoriées concernant les macroinvertébrés aquatiques présents dans les différents milieux de la Loire dans le secteur étudié sont les suivantes :

- le réseau de contrôle et de surveillance de la qualité des cours d'eau français,
- le suivi hydroécologique dans le cadre de la surveillance environnementale des quatre centrales nucléaires situées sur la Loire (de l'amont vers l'aval ; Belleville, Dampierre, Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon).

A ces sources s'ajoutent des travaux universitaires réalisés dans le cadre de thèses de doctorat ou de travaux d'étudiants (sont notés ci-après uniquement les travaux les plus importants) :

- Projet personnel de M. Figuet dans le cadre de la formation en Ingénierie des Milieux Aquatiques et des Corridors fluviaux (IMACOF), Université François-Rabelais de Tours «Synthèse bibliographique des relevés de macroinvertébrés sur la Loire et essai de biotypologie» 1996,
- Thèse de Doctorat de J.M. Ivol, Université Claude Bernard, Lyon 1 «Hydro-écorégions et variabilité des communautés du macrobenthos sur le bassin de la Loire. Essai, typologie régionale et référentiel faunistique» 1998,
- Thèse de Doctorat de M. Bacchi, Université François-Rabelais de Tours «Structure et dynamique des peuplements macrobenthiques en Loire : impact des facteurs hydrologiques et sédimentaires» 2000,
- Thèse de Doctorat de X.F. Garcia, Université Paul Sabatier de Toulouse «Ecologie comparée des peuplements de *Chironomidae* (Diptera) des zones potamiques de la Garonne et de le Loire (France)» 2000.

Une troisième catégorie de données est constituée par diverses études financées par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, l'Equipe pluridisciplinaire du Plan Loire, la DREAL Centre et le GIP Loire Estuaire :

- ADESVV-IMACOF. Sites de référence sur la Loire, Topo-bathymétrie sur le site de Bréhémont (site n°6, en Indre-et-Loire), Etude des habitats et des peuplements de macrofaune benthique sur huit sites. Campagnes 1999, 2000, 2001, 2002 et 2003. DIREN Centre SBLB.
- SCE 2003. Suivi du fonctionnement de cinq annexes hydrauliques restaurées sur la Loire et la Vienne. Equipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature.
- RIVE 2003. Etude des peuplements macrobenthiques de la Loire, Site de Ingrandes. Loire estuaire, cellule de mesures et de bilans de la Loire.
- THEMA Environnement 2005. Suivi des annexes fluviales restaurées sur la Loire et la Vienne, bilan annuel de la campagne 2004. Agence de l'Eau Loire Bretagne, Programme Interrégional Loire Grandeur Nature.

Enfin, les publications de messieurs M. Chovet et J.Y. Lecureuil, nous ont permis de compléter les données issues des sources précédentes.

Concernant la seconde partie de notre recherche, très peu de données sont disponibles. Les seules données à long terme intégrant les paramètres hydrologiques et thermiques ainsi que les communautés de macroinvertébrés aquatiques présents dans la Loire sont celles issues de la surveillance des centrales nucléaires. En effet, sur les quatre centrales de la Loire, plusieurs campagnes de prélèvements des macroinvertébrés sont effectuées chaque année depuis 1994 selon la même méthode de prélèvement. Les données thermiques horaires sont disponibles depuis cette même date ainsi que les débits journaliers mesurés sur des stations proches des centrales. Ces chroniques peuvent nous permettre d'évaluer de potentiels impacts des modifications des paramètres hydrologiques et thermiques sur les communautés de macroinvertébrés aquatiques de la Loire.

Les travaux de M. Bacchi et de X.F. Garcia (2000) apportent de nombreux éléments sur les paramètres de distribution et de composition des communautés de macroinvertébrés aquatiques, les facteurs hydrologiques et thermiques sont en autres abordés.

Synthèse des données existantes

Les macroinvertébrés aquatiques présents en Loire

Nous n'avons pas pu récolter à temps l'ensemble des données disponibles ; les données de la surveillance des centrales de Saint-Laurent-des-Eaux, Dampierre et Belleville ainsi que celles issues du réseau de surveillance et de contrôle de la Loire ne nous ont pas été fournies suffisamment tôt.

Les données récoltées sont toutefois nombreuses, mais le niveau de détermination n'est pas uniforme et trop souvent insuffisant. En effet, lorsque les données sont issues de la méthode IBGN, les taxons sont déterminés seulement jusqu'à la famille. Le niveau de détermination utilisé dans le cadre de la surveillance des centrales nucléaires est la famille, le genre ou l'espèce pour les ordres d'insectes Ephéméroptères et Trichoptères (centrale de Chinon). Les macroinvertébrés sont déterminés à l'espèce dans les trois principales thèses réalisées sur la Loire ainsi que dans les travaux de messieurs Chovet et Lecureuil et dans l'étude de SCE en 2003. Les données disponibles ne sont donc pas toutes exploitables de la même façon.

D'autre part, il a été montré que pour évaluer les critères de distribution, de structure des peuplements de macroinvertébrés aquatiques, la détermination à l'espèce est indispensable (Bacchi, 2000 ; Garcia, 2000), toutefois ce niveau d'identification n'est pas aisé à atteindre.

Malgré ces fluctuations du niveau d'identification, nous avons pu établir une liste des macroinvertébrés présents dans le lit endigué de la Loire entre le barrage de Villerest et la commune de Saint Florent le Vieil (annexe 3). Les milieux inventoriés du lit endigué de la Loire sont riches et incluent le lit principal de la Loire, les bras secondaires parfois partiellement déconnectés et les annexes hydrauliques.

Ce travail de recensement des macroinvertébrés a permis de montrer la très grande diversité de la Loire.

Influence des paramètres « hydrologie et thermie » sur les communautés aquatiques

Ce chapitre met en évidence la sensibilité de la macrofaune aquatique face aux variations des conditions hydrologiques et thermiques de la Loire.

Influence de l'hydrologie sur les communautés de macroinvertébrés aquatiques et leurs habitats

La dynamique fluviale est un véritable moteur dans la distribution des communautés benthiques (Bacchi, 2000), elle agit dans la répartition des habitats, la disponibilité de la nourriture, les conditions de reproduction, la qualité chimique de l'eau, la température...c'est donc toute l'écologie de la macrofaune aquatique qui est concernée.

La Loire dans son comportement global ne montre pas aujourd'hui de transformations radicales imputables aux changements climatiques. Cependant une baisse de l'hydraulicité et une hausse des températures ces 20 dernières années (divers travaux de F. Moatar et al) sont constatées. La Loire se caractérise actuellement par deux principales saisons hydrologiques très distinctes : la période de hautes eaux et la période de basses eaux, toutes deux variables d'une année à l'autre et fonction de la distance à la source. Les prévisions effectuées dans le cadre des changements climatiques concernant le paramètre « hydrologie » mettent en évidence une augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes, à savoir des périodes de crues hivernales plus longues et plus sévères, ainsi que des périodes d'étiages suivant la même évolution. Ces modifications pourraient faire évoluer les régimes hydrologiques de la Loire vers un type particulier avec une succession de plus en

plus rapide des principaux phénomènes hydrologiques raccourcissant ainsi les périodes intermédiaires à hydrologie dite « normale ».

D'un point de vue faunistique, l'hiver avec une eau rapide et froide est favorable aux taxons d'eau froide et rhéophiles tels que les plécoptères et certains trichoptères et éphéméroptères.

La période estivale avec des eaux lentes et chaudes est favorable aux taxons thermophiles tels que certains hétéroptères, trichoptères, diptères, odonates et mollusques.

L'hydrologie conditionne en particulier la distribution des habitats. La Loire à l'instar d'autres hydrosystèmes français possède encore des zones humides nommées annexes hydrauliques. Ces systèmes abritent une biodiversité riche et abondante dont la pérennité est dépendante de l'hydrologie ligérienne et des niveaux des nappes. Les modifications des régimes hydrologiques prévues, si elles se confirment, permettraient une connexion plus longue de ces zones humides avec le lit mineur durant la période hivernale. Toutefois, après la déconnexion, leur assèchement pourra être plus précoce et concernera davantage de sites sur le linéaire de cours d'eau. Quel sera alors l'impact sur la communauté macrobenthique ?

La perspective d'une mise en eau plus courante des bras secondaires et autres annexes hydrauliques annonce une extension du réseau péri-fluvial (GIUDICELLI, 2000), et c'est justement dans ces zones humides que l'on retrouve le plus grand nombre de taxons. Ce phénomène s'explique par le fait que ces milieux hébergent des taxons spécifiques que l'on ne retrouve pas dans le lit mineur mais aussi par l'action des crues qui entraîne la dérive de nombreux taxons du chenal principal qui se retrouvent piégés et participent ainsi à l'augmentation de la biodiversité (BACCHI, 2000). Par ailleurs, certains taxons ont développé des stratégies adaptatives pour se dérober à ces variations. C'est le cas des espèces polyvoltines qui, grâce à un cycle court, une évolution rapide, et la capacité pour certaines à la diapause ou à la migration aérienne, ont la possibilité de coloniser ces milieux refuges.

La remise en eau de ces zones périfluviales par des crues « modérées » serait favorable à la macrofaune, mais l'impact de fortes crues décennales même quinquennales est tout autre. Les travaux de Bacchi en 2000 montrent qu'une modification brutale des conditions hydrauliques entraîne une baisse globale de la richesse taxonomique et de l'abondance sur tous les types d'habitats. Le débit renvoi à une notion quantitative, il ne faut cependant pas oublier la puissance qui lui est associée et son impact sur le milieu physique. Les populations benthiques comme leur nom l'indique vivent sur le substrat dont la répartition est conditionnée par le courant. Dans ses travaux sur le site de Bréhémont en Loire moyenne, M. Bacchi (2000) a démontré que pour des vitesses faibles (inférieures à 0,2 m/s), il y avait une séparation des substrats organiques et minéraux, cela permettant aux macroinvertébrés de s'isoler sur leur substrat préférentiel créant ainsi un étagement des populations en fonction de l'habitat. Au contraire pour des vitesses élevées (>0,2 m/s), il a été observé un regroupement du peuplement quelque soit le type de substrat. Ce phénomène montre que dans certains cas l'invertébré s'impose (pour des raisons de survie) un habitat lié à la vitesse et non au substrat. Cette analyse dévoile encore une fois, l'importance du paramètre « hydrologie » dans la distribution des communautés macrobenthiques.

Enfin, l'hydrologie agit aussi sur le régime alimentaire, le mode respiratoire, la prolifération ou l'extinction de certains taxons.

Influence de la thermie sur les communautés de macroinvertébrés aquatiques et leurs habitats

Moatar et Gailhard (2006) ont mis en évidence que la température de l'eau était principalement liée à la température de l'air. La distribution longitudinale du cours d'eau entre en compte dans ce constat, Bacchi (2000) voit en effet ce lien plus fort dans le secteur aval de la Loire. Cette analyse est aisée à comprendre : l'aval de la Loire avec un lit plus large, moins rapide, une surface de contact eau/atmosphère plus importante et un couvert végétal plus faible, est forcément plus sensible aux variations atmosphériques de température.

Cette observation laisse supposer que les impacts des changements climatiques seront plus rigoureux (du point de vue thermique) en Loire moyenne et aval. Cela reste une hypothèse et ne doit pas occulter les particularités inhérentes au fleuve : mobilité du lit, instabilité hydrologique...

Les macroinvertébrés aquatiques sont tout aussi sensibles au facteur « thermie » qu'au facteur « hydrologie ». Très peu de données sont disponibles sur la Loire concernant cette relation thermie – macrofaune. Un travail est mené actuellement sur le site de la centrale de Chinon visant à comprendre l'évolution des communautés de macroinvertébrés depuis 1994. Cette synthèse sera disponible en février 2011. Nous utilisons donc dans cette partie des travaux réalisés sur d'autres hydrosystèmes français, tel que le Rhône.

Dans un travail réalisé en 2003 sur des données issues de la surveillance de la centrale du Bugey sur le haut Rhône, M. Daufresne et al. ont travaillé sur des relevés de température, de poissons et de macroinvertébrés. De 1978 à 1998, une augmentation constante de la température de l'eau fut observée (idem à la Loire (Moatar et Gailhard 2006)). Il en résulte d'après l'historique des relevés une disparition progressive des taxons d'eau froide comme *Chloroperla*, *Protonemura*, *Nemoura* et *Amphinemura* (Tachet et al., 2000) par opposition à une augmentation graduelle de l'abondance des taxons d'eau chaude comme *Corbicula* (Tachet et al., 2000). En parallèle, le développement de taxons préférant les vitesses de courant nulles ou faibles et les secteurs aval des cours d'eau (*Athricops*, *Potamopyrgus*, *Corixa*, *Lepidostoma*, *Platycnemis*, *Oecetis*, *Corbicula*, *Coenagrion*, *Theodoxus*, *Dendrocoelum* (Tachet et al., 2000)) s'est avéré au détriment des taxons préférant les vitesses de courant rapide et les zones amont (*Chloroperla*, *Protonemura*, *Nemoura*, *Amphinemura*, *Rhyacophila*, *Stratiomyidae*, *Ecdyonurus*, *Athripsodes*, *Caenis* (Tachet et al., 2000)).

L'augmentation globale des espèces de poissons et d'invertébrés thermophiles a été conforme aux prévisions sur les conséquences des changements climatiques. Ainsi, il est prédit un décalage des zones longitudinales de répartition des poissons vers des altitudes plus élevées. Un modèle similaire pourrait avoir lieu pour les macroinvertébrés d'eau douce.

Sur le cours supérieur du fleuve Rhône (45 km en amont du segment de l'étude), Doledec et al. (1996) ont constaté une augmentation progressive des taxons d'invertébrés lenticules et thermophiles entre 1980 et 1991, en corrélation avec la hausse de la température de l'eau.

Le risque est la perte des espèces sténothermes au profit des espèces eurythermes et donc une banalisation généralisée des communautés sur la Loire et la disparition du caractère patrimonial de certaines espèces.

Il existe une très forte disparité entre les hydrosystèmes fluviaux français, cela rend donc impossible la généralisation des résultats présentés précédemment, toutefois, cela montre les potentiels impacts des modifications des conditions thermiques.

Concernant la Loire, une étude a été menée à la demande de l'Equipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature et de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, sur le suivi du fonctionnement de cinq annexes restaurées de la Loire et de la Vienne (SCE 2002). Elle s'est intéressée aux conditions et évolutions hydrologiques, thermiques, et faunistiques de cinq annexes et a pu notamment examiner les modifications dans la distribution des macroinvertébrés sur la période avril-juillet.

Sur chacune de ces 5 annexes il ressort que : i la majorité des taxons de macroinvertébrés ont un cycle vital court avec plusieurs générations par an en lien avec de fortes modifications du milieu (notamment hydrologiques et thermiques), ii la dispersion est majoritairement aquatique au printemps, et devient aérienne en été, en lien avec le déficit en eau, iii la majorité des espèces présente une respiration aquatique de type branchiale en avril-mai, et le nombre d'individus à respiration aérienne augmente significativement en été traduisant une mauvaise oxygénation de l'eau, iiiii dans les annexes une majorité de taxons eurythermes pouvant supporter d'importantes amplitudes thermiques est récoltée.

Cette analyse bio-écologique montre à quel point le peuplement est réceptif aux variations du milieu. Encore une fois, ces variations sont principalement liées à l'instabilité hydrologique et thermique. Toutefois, les études ne montrent pas de baisse de l'abondance et de la richesse taxonomique du peuplement durant la période estivale, bien au contraire. En effet, dans la plupart des cas, ces deux indices restent stables ou augmentent. Cette observation est due à l'assèchement des annexes qui occasionne un regroupement des espèces qui migrent et se concentrent dans ces zones « refuges » encore en eau. De plus, l'accroissement de la richesse est parfois imputable à seulement un ou deux ordres (coléoptères et diptères par exemple) possédant beaucoup de taxons et dissimulant ainsi la disparition des espèces à plus grand intérêt patrimonial.

Ces annexes par leur qualité de zone refuge sont de véritables sources de vie aquatique. Elles sont plus que jamais menacées d'assèchement précoce face aux impacts annoncés des changements climatiques.

Globalement, les changements thermiques risquent de provoquer des mouvements au sein des communautés de macroinvertébrés et un changement de leur aire de répartition. Les espèces dites « méridionales » des régions chaudes coloniseront un territoire plus important en progressant vers de plus hautes latitudes. Ce phénomène sera plus préjudiciable aux espèces des régions plus froides qui verront leur aire de répartition diminuer.

Analyse taxonomique des données

Cette analyse faunistique permet de répertorier les taxons de macroinvertébrés aquatiques de la Loire qui méritent d'être plus particulièrement suivis dans un contexte de modifications des conditions hydrologiques et thermiques de la Loire.

Les insectes - Plécoptères

Cet ordre d'insectes est composé d'espèces inféodées aux milieux aquatiques d'eau courante, tous les individus sont rhéophiles. Ainsi, les plécoptères sont nettement plus diversifiés et abondants dans les zones supérieures des cours d'eau. Les larves sont aquatiques et vivent sur un substrat minéral tandis que les adultes sont aériens. Cet ordre très sensible à la qualité de l'eau et à la vitesse de courant sert de groupe indicateur dans les indices de qualité de l'eau tel que l'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé).

Trois taxons de plécoptères ont été recensés *Leuctra sp.* (capturé dans le lit vif en mai), *Taeniopteryx schoenemundi* (capturé dans le lit vif en novembre et en mai), *Xanthoperla apicalis* (présents d'avril à juin dans le lit vif et les bras secondaires et annexes hydrauliques).

Les taxons *Xanthoperla* et *Taeniopteryx* fréquentent tous deux les grandes rivières et les zones lotiques. La présence de *Xanthoperla* dans l'annexe hydraulique de La Charité-sur-Loire peut se justifier par la relation permanente de cette annexe avec la nappe alluviale (Bacchi, 2000). Cette espèce est en régression dans la Loire (Chovet 2008).

Ces taxons sont à suivre tout particulièrement dans un contexte de changements climatiques.

Les insectes - Ephéméroptères

Cet ordre d'insecte est très diversifié. L'écologie des éphéméroptères est très variable d'une espèce à l'autre (vitesse de l'eau, substrat, alimentation). Les larves sont exclusivement aquatiques et possèdent une respiration branchiale (Tachet et al., 2000). Certaines espèces sont particulièrement sensibles, d'autres sont plus tolérantes, mais elles sont généralement parmi les premiers êtres vivants à disparaître lorsque les conditions du milieu sont fortement perturbées. Les éphéméroptères sont donc utilisés comme indicateurs de la qualité des milieux aquatiques et leurs populations sont à surveiller.

Les familles les plus représentées chez les éphéméroptères dans la Loire sont en termes d'abondance et de richesse spécifique sont celles des *Caenidae* (avec 2 genres) et des *Baetidae* (avec 7 genres).

Les *Caenidae* : les différentes espèces de cette famille colonisent des milieux très variés et présentent une sensibilité aux pollutions très variables. Le niveau d'identification le plus retenu lors des inventaires est générique d'où des difficultés d'appréhension des abondances spécifiques.

- 4 espèces sont très présentes en Loire, *C. luctuosa*, *C. macrura*, *C. pseudocentroptilum*, *C. pusilla*,

- *Brachycercus europaeus* et *B. harrisella* sont moins relativement peu récoltées. Cette dernière présente une assez bonne polluo-résistance tant au niveau trophique que thermique (Tachet et al., 2000). Ces deux espèces colonisent plutôt les zones de sédimentation active situées en profondeur (Chovet et Lecureuil 2008)

Les *Baetidae* : 16 espèces sont présentes en Loire, toutefois, le niveau d'identification est généralement générique et non spécifique, il est donc difficile d'évaluer la représentativité de chaque espèce. Les *Baetis* et *Acentrella* sont dans l'ensemble rhéophiles tandis que *Cloëon*, *Procloëon*, *Centroptilum* et *Baetopus*, sont davantage limnophiles (Tachet et al, 2010).

- *Acentrella sinaica*, espèce relativement rare en Loire moyenne mais pouvant parfois être très abondante (Bacchi, 2000),
- *Baetis fuscatus* : espèces pouvant s'adapter aux conditions des grands cours d'eau telle que les variations de débit, espèce rhéophile présente principalement dans le lit vif de la Loire (Bacchi, 2000), *B. buceratus* moins présente préfère les zones lenticules, *B. lutheri*, est plus rhéophile,
- *Baetopus (Raptobaetopus) tenellus* : espèce est assez commune en Loire moyenne. *B. Wartensis*, est plus rare (Chovet 2008) et présente dans les zones sableuses profondes.
- *Centroptilum luteolum* : ce taxon est inféodé aux bras secondaires et annexes hydrauliques aux eaux calmes (Tachet et al., 2000).
- *Cloëon dipterum* : espèce assez fréquente du printemps à l'été sur l'ensemble des relevés, inféodée au milieu à courant faible ou nul. Sa distribution ne semble pas en régression toutefois dans l'hypothèse de la raréfaction des annexes hydrauliques suite aux changements climatiques, ce taxon pourrait voir son abondance diminuer. *C. simile*, espèce moins commune,
- *Labiobaetis atrebatinus* et *L. tricolor* (espèce des zones aval des cours d'eau) sont présentes dans les zones courantes,
- *Procloëon bifidum* : espèce récoltée dans divers milieux de la Loire, Tachet et al indiquent une amplitude écologique relativement large en termes de température et de vitesse de courant. *P. pulchrum* et *P. (Pseudocentroptimum) pennulatum* sont moins fréquente.

Aux deux premières familles s'ajoute celle des *Heptageniidae* représentée par 4 genres, les principales espèces sont :

- *Electrogena affinis*, espèce assez commune dans la partie moyenne de la Loire, dans les zones de bordure (végétation, bois, pierres),
- *Heptagenia sulphurea* : espèce très commune en Loire, elle est répertoriée toute l'année dans le lit vif de la Loire (Chovet et Lecrueuil, 2008). *H. flava* : espèce également répandue, mais en moindre densité, occupant des habitats moins lotiques et mois minéraux (Chovet et Lecureuil, 2008),
- *Ecdyonurus insignis* est assez présente en Loire.

Deux espèces de la famille des *Ephemerellidae*, sont assez communes en Loire moyenne, *Serratella ignita* et *S. mesoleuca*.

Deux familles assez fréquentes en Loire sont représentées par seulement une espèce chacune en Loire, *Potamanthidae* avec *Potamanthus luteus* et *Polymitarcidae* avec *Ephoron virgo*.

D'autres espèces appartenant à des familles différentes sont récoltées moins régulièrement dans le lit de la Loire, *Ephemera danica* et *E. lineata* (*Ephemeridae*), *Siphonurus aestivalis* (*Siphonuridae*) dans les zones de bordures et dans les annexes, *Oligoneuriella rhenana* (*Oligoneuriidae*), *Habrophlebia pallida* et *H. rhenana* (*Leptophlebiidae*).

Il paraît primordial de surveiller les espèces fluviatiles caractéristiques du milieu ligérien. Parmi elles il est possible de citer une liste non exhaustive : *Ephoron virgo*, *Brachycercus europaeus*, *Caenis pseudorivulorum*, *Caenis pusilla*, *Labiobaetis tricolor*, *Raptobaetopus tenellus*, *Heptagenia flava*, *Heptagenia longicauda*. (Gretia.org)

Les insectes - Trichoptères

Cet ordre d'insectes présente un stade larvaire aquatique, les trichoptères sont fréquents en Loire avec parfois des abondances très importantes.

Tout comme les éphéméroptères, l'ordre des Trichoptères présente une écologie très diversifiée selon les espèces. Beaucoup d'entre elles sont cependant inféodées aux milieux lotiques. Malgré une polluosensibilité variable certaines familles de Trichoptères sont utilisées comme indicateur de bonne qualité dans la méthode de l'IBGN (*Brachycentridae*, groupe 8, *Goeridae*, groupe 7 et *Hydroptilidae*, groupe 5).

Les différentes sources de données révèlent une forte abondance de la famille des *Hydropsychidae* dans le lit vif avec un pic de présence durant la période estivale. Le genre *hydropsyche* constitue une part non négligeable du peuplement macrobenthique ligérien par sa colonisation des milieux rhéophiles (Bacchi, 2000). Leur présence est toutefois faible à nulle dans les annexes hydrauliques à facies lentique.

A partir des relevés de Ivoll (1997) et Bacchi (2000), il est possible de déterminer la sensibilité de quelques espèces :

- *Hydropsyche contubernalis* et *Hydropsyche exocellata* : ces deux espèces semblent être les plus abondantes et ne semblent pas être perturbées par les hautes eaux et les étiages. Présentes dans le lit vif et dans les annexes hydrauliques lorsqu'elles sont connectées, ces deux espèces sont clairement rhéophiles.
- *Hydropsyche bulgaromanorum* : espèce inféodée à la partie aval des grands cours d'eau, sa présence est assez récente en Loire (années 70s), elle est rencontrée à partir du bec de Cher et devient dominante en Loire inférieure (Lecureuil et al. 1983).
- *Hydropsyche ornatula* est présente ponctuellement dans la partie amont de la Loire moyenne,
- *Cheumatopsyche lepida* : A l'image des autres espèces d'*Hydropsychidae* mentionnées, ce taxon est associé au lit vif des grands cours d'eau (Bacchi, 2000) dans les secteurs à forte granulométrie, avec une présence toute l'année et un maximum d'observation en période estivale.

Les genres de la famille *Hydroptilidae* sont relativement fréquents en Loire : *Hydroptila*, *Orthotrichia*, *Ithytrichia*. La bibliographie concernant cet ordre est trop limitée pour caractériser précisément son écologie. Les relevés indiquent une abondance plus importante dans les zones lotiques et durant la période hiver-printemps.

La famille des *Psychomyidae* représentée par une espèce en particulier en Loire, *Psychomyia pusilla* qui est considéré comme très ubiquiste (Bacchi, 2000). De plus, elle colonise indifféremment les annexes hydrauliques et le lit vif de la Loire.

Les trichoptères de la famille des *Ecnomidae* sont assez présents en Loire, avec deux espèces en Loire moyenne, *Ecnomus tenellus* et *E. deceptor*, espèces potamiques.

Les *Brachycentridae* sont davantage récoltés en Loire depuis quelques années (Richard, 2010), cette famille appartient au groupe indicateur 8 très polluosensibles, dans la méthode de l'IBGN avec une espèce principale, *Brachycentrus subnubilus*.

Les *Leptoceridae* sont aussi assez fréquents en Loire avec quatre genres bien représentés, *Athripsodes*, *Ceraclea*, *Oecetis*, et *Setodes*, ces genres sont rhéophiles.

Les insectes - Odonates

Ce groupe d'insectes prédateurs à phase larvaire aquatique fait l'objet de réglementation ou de protection pour certaines espèces. Le régime alimentaire des odonates les rend dépendant de la survie des autres taxons.

- F. *Coenagrionidae* : taxons prélevés sur les annexes hydrauliques de Loire, une espèce *Coenagrion mercuriales* figure à l'annexe 2 de la Directive Habitats et est classée classe 5 sur la liste rouge française,
- F. *Calopterygidae* : cette famille n'est représentée en France que par un seul genre (*Calopteryx*) : *Calopteryx splendens* est une espèce assez courante dans les milieux calmes tandis que *Calopteryx haemorrhoidalis* (abondance rare) apprécie les milieux plus courants (Société Française d'Odonatologie).
- F. *Gomphidae* : cette famille est représentée par trois principaux genres en Loire *Gomphus*, *Onychogomphus*, *Ophiogomphus*. Christian Bouchardy indique que la Loire héberge toutes les espèces de *Gomphidae* de France continentale (soit environ 10), avec deux espèces dont la répartition est restreinte au Val de Loire : *Ophiogomphus cecilia* (annexes 2 et 4 de la directive habitat, classe 3 sur la liste rouge française) et *Gomphus flavipes* (annexe 4 de la directive habitat, classe 3 sur la liste rouge française). Il faut ajouter à cela *Oxygastra curtisii* présente en Loire et figurant à l'annexes 2 et 4 de la directive habitat.
- F. *Libellulidae* : cette famille compte un très grand nombre d'espèces, les genres *Libellula*, *Orthetrum* et *Sympetrum* ont été identifiés sur la Loire.
- F. *Aeschnidae* : les espèces de cette famille sont principalement échantillonnées dans les annexes de la Loire, *Anax imperator*, *Aeschia isocetes*.

- F. *Platycnemididae* : famille représentée par un seul genre et trois espèces en France. L'espèce *Platycnemis pennipes* a été prélevée dans différents milieux (lit vif, annexes, bras secondaire) en Loire amont et moyenne.

La Loire possède donc plusieurs espèces d'Odonates bénéficiant d'un statut de protection, espèce qui doivent donc être très fortement surveillées dans le cadre des impacts des changements climatiques.

Les insectes - Coléoptères

Comme le montrent les différentes sources de données, les coléoptères constituent un groupe très important avec un grand nombre de genres et d'espèces. Cette diversité entraîne divers modes d'adaptation au milieu aquatique et des exigences écologiques variées. De plus, la capacité de vol des adultes leurs permettent de coloniser d'autres milieux quand les conditions deviennent défavorables. Parmi les taxons relevés la plupart appartiennent à la famille des *Dystiscidae*, ces espèces carnassières se retrouvent aussi bien dans les eaux stagnantes que courantes sur tout le linéaire du cours d'eau.

Cette famille est très diversifiée avec 19 genres dont la plupart sont présents dans les annexes hydrauliques de la Loire.

La famille des *Elmidae* suit en termes de richesse taxonomique avec 10 genres récoltés en Loire, la plupart de ces taxons sont présents dans le chenal principal.

Les autres coléoptères sont présents plus ponctuellement en Loire et appartiennent aux familles des *Dryopidae*, *Gyrinidae*, *Halplidae*, *Helophoridae*, *Hydraenidae*, *Hydrochidae*, *Hydrophilidae*, *Hygrobidae* et *Noteridae*.

Les insectes - Diptères

Cet ordre d'insectes relativement ubiquiste, compte un très grand nombre d'espèces dont les exigences écologiques sont très variées. Ainsi, l'on retrouve des diptères sur tout le linéaire du cours d'eau. Leurs larves constituent une source importante de nourriture de la faune aquatique. La famille des *Chironomidae* constitue une part majoritaire de la population globale des diptères. Cette famille présente un nombre très important d'espèces dont beaucoup n'ont pas encore été répertoriées en raison d'une identification particulièrement difficile.

Les travaux de thèse de X-F. GARCIA 2000 constituent une source de données très riche sur la Loire.

Les insectes - Hétéroptères

Ce groupe d'insectes compte environ 10% d'espèces inféodées au milieu aquatique. Ces macroinvertébrés ont la particularité de capter l'oxygène en surface afin de le stocker sur leur abdomen et de le consommer par la suite. Cette technique est réellement efficace pour lutter contre le réchauffement des eaux et le déficit en oxygène dissous parfois associé.

La famille des *Corixidae* est majoritaire parmi les hétéroptères de la Loire, elle est principalement représentée par les genres *Corixinae* et *Micronecta*. *Micronecta* est très abondante et présente sur l'ensemble des sites proposés par la bibliographie tout type de milieu confondu prouvant ainsi son caractère eurytope. Peu d'espèces de cet ordre vivent dans les milieux courants.

La famille des *Aphelocheiridae* avec une seule espèce *Aphelocheirus aestivalis*, est très commune dans le chenal principal de la Loire.

Les insectes - Mégaloptères

Cet ordre est assez isolé puisqu'il n'est représenté que par un seul genre en France : *Sialis*. Ce taxon a une respiration aquatique de type branchiale et apprécie les eaux stagnantes ou peu courantes avec un substrat végétal (Tachet et al., 2000).

Les Mollusques, gastéropodes et bivalves

Cette classe de macroinvertébrés regroupe un grand nombre de taxons présents dans différents milieux de la Loire avec 14 familles dont certaines sont parfois très abondantes, c'est le cas de *Hydrobiidae*, des *Bithyniidae* et des *Corbiculidae* dans le chenal principal de la Loire.

A ces principales familles s'ajoutent en abondance plus restreintes, les *Planorbidae*, les *Lymnaeidae*, les *Physidae*.

Les mollusques sont dans l'ensemble peu sensibles aux variations hydrologiques.

Les modifications engendrées par les changements climatiques à venir auront pour effet de privilégier l'expansion des espèces exotiques envahissantes très tolérantes vis-à-vis de la qualité du milieu. Parmi les mollusques bivalves, deux espèces sont considérées comme envahissantes, *Dreissena polymorpha* et *Corbicula fluminea*. Cette dernière est très abondante dans la Loire, introduite en France en 1980. Son caractère ubiquiste lui a permis de s'adapter rapidement au milieu et de rentrer en compétition avec les espèces déjà présentes. De plus elle subit peu de prédation (Brancotte & Vincent, 2002). Les mollusques gastéropodes présentent aussi une espèce invasive, appartenant à la famille des *Hydrobiidae*, *Potamopyrgus antipodarum*, très abondant sur la Loire.

Les Crustacés

Cette classe est très abondante sur la Loire et représentées par trois principales familles, les *Gammaridae*, les *Asellidae* et les *Cambaridae* (*Orconectes limosus*, écrevisse introduite dont le développement est considéré comme stabilisé). A cette famille s'ajoute celle des *Atyidae* avec une espèce *Atyaephyra desmarestii*.

Les *Gammaridae* dominent les peuplements de crustacés de la Loire, trois espèces sont très communes en Loire, *Gammarus pulex pulex* sur tout le cours de la Loire, *G. roeselii* en Loire

moyenne (secteur supérieur) et *G. tigrinus*, en Loire aval. Une troisième espèce est de plus en plus récoltée en Loire, *Dikerogammarus villosus*.

Les *Asellidae* sont représentés par l'espèce *Asellus aquaticus* qui est très abondante en Loire, dans les zones calmes de bordures du chenal principal mais aussi dans les annexes hydrauliques.

Cette analyse reste très globale et permet d'identifier un certain nombre de taxons à surveiller dans la perspective des changements climatiques. Mais afin de mieux appréhender les éventuelles modifications au sein des communautés de macroinvertébrés aquatiques, un travail sur les exigences et préférendum de chaque taxon au niveau spécifique semble indispensable.

Lacunes identifiées

Afin d'évaluer de manière précise la vulnérabilité des macroinvertébrés, il serait indispensable que dans les multiples inventaires l'identification soit effectuée à un niveau spécifique. Toutefois ce niveau taxonomique est difficile à atteindre. D'autre part, il serait nécessaire lors des inventaires de macroinvertébrés de relever les conditions thermiques et hydrologiques afin de pouvoir évaluer les modifications des communautés de macroinvertébrés en relation avec les variations des deux paramètres.

Nouvelles données acquises dans le cadre du projet

Le présent projet ne prévoyait pas d'acquisition de nouvelles données sur la thématique des macroinvertébrés.

IV Avifaune des prairies inondables

Introduction

L'objectif de ce volet était de réaliser une modélisation test de la distribution des espèces prairiales sur les ensembles prairiaux de la partie aval du bassin de la Loire. Le choix du groupe d'espèces à modéliser a porté sur les oiseaux dont l'écologie est relativement bien connue. La quantité de connaissance disponible était un avantage pour évaluer les méthodes permettant de projeter à termes les conséquences pour la biodiversité des changements climatiques. Le travail avait été divisé en 4 phases :

1. Collecte et synthèse des données existantes
2. Acquisition données complémentaires
3. Synthèse et cartographie des habitats
4. Modélisation de niche des 4 espèces

Ces quatre phases ont été complétées. En ce qui concerne la phase 1, un tour d’horizon des suivis réalisés sur les oiseaux prairiaux a été effectué au début du projet. Plusieurs acteurs ont été identifiés. Toutefois, il est rapidement apparu que chaque acteur se focalisait sur une zone particulière et utilisait des protocoles différents. Le Tableau 14 détaille ces informations pour les quatre passereaux prairiaux ciblés dans le projet à savoir le Tarier des prés *Saxicola rubetra*, le Bruant des roseaux *Emberiza schoeniclus*, le Bruant proyer *Miliaria calandra* et la Bergeronnette printannière *Motacilla flava*. Bien que ces données soient intéressantes par elle-mêmes, elles sont difficiles à compiler dans l’objectif d’une modélisation d’habitat. Plus concrètement, ce recensement fait ressortir la fragmentation de l’information et la difficulté à obtenir une image de la distribution et de l’état des populations d’oiseaux prairiaux à l’échelle de la zone d’étude (Figure 13).

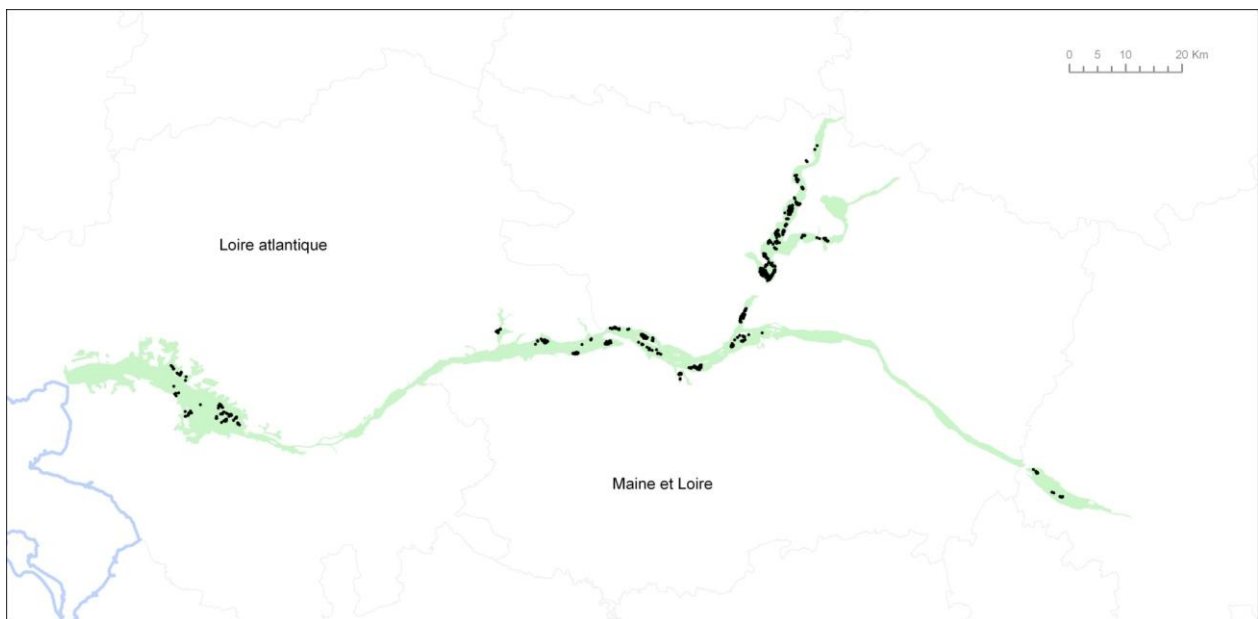


Figure 13 : Zone d’étude et localisation des observations des 4 espèces de passereaux prairiaux.

Pour ce qui concerne plus spécifiquement le Rôle des genêts, la dernière espèce initialement considérée dans le projet, il ne nous a pas été possible de rassembler les localisations historiques et actuelles sur l’ensemble de la zone d’étude. Les données ont été rendues disponibles pour le Maine-et-Loire et la basse vallée de la Vienne grâce à la collaboration de la LPO Anjou et du CPIE Val de Loire. Les données de Loire Atlantique devraient être disponibles à termes mais n’ont pu être collectées dans le temps du projet.

Au vu de la disparité des méthodes employées, de l’absence de couverture de certaines zones et des délais variables d’accès aux données, il a été décidé de réaliser un

échantillonnage homogène sur l'ensemble de la zone d'étude afin de produire un jeu de données utilisable pour l'analyse. La suite du rapport rend compte de l'exécution des phases 2 à 4. La partie suivante analysera les résultats obtenus. La dernière partie discutera des perspectives de cette étude.

Tableau 14 : Acteurs impliqués dans les suivis de l'avifaune prairiale sur la zone d'étude

Acteur	Méthode	Zone d'étude
ONCFS	IPA modifié	BVA, entre Angers et Ancenis, sud estuaire
LPO 49	Quadrats	BVA
LPO 44	Observations	Nord estuaire
CPIE Val de Loire	IPA	Basse vallée de la Vienne

Méthodes

Stratégie d'échantillonnage de l'avifaune

Deux méthodes d'échantillonnage ont été utilisées. La première a consisté à enregistrer et localiser systématiquement toutes les observations des espèces. L'ensemble des zones favorables ont été visitées pendant les périodes de reproduction 2009 et 2010. Au total 879 points de présence ont été relevés : 424 Tariers des prés, 198 Bergeronnettes printanières, 113 Bruants proyers et 144 Bruants des roseaux (Figure 13). Ce sont ces données qui ont été utilisées pour la modélisation d'habitat. Parallèlement, 73 transects de 500 m ont été positionnés sur la zone d'étude (Fig. 14). Contrairement, à la première méthode, les transects permettent de dénombrer l'abondance des individus présents sur une zone. Cette variable est importante car elle nous a permis de valider le modèle mais aussi de tester la relation entre l'abondance et la structure de végétation des prairies.

Modélisation de la distribution des espèces

Les méthodes de modélisation d'habitat nécessitent l'utilisation de couches environnementales. L'information doit être renseignée sur chaque pixel de la zone d'étude. Nous avons sélectionné des variables rendant compte de la capacité d'une zone à retenir l'eau et de son climat. Ces variables sont susceptibles d'influencer la distribution des espèces en plaine inondable. Nous avons ainsi calculé l'indice topographique d'humidité TWI (Beven & Kirby 1978) pour l'ensemble de la zone à partir de la BD Alti© à 250 m de l'IGN. L'indice estime la capacité de rétention d'eau d'un pixel en fonction de l'élévation et l'orientation de la pente des pixels voisins. Nous avons utilisé une nouvelle version de cet indice plus réaliste quant à la distribution des flux d'eau (Seibert & McGlynn 2007). Nous avons également construit plusieurs couches climatologiques correspondant aux conditions moyennes sur la période 1980-2009 à partir de données de 18 stations météorologiques

MétéoFrance pour la pluviométrie et de 14 stations pour les températures. Les couches ont été construites par krigeage et correction des variations altitudinales de température. Les couches ont été réalisées à partir de rasters dont chaque pixel mesure 250 m de côté.

La méthode de modélisation MAXENT (Phillips et al. 2004) a été sélectionnée car elle utilise des données de présence seule et est considérée actuellement comme une des plus performantes parmi les méthodes disponibles (Hernandez et al 2006). Son fonctionnement général est de trouver la combinaison de variables environnementales la meilleure statistiquement qui rende compte des localisations des oiseaux sur le terrain. On détermine ainsi la probabilité d'observer l'espèce sur un pixel donné de la carte. En outre, la contribution de chaque variable peut être évaluée. Nous avons testé la corrélation entre les probabilités du modèle et l'abondance observée sur les transect afin de réaliser une validation croisée des sorties du modèle.

Structure de la végétation et ressource trophique

Les modèles d'habitat utilisés ne permettent pas d'intégrer l'influence de facteurs locaux car il est généralement impossible d'obtenir l'information sur tous les pixels de la zone d'étude. La structure de la végétation et l'abondance de la ressource trophique comptent parmi ces variables. Nous avons ainsi collecté des données sur la structure de la végétation en 2009 et 2010. Nous avons considéré séparément les graminées et les autres plantes de la strate herbacée. Nous avons mesuré la hauteur et le recouvrement de ces deux catégories sur l'ensemble des transects. Dix points espacés de 50 m ont été relevés par transect de façon à estimer la moyenne et l'écart-type de ces variables. L'écart-type est un indicateur de l'hétérogénéité structurelle du milieu.

Nous avons également testé une méthode d'estimation de l'abondance des invertébrés, une ressource essentielle pour des oiseaux insectivores en période de reproduction. Cette étude pilote doit permettre de mettre au point un protocole efficace pour les études ultérieures sur les oiseaux prairiaux. Nous avons effectué 3 prélèvements correspondant à trois sections de 10 m le long desquelles nous avons collecté les invertébrés par 15 passages de filet-fauchoir. Les invertébrés ont été identifiés jusqu'à l'ordre. Au total, l'étude de la ressource trophique a été réalisée sur 18 des 73 transects.

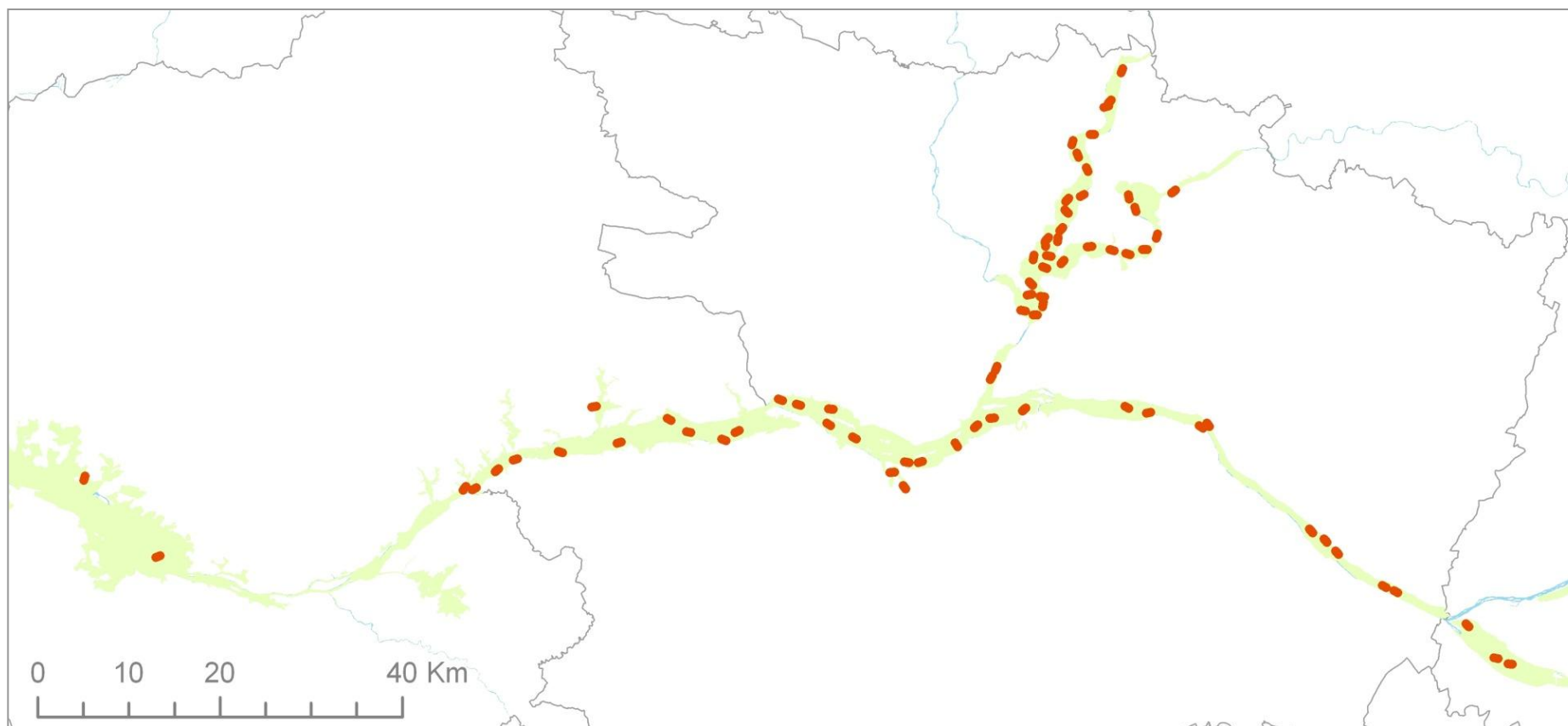


Figure 14 : Localisation des transects utilisés pour estimer l'abondance des oiseaux prairiaux

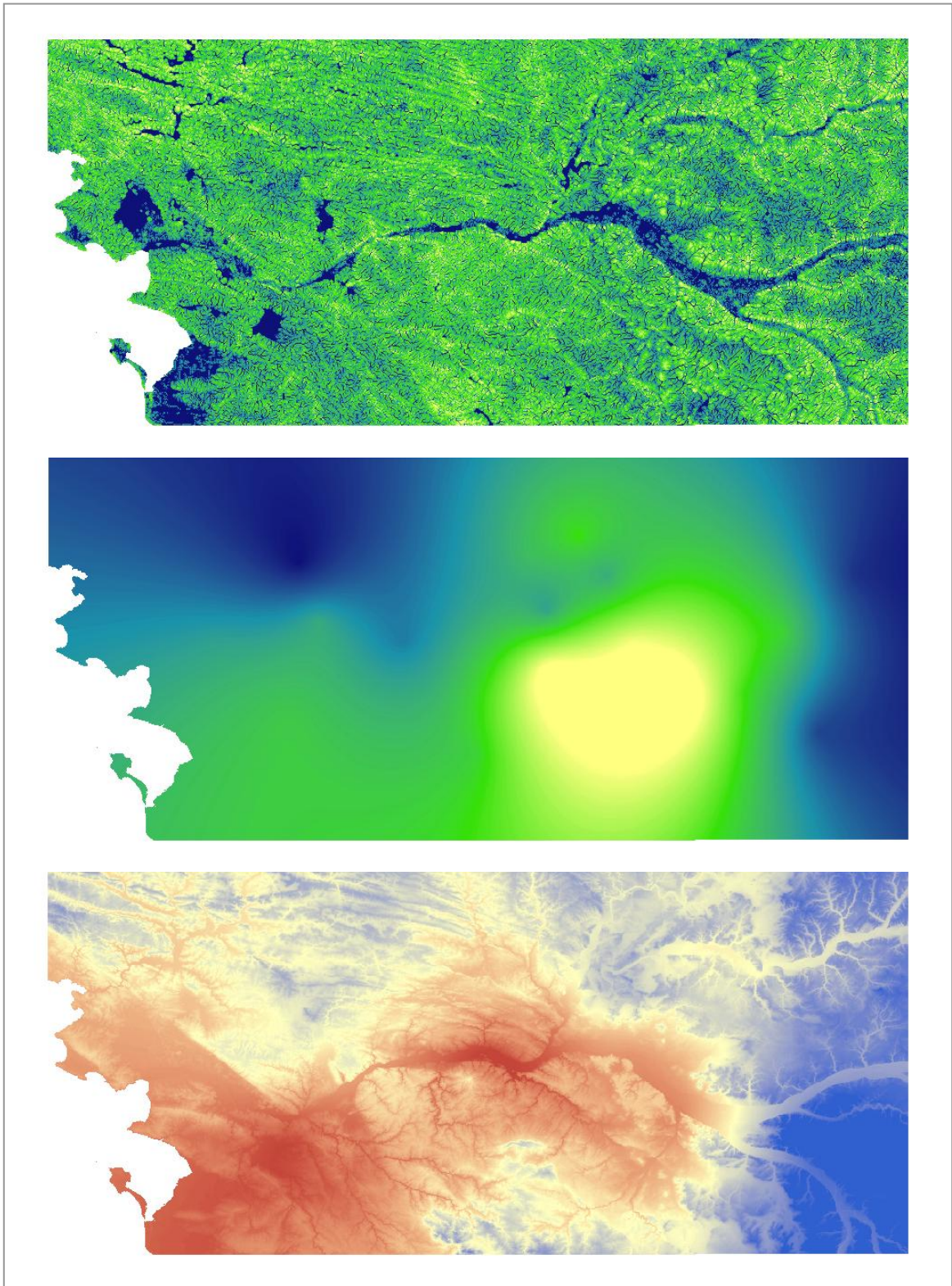


Figure 15 : Couches environnementales utilisées dans la modélisation d'habitat. (haut TWI, milieu précipitation juin, température moyenne de juin)

Résultats

Modélisation d'habitat

La Figure 15 illustre les couches environnementales qui ont été utilisées pour réaliser la modélisation d'habitat. La zone considérée est un rectangle qui entoure la zone d'étude à proprement parler. Cela résulte d'une part d'une contrainte pour la construction de ces couches mais également de la volonté de réaliser une cartographie plus large qui permette d'identifier un réseau de zones d'intérêt pour l'avifaune.

Un modèle de distribution a été réalisé pour chacune des espèces de passereaux (Figure 16). Il représente pour chaque pixel de la zone d'étude la probabilité d'observer une espèce donnée. Toutes les cartes ont un point commun. La probabilité est la plus forte pour les 4 espèces dans les basses vallées angevines et la partie en aval d'Angers jusqu'à Ancenis. Les marais de l'Erdre constituent une autre zone de forte probabilité d'accueil potentiel de l'avifaune. Plusieurs zones secondaires apparaissent de façon plus ou moins nette pour chaque espèce. Il s'agit de la confluence Loire-Vienne, du bassin du Thouet, de l'estuaire et du marais breton. La section entre Saumur (confluence Loire-Thouet) et Angers apparaît largement défavorable à l'avifaune. De fait, nous n'y avons observé aucun oiseau. Il est à noter que ces cartes représentent des potentiels d'accueil qui sont fonction des seules variables climatiques et topographiques entrées dans les modèles. Elles ne tiennent pas compte de l'occupation du sol réalisée sur chacun de ces espaces. Des zones potentiellement favorables peuvent ne pas l'être si des zones en culture ou urbanisées sont présentes.

Toutefois, cette cartographie permet de hiérarchiser rapidement les zones d'accueil et les zones défavorables et donc les continuités écologiques. La visualisation est plus claire lorsque l'on considère les Figures 17 & 18. Les résultats des 4 modèles de distributions ont été compilés de façon à réaliser une carte prédictive du nombre d'espèces d'oiseaux prairiaux attendus. On a considéré dans cette analyse que le milieu était d'intérêt si la probabilité de présence de l'espèce sur un pixel était supérieure ou égale à 50% (Fig. 17) ou 25 % (Fig. 18). On réalise ainsi 4 cartes que l'on peut superposer pour déterminer le nombre d'espèces attendues. Les zones de forte probabilité d'accueil de l'avifaune se détachent plus clairement et indiquent l'intérêt des vallées alluviales autour de l'agglomération angevine.

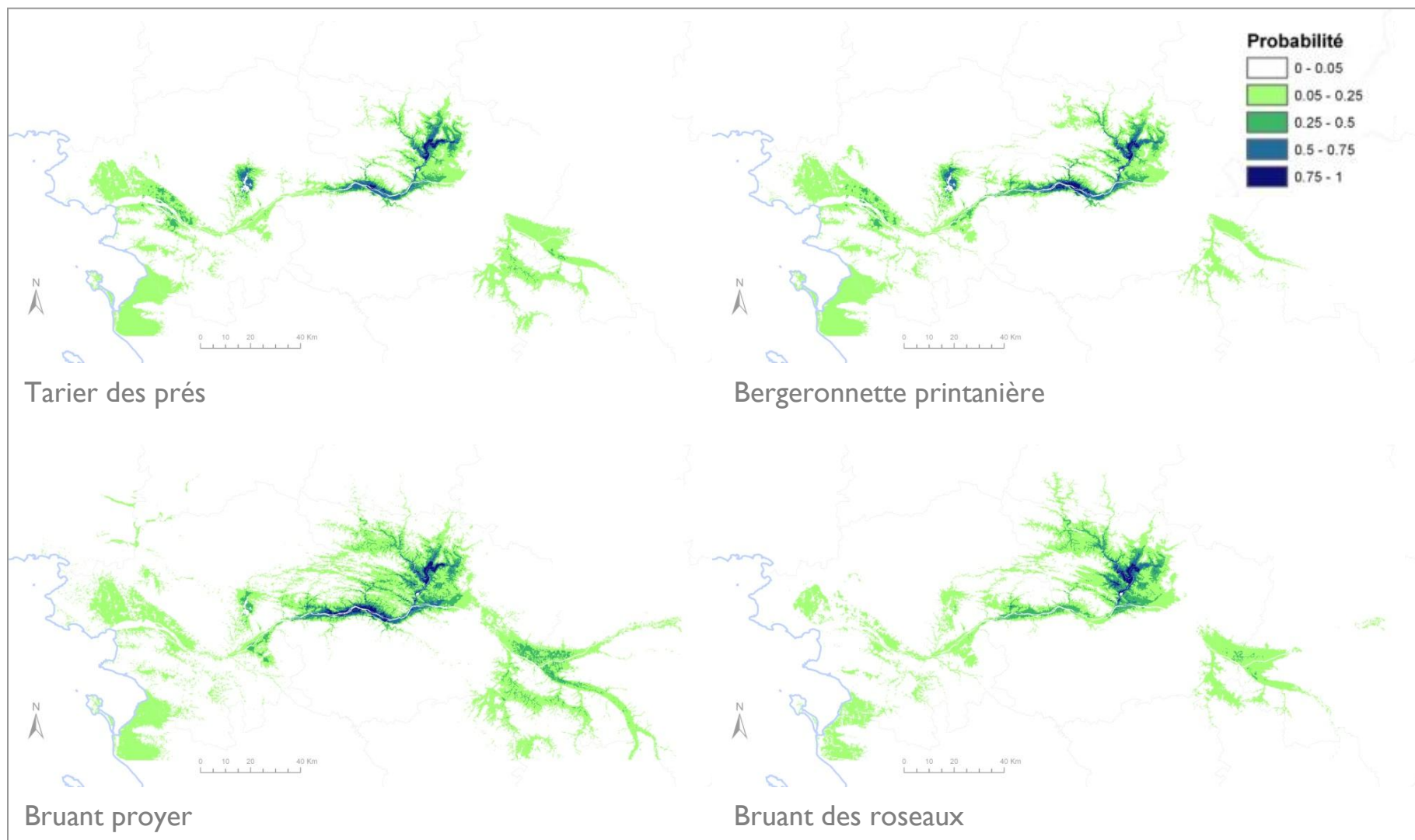


Figure 16 : Cartographie de la probabilité de présence des 4 espèces de passereaux prairiales

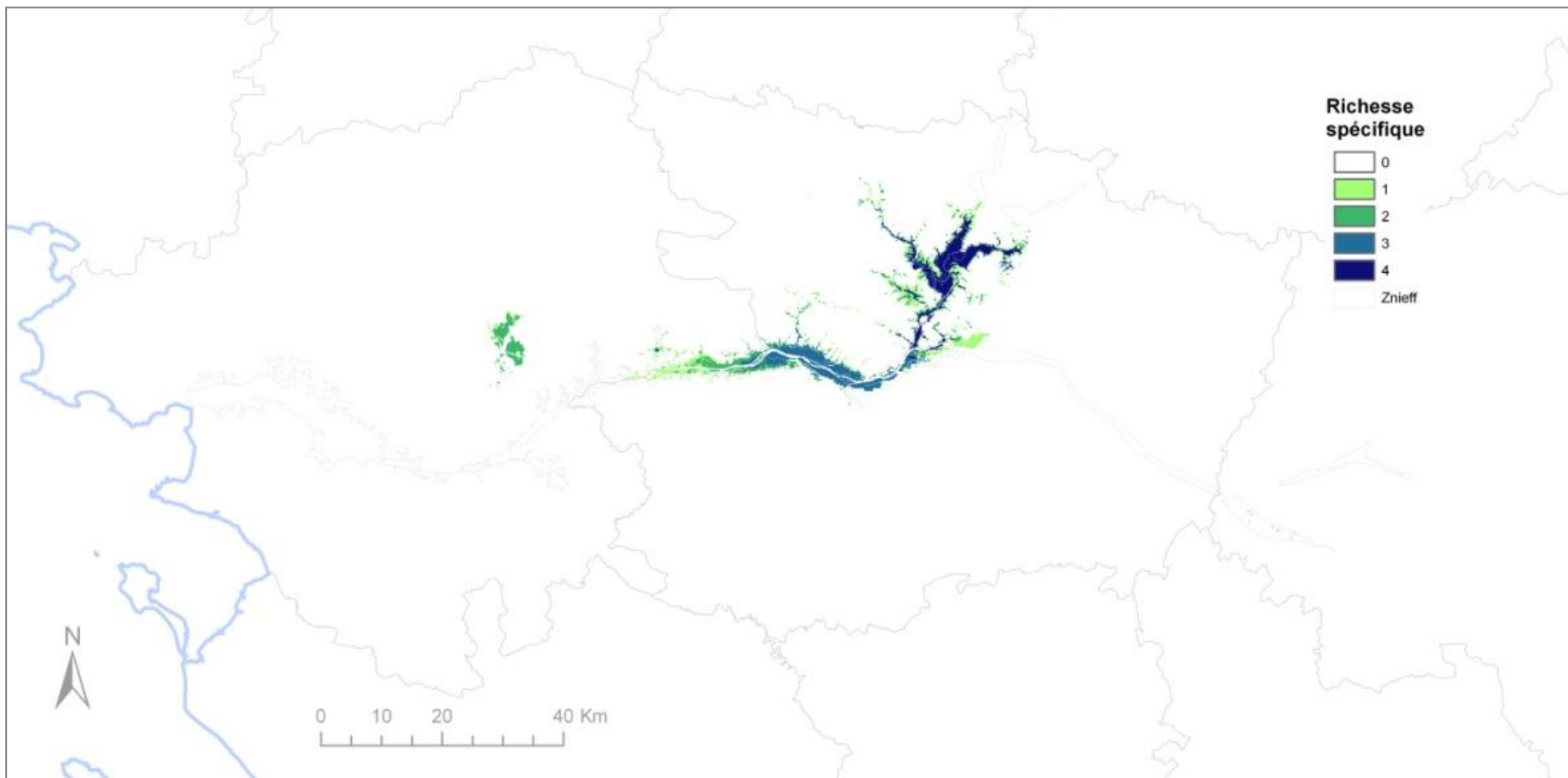


Figure 17 – Richesse spécifique attendue au seuil de 50 %

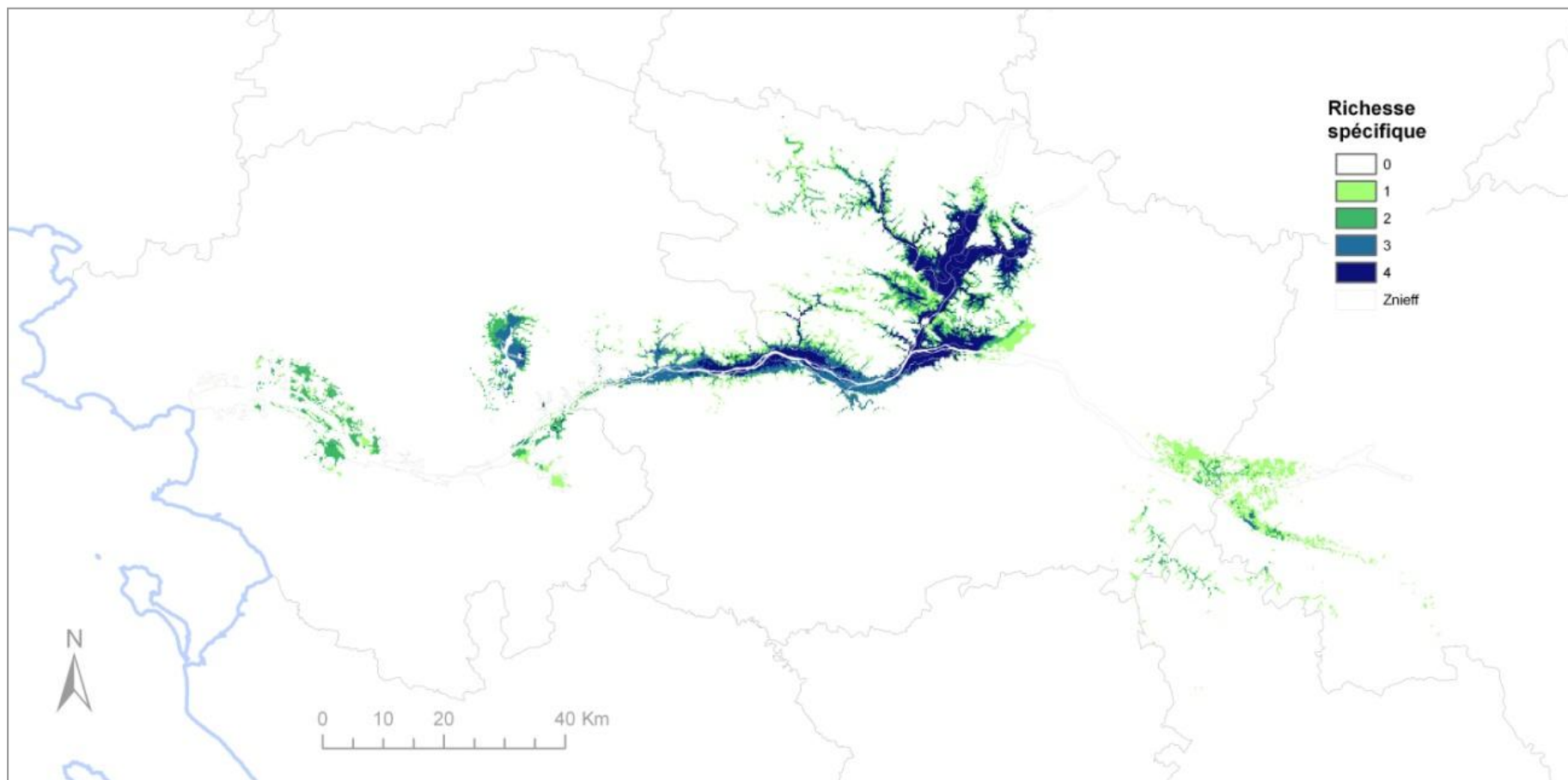


Figure 18 – Richesse spécifique attendue au seuil de 25 %

Les contributions des variables indiquées dans le Tableau 15 font ressortir la valeur prédictive des variables climatiques et du TWI. Les contributions relatives varient selon les espèces. Toutefois, la température du mois de mai apparaît comme un facteur important commun aux 4 passereaux. Les précipitations peuvent également avoir une forte contribution mais le mois varie selon l'espèce.

Tableau 15 : Importance des variables (contribution > 0.10) dans les modèles MAXENT pour les 4 passereaux

Tarier des prés		B. printanière		Bruant proyer		Bruant des roseaux	
variable	contribution	variable	contribution	variable	contribution	variable	contribution
TWI	21	T min mai	15,1	T min mai	20,5	P mars	21,3
T min mai	16,2	T min mars	14,5	TWI	17	T min mai	12,6
P mars	11,3	TWI	12,3	P juin	12	P juin	13,5
		P juin	11,8	T min juin	11,2	T min juin	10,7
		P mars	10,6			TWI	10,5

Les estimateurs de fiabilité des modèles MAXENT sont bons puisque nous obtenons des valeurs d'AUC (aires sous la courbe) supérieure à 0.97. Toutefois, nous avons cherché à estimer la fiabilité de nos modèles en utilisant une deuxième source de données plus représentative de la capacité d'accueil sur le terrain, à savoir les données de richesse et d'abondance observées sur les transects. La Figure 19 montre les relations entre les probabilités de présence de chaque espèces et ces deux variables. Toutes les corrélations sont significatives. Une forte probabilité correspond bien à une forte abondance ou une forte richesse sur le terrain. La distribution des points montre que des écarts entre prédictions et observations sur le terrain existent. Elles sont liées à l'effet d'autres facteurs non considérés dans les modélisations. Il faut bien se rappeler que seules des variables climatiques et topographiques ont été entrées dans ce modèle.

Influence de la structure de la végétation et de la ressource trophique

Les données indiquent des relations entre végétation et avifaune variables selon les années (Figure 20). Ce résultat est probablement en rapport avec la diminution de l'abondance de l'avifaune en 2010 par rapport à 2009. La première année nous avons observé une relation négative entre le recouvrement en graminées et l'abondance des oiseaux mais pas en 2010. La relation avec la hauteur des herbacées est à l'inverse plus forte en 2010. A noter toutefois que cette relation dépend fortement de l'espèce majoritaire le Tarier des prés.

Nous n'avons pas observé de relations entre l'abondance des arthropodes et l'abondance ou la richesse des oiseaux (Figure 21). Toutefois, ce résultat global masque la nature des relations entre les différents groupes d'invertébrés et chaque espèce de passereau. A titre d'exemple, l'abondance du bruant des roseaux est négativement reliée avec l'abondance des hémiptères, alors que le bruant proyer est, lui, positivement relié à l'abondance de ce groupe.

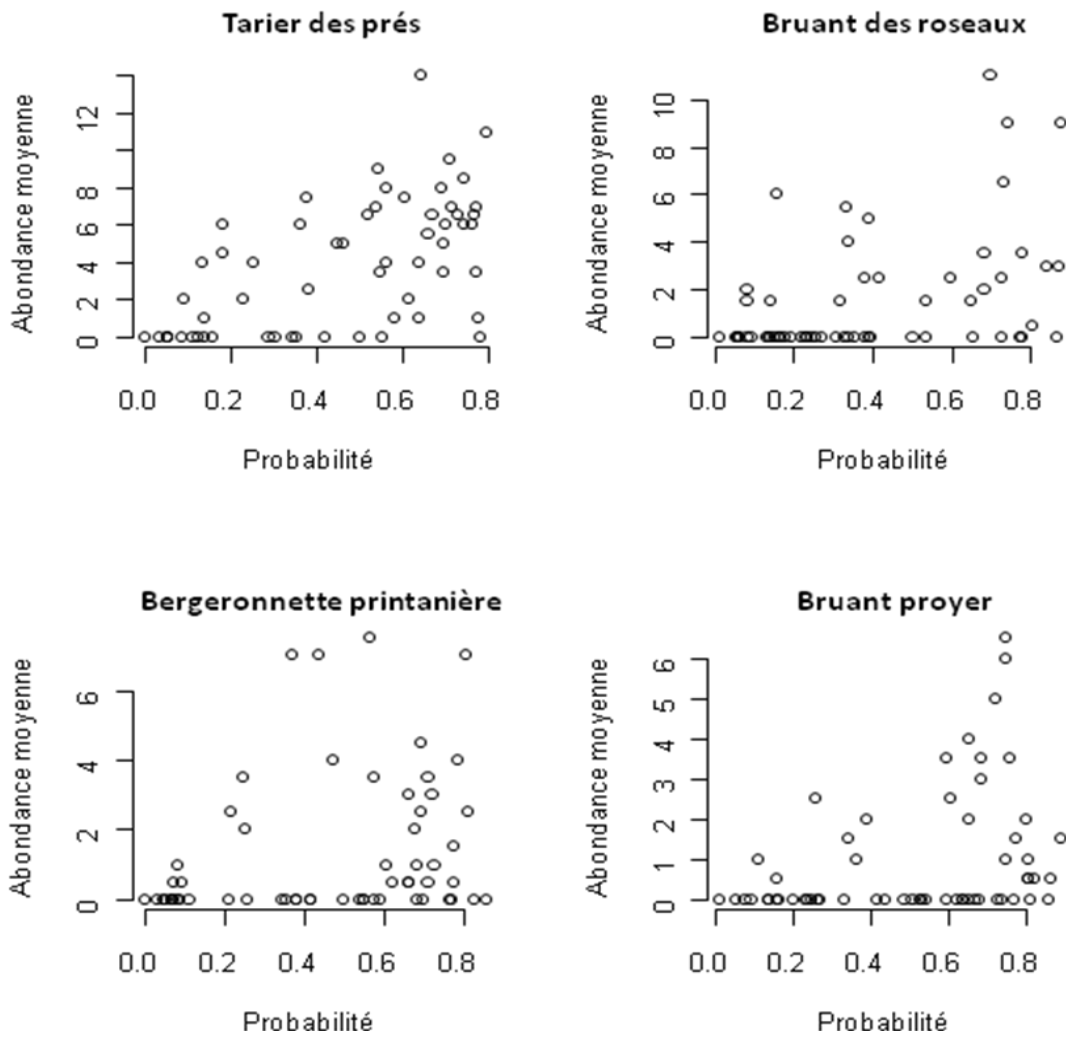
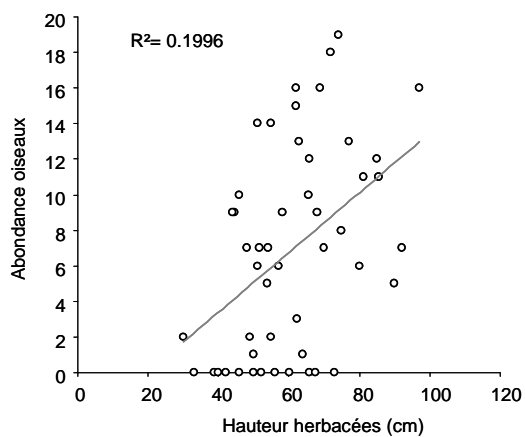
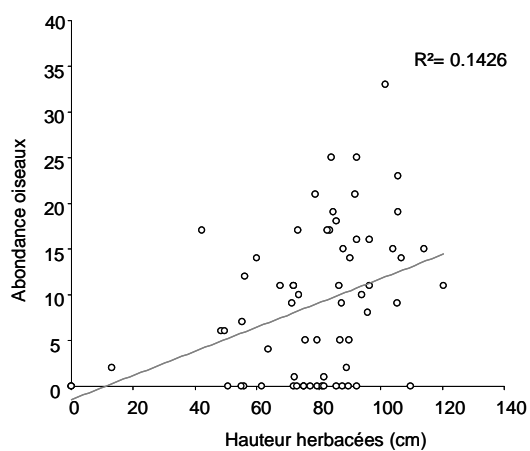
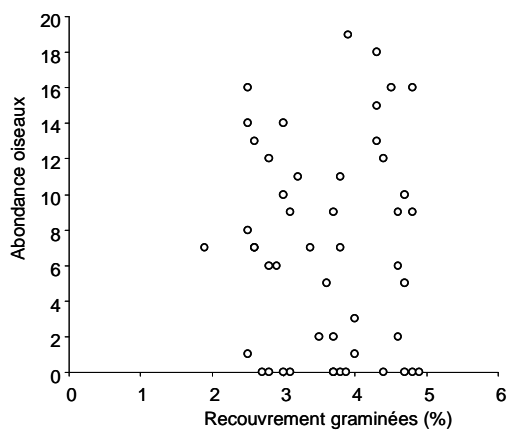
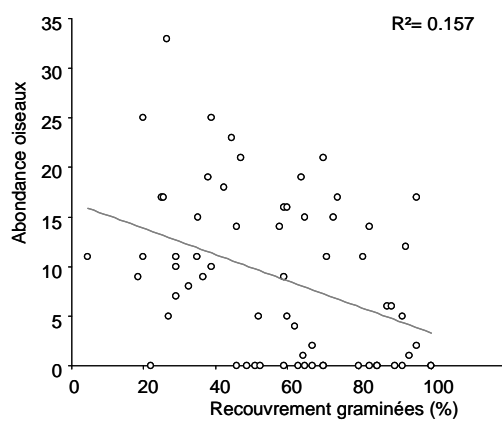


Figure 19 - Relation entre la probabilité d'accueil estimée par MAXENT et l'abondance moyenne des 4 passeaux en 2009 et 2010 sur les transects. Les probabilités indiquent les tests de corrélations de Spearman.



2009

2010

Figure 20 : Relation entre la structure de la végétation (recouvrement en graminées et hauteur en herbacées) et l'abondance des oiseaux. L'étude a été réalisée en 2009 et 2010.

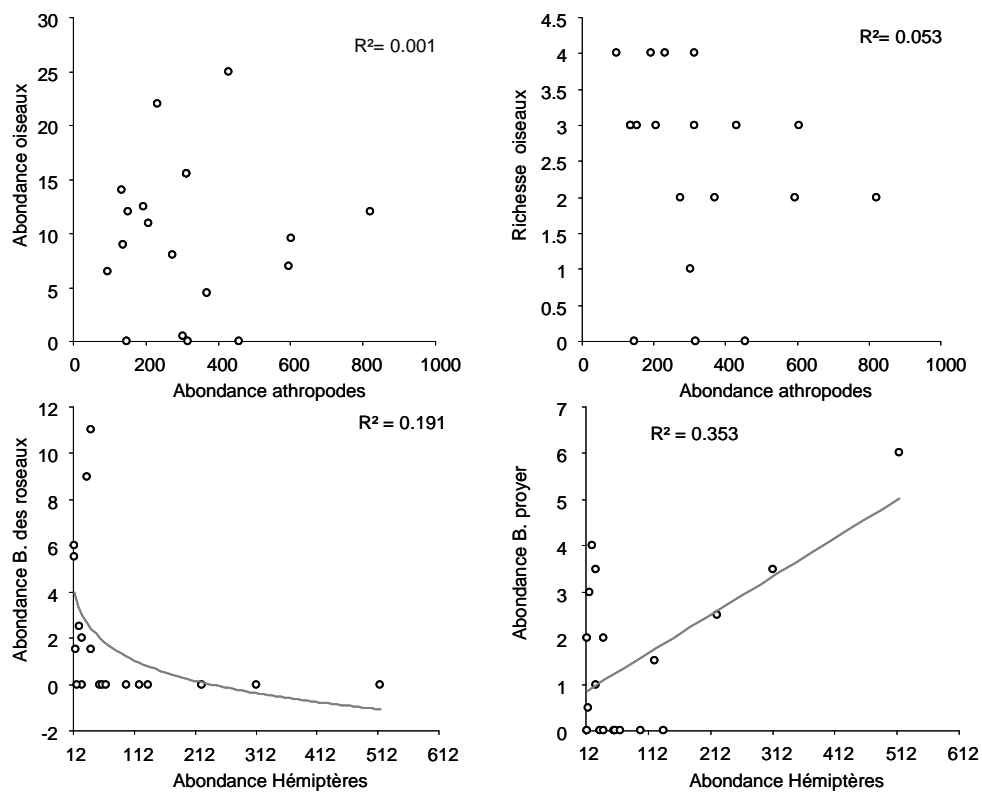


Figure 21 : Relations entre l'abondance des arthropodes et l'abondance des oiseaux en 2010

Discussion et Perspectives

La modélisation de la distribution des oiseaux prairiaux a été réalisée comme prévu dans le projet initial. Les modèles suggèrent que les variables climatiques et topographiques seules donnent une image fidèle de ce que l'on connaît de la distribution de ces espèces sur la région. La robustesse des modèles est confirmée par la deuxième approche qui montre de fortes corrélations entre la probabilité de présence prédite et l'abondance des individus sur le terrain.

Les modèles suggèrent que le climat, malgré sa faible variation à l'échelle de la zone d'étude, peut influencer la distribution des espèces. La capacité de rétention en eau est également importante puisque la richesse et l'abondance des espèces sont corrélées à notre indice topographique d'humidité. Cette capacité ne varie pas fondamentalement avec des changements climatiques tant que la topographie reste stable. Toutefois, une réduction de la quantité d'eau disponible pourrait conduire à un assèchement des zones et à des modifications de l'habitat prairial dont les conséquences pour l'avifaune ne sont pas connues.

Le travail réalisé constitue une base informative. Elle est toutefois encore insuffisante pour évaluer l'impact réel des changements climatiques. Le jeu de variables utilisé pour construire les modèles est relativement simple. A titre d'exemple, l'occupation du sol et le fonctionnement hydrologique du milieu ne sont pas considérés. Cela était impossible dans le cadre d'un projet où l'ensemble des jeux de données ont dû être construits.

En perspective à ce travail, il apparaît utile d'affiner les modèles de distribution. Un point essentiel est de quantifier la contribution relative des variables climatiques, ou sous dépendances climatiques, par rapport à d'autres variables telles que des variables anthropiques pour évaluer quelle dynamique détermine prioritairement l'évolution des habitats et du peuplement d'oiseaux prairiaux.

Un handicap important est la possibilité d'évaluer la submersibilité ou l'inondabilité des sites. Les modèles hydrologiques sont très performants pour modéliser les débits mais ils ne peuvent aisément modéliser l'inondabilité, c'est-à-dire déterminer les surfaces d'expansion de crue et le régime d'inondation (durée, hauteur de la colonne d'eau), sur de grandes zones d'études. Ces variables sont importantes car on s'attend à ce qu'elles conditionnent la composition floristique et la structure de la végétation d'une part, et le type d'activité humaine d'autre part. Des approches indirectes basées sur la caractérisation des peuplements végétaux en fonction de leur sensibilité à l'immersibilité semblent à privilégier car eux seuls peuvent intégrer le régime d'inondation à long terme.

De façon cohérente, l'ensemble des modèles montre l'intérêt écologique pour les oiseaux prairiaux des vallées alluviales entourant l'agglomération d'Angers. L'étude révèle également d'autres zones d'intérêt (marais de l'Erdre, marais de Goulaine) qui possèdent un fort potentiel d'accueil des oiseaux. Celles-ci n'ont pas été prospectées pendant le projet mais le seront prochainement. Ces données même préliminaires sont utiles car elles peuvent être examinées et approfondies ultérieurement dans le cadre de réflexions sur les trames écologiques à l'échelle régionale.

Par ailleurs, les données issues des transects indiquent un effet de la structure de la végétation sur le peuplement d'oiseaux. Cet effet varie avec les années, ce qui peut s'expliquer par la diminution des effectifs d'oiseaux en 2010. Certains sites n'ont probablement pas été saturés la seconde année. Les variations climatiques et hydrologiques inter-annuelles peuvent également contribuer à cette variation en affectant la sélection d'habitat à l'année n ou le nombre d'individus recrutés dans la population à l'année $n+1$. Pour rappel, l'année 2010 a été une année mauvaise en termes de récolte de foin alors que 2009 a plutôt été une bonne année. Un suivi sur quelques années est à même de déterminer les relations moyennes entre oiseau et végétation. Les relations entre structure de végétation et présence des espèces sont à affiner pour mieux évaluer la capacité d'accueil des différents ensembles prairiaux mais également les zones sélectionnées préférentiellement à l'intérieur de ces derniers.

Nous n'avons pas observé de relations générales entre invertébrés et oiseaux. Cela peut être une conséquence de la taille relativement réduite de l'échantillon ($n=18$) dans cette étude pilote. Toutefois, il apparaît clairement que chaque espèce présente une réponse différente à chaque ordre d'invertébré. Ces réponses sont masquées lorsque l'on considère uniquement l'abondance totale en oiseaux et empêche une analyse globale. En revanche, l'analyse de la ressource trophique doit permettre d'apporter des éléments complémentaires sur la caractérisation de l'habitat pour chacun des passereaux étudiés.

Les modèles de distribution sont fortement cohérents avec les connaissances naturalistes sur la zone. En outre, la concordance entre prédictions du modèle et les abondances observées sur le terrain suggère que nous avons pu identifier un certain nombre de variables ayant un sens écologique pour les espèces. Les variables sélectionnées étaient à dessein des variables climatiques et un proxy hydrologique. Cette étude était la première étape du processus de modélisation. Elle demande à être affinée mais elle pose déjà une base opérationnelle en visualisant les zones d'intérêt majeur. Les développements doivent permettre de déterminer la contribution relative des facteurs climatiques d'autres facteurs plus locaux comme l'occupation du sol.

Les études complémentaires sur la structure de la végétation et la ressource trophique soulignent l'importance des variables locales. Il ressort que l'influence de la structure de la végétation varie dans le temps mais ce n'est pas inattendu dans des milieux où la croissance de la végétation dépend fortement des conditions hydroclimatiques. La structure est en effet d'une année à l'autre en prairie qu'en forêt. En ce qui concerne les invertébrés, des relations se dégagent mais des conclusions sont prématurées. Une analyse sur un échantillon plus important est nécessaire pour tirer des conclusions fiables.

La combinaison des modèles de distribution et de relevés locaux de végétation et de ressources trophiques apparaît donc comme une approche utile pour évaluer les effets des changements climatiques et anthropiques sur l'avifaune prairiale. L'intérêt existe également pour la gestion régionale des milieux. La modélisation permet d'identifier un ensemble de zones d'intérêt en fonction de leur capacité d'accueil potentiel. Les variables locales permettent de hiérarchiser plus finement parmi un ensemble plus réduit de sites.

Ce premier projet trace donc plusieurs pistes d'investigation et d'approfondissement pour le futur. Le développement de ces travaux permettra de mieux évaluer la part relative des différents facteurs influençant les populations d'oiseaux prairiales dans le bassin de la Loire.

V Mise en place d'un protocole d'échantillonnage

Les chapitres précédents ont démontré d'importantes lacunes concernant les connaissances de la sensibilité des habitats et de la faune et flore ligérienne aux effets probables du changement climatique. Pour le cas des oiseaux prairiaux il a également été démontré que la disponibilité simultanée de données climatiques et de données de présence de l'organisme cible peut permettre une modélisation relativement aisée de la répartition cet organisme en fonction des facteurs en question, bien qu'une prédiction des répartitions en fonction des scénarios climatiques futurs n'a pas encore pu être abordée. La mise en place d'un protocole de suivi et d'acquisition de données qui couplent données faune/flore – données température – données d'inondation est donc justifié. Ce dernier chapitre développera les réflexions menées dans le cadre du projet concernant le protocole pour un tel suivi, les dispositifs déjà mis en place ou sur le point de l'être, et il exposera les premiers résultats concernant les profils thermiques spécifiques des principaux habitats naturels présents dans le lit mineur et majeur de la Loire.

Nature des données à collecter en vue d'une modélisation

La biodiversité typiquement ligérienne est fortement liée à la présence d'une mosaïque d'habitats ayant chacun d'espèces caractéristiques ou patrimoniales associées, comme cela a été exposé en détail pour le cas de la flore (chapitre II). La composition en espèces de ces habitats varie le long de la Loire selon un gradient amont-aval (Cornier, 2002). Ceci peut premièrement être dû à des différences climatiques entre l'amont et l'aval du bassin, mais aussi à différents stades de colonisation par des groupes taxonomiques en progression. Il semble donc essentiel de tenir compte du gradient amont-aval dans le protocole de suivi et de travailler à l'échelle de l'habitat. Les réflexions dans le cadre du projet se sont concentrées sur les habitats naturels et les prairies régulièrement soumis à inondation et à leur flore. Les chapitres concernant les macroinvertébrés aquatiques et la végétation démontrent cependant que ces réflexions devraient à terme être élargies sur d'autres groupes taxonomiques et sur les habitats à l'écart du lit mineur, riches en espèces patrimoniales.

Sites et protocole de suivi

Un ensemble de 5 sites distribués le long de la Loire a été choisi pour l'acquisition de données couplées températures – fréquences d'inondation - habitat – végétation. Les habitats concernés sont ceux à proximité immédiate du cours d'eau et donc ceux les plus directement touchés par des modifications du régime hydrologique. Ces habitats sont :

- les annexes hydrauliques en eau
- les grèves basses
- les grèves hautes avec pelouses à Sedums
- les forêts de bois tendre
- les forêts de bois dur
- les prairies inondables (présents uniquement sur la Loire aval)

Ces sites ont été choisis en lien avec le découpage en tronçons géomorphologique de la Loire selon Malavoi (2002), afin de prendre en compte le gradient amont-aval de la Loire. Chaque tronçon devait accueillir un site de suivi (Tab. 16). Sur chacun de ces sites, une série d'habitats, si possible situés sur un transect ou spatialement proches, doit accueillir un enregistreur de température étanche (modèle HOBO Pendant Temp/Alarm 64k) et être suivi annuellement pour sa végétation dominante et les populations d'espèces végétales prioritaires (détail du protocole en annexe 4) et les fréquences durées d'inondation. Des premières données tests ont montré que les périodes d'inondation pouvaient facilement être déduites des enregistrements thermiques (cf. ci-dessous). Un premier ensemble de 4 sites a été équipé d'enregistreurs de température en été et à l'automne 2010, les autres suivront au printemps 2011.

Premiers résultats : calage thermique des habitats par rapport aux stations météo de référence

Une première série d'enregistrements de température pour différents types d'habitats est disponible pour trois des sites de suivi : Le site de l'Écopôle du Forez (segment I.2, Loire supérieure), le site île de Mareau (RN St. Mesmin, segment III.5, Loire moyenne) et le site Bréhémont (tronçon III.6 Loire moyenne). Ils couvrent, selon le site, les périodes estivales et/ou automnales de 2010 et concernent l'ensemble des habitats à suivre, à l'exception des prairies inondables (Tab. 16). Les enregistreurs installés sur les autres sites et habitats n'étaient pas accessibles en fin de période d'observation à cause de niveaux d'eau trop élevés. Sur le site de Bréhémont, les enregistreurs installés sur l'habitat « grèves » et l'habitat « pelouse à Sedums » ainsi qu'en annexe hydraulique avaient été dérobés.

Caractérisation des conditions thermiques des différents habitats

Deux fenêtres de conditions thermiques ont été distinguées : une fenêtre estivale pendant laquelle les températures maximales journalières de la station météorologique de référence étaient supérieures à 20°C et les températures minimales journalières généralement supérieures à 10°C, et une fenêtre automnale, où les températures maximales journalières étaient inférieures à 20°C et les températures minimales journalières généralement inférieures à 10°C (Fig. 22). La date du 12 septembre a été considérée comme la fin de la fenêtre estivale, la date du 10 octobre comme le début de la fenêtre. La période entre les deux dates montre des caractéristiques transitoires.

De manière générale, le niveau des températures journalières ainsi que les amplitudes absolues sont similaires pour les stations météorologiques de référence et pour les habitats de la forêt alluviale (forêt de bois tendre et forêt de bois dur, Tabs 17 & 18). Les températures varient typiquement pendant une journée d'été entre 12 et 24°C et pendant une journée d'automne entre 5 et 15°C (moyennes des températures maximales et minimales journalières). Les grèves se distinguent par une plus grande variabilité des températures (Fig. 23)

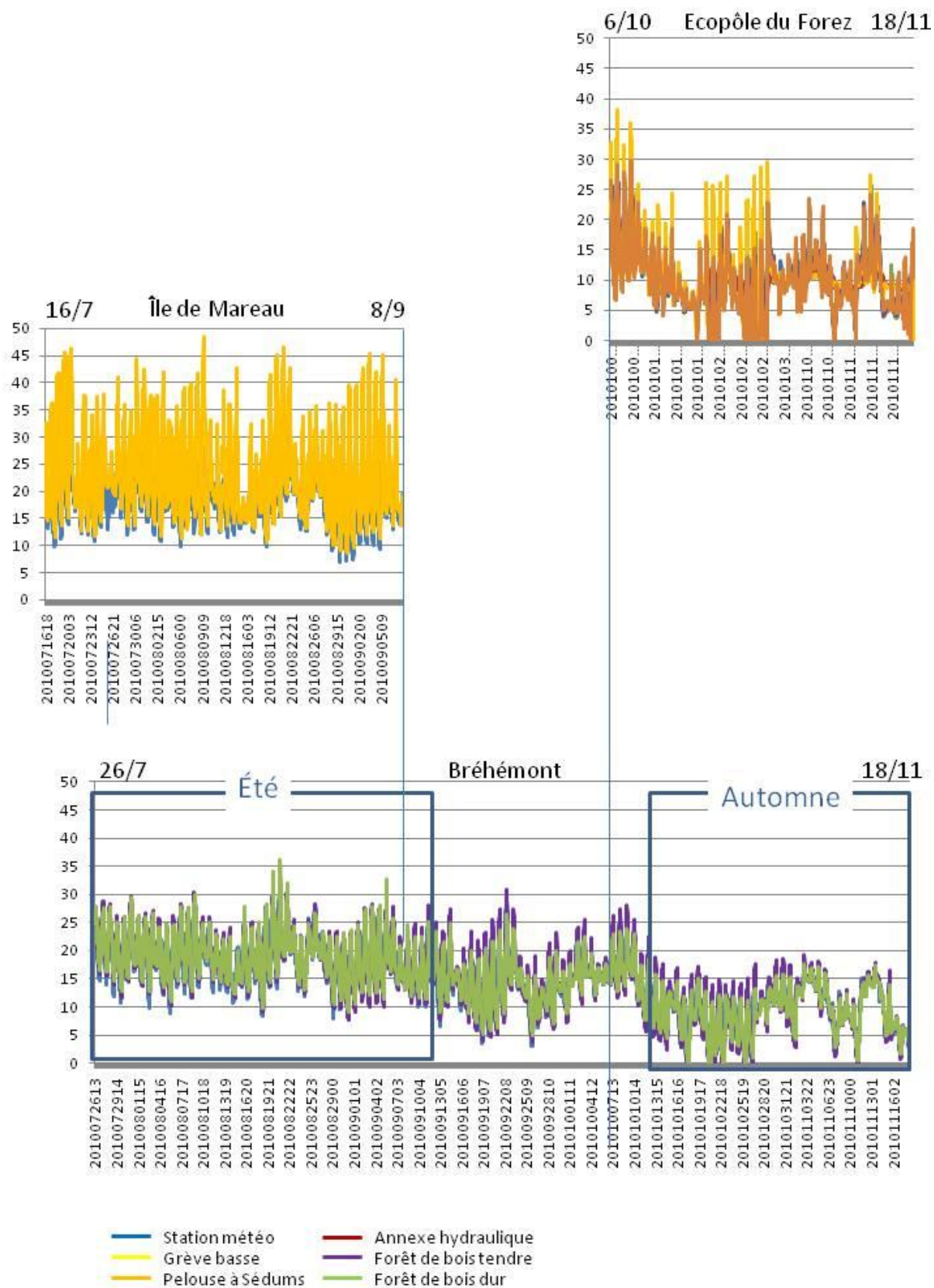


Fig. 22 : Courbes des températures dans des différents habitats et sites suivis en été/automne 2010

Tableau 16 : Sites de suivi sélectionnés et dates d'installation des enregistreurs de température.

Site	gestionnaire/personne contact	station météo de référence	Habitats à suivre (date d'installation des enregistreurs de température)						
			annexes	grèves	bois tendre	bois dur	pelouses à <i>Sedums</i>	prairies inondables	
Secteur I : Loire supérieure									
Unité 1 (169 km) : Sources au barrage de Grangent	/								
Unité 2 (82 km) : Barrage Grangent – barrage Villarest	Ecopôle du Forez (Chambéon, amont Villarest)	FRAPNA / André Ulmer	Feurs (42)	19/10/2010	06/10/2010	06/10/2010	06/10/2010	06/10/2010	non présent
Secteur II : Loire amont									
Unité 3 (192 km) : Villarest – bec d'Allier	<i>Conservatoire des sites de l'Allier ? (à confirmer)</i>			printemps 2011 ?	printemps 2011 ?	printemps 2011 ?	printemps 2011 ?	printemps 2011 ?	
Secteur III : Loire moyenne									
Unité 4 : (81 km) : Bec d'Allier – Bonny-sur-Loire	RN Val de Loire (Pouilly sur Loire, 58)	Conservatoire des Sites naturels bourguignons & Conservatoire du Patrimoine naturel de la région Centre / Nicolas Pointecouteau	Pouilly sur Loire (58)	août-2010	août-2010	août-2010	août-2010	août-2010	non présent
Unité 5 (166 km) : Bonny – confluence du Beuvron	RN St Mesmin (4 km aval Orléans, 45)	Loiret Nature Environnement / Michel Chantereau	Orléans Bricy (45)	printemps 2011	16/07/2010	16/07/2010	16/07/2010	printemps 2011	non présent
Unité 6 (152 km) : Confluence Beuvron – Les-Ponts-de-Cé	Bréhémont (37)	Domaine public fluvial / Sabine Greulich (Université de Tours)	Ingrandes (37)	26/07/2010	26/07/2010	26/07/2010	26/07/2010	26/07/2010	non présent
Secteur IV : Loire aval									
Unité 7 (102 km) : Ponts-de-Cé – Couëron (aval de Nantes)	Prairie Bruneau (Champtocé sur Loire = aval Angers, 49) ; à confirmer ; + une dizaine d'autres sites	Jean Secondi (Université d'Angers) & Denis Lafage (CORELA)		printemps 2011	printemps 2011	printemps 2011	printemps 2011		printemps 2011
Unité 8 (35 km) : Couëron – Saint Nazaire, l'estuaire									

Tab 17 & 18) et des températures maximales plus élevées en été, typiquement supérieures à 35°C (valeur maximale atteinte à Mareau : 48,6°C). A l'inverse, l'annexe hydraulique suivie dans l'étude se distingue des autres habitats par une relative sténothermie autour de 10°C (fenêtre automnale). La seule pelouse présente dans le jeu de données montre une variabilité thermique moins prononcée que la grève, malgré le fait qu'il s'agit également d'un habitat ouvert, à végétation rase. Il est cependant possible que l'enregistreur, dû à son emplacement sur une berge en forte pente, ait reçu temporairement de l'ombre par les niveaux topographiques plus élevés de la berge.

A un pas de temps horaire, il a été possible de démontrer des corrélations positives entre les températures des stations météorologiques de référence et les habitats (Fig. 24). Ces corrélations sont les plus fortes pour les habitats de forêt alluviale et la pelouse à Sedums (coefficients de corrélation compris entre 0,83 et 0,88), plus faibles pour le cas des grèves (R^2 0,61 et 0,79), et très faibles pour le cas de l'annexe hydraulique ($R^2 = 0,27$). Il est à noter que pour le cas des grèves, la relation entre températures de la station météorologique de référence et les températures sur la grève est exponentielle, au moins pour la fenêtre estivale avec ses températures très élevées, et non pas linéaire comme dans les autres habitats.

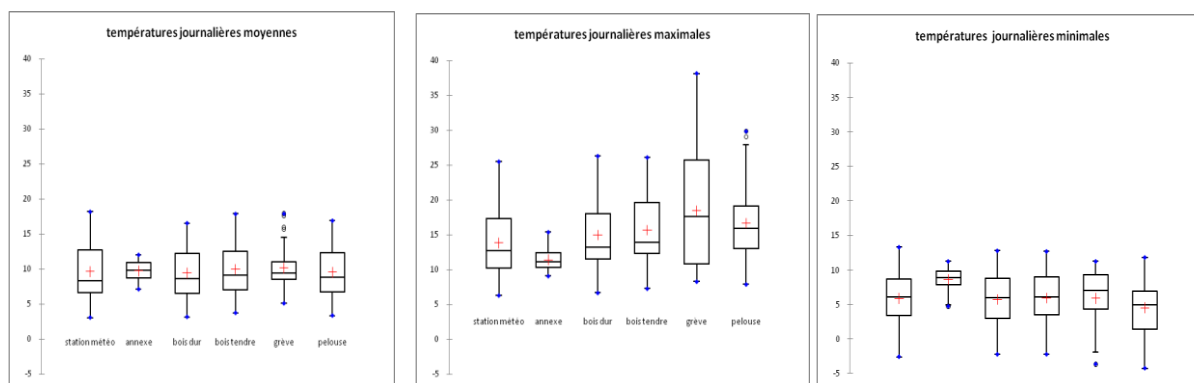


Fig. 23 : Moyennes des températures journalière moyennes, maximales et minimales dans les différents habitats à l'écopôle du Forez et à la station météorologique de référence (Feurs) en automne (44 observations, du 6/10 au 18/11/2010, sauf annexe (31 observations, du 19/10 au 18/11/2010)).

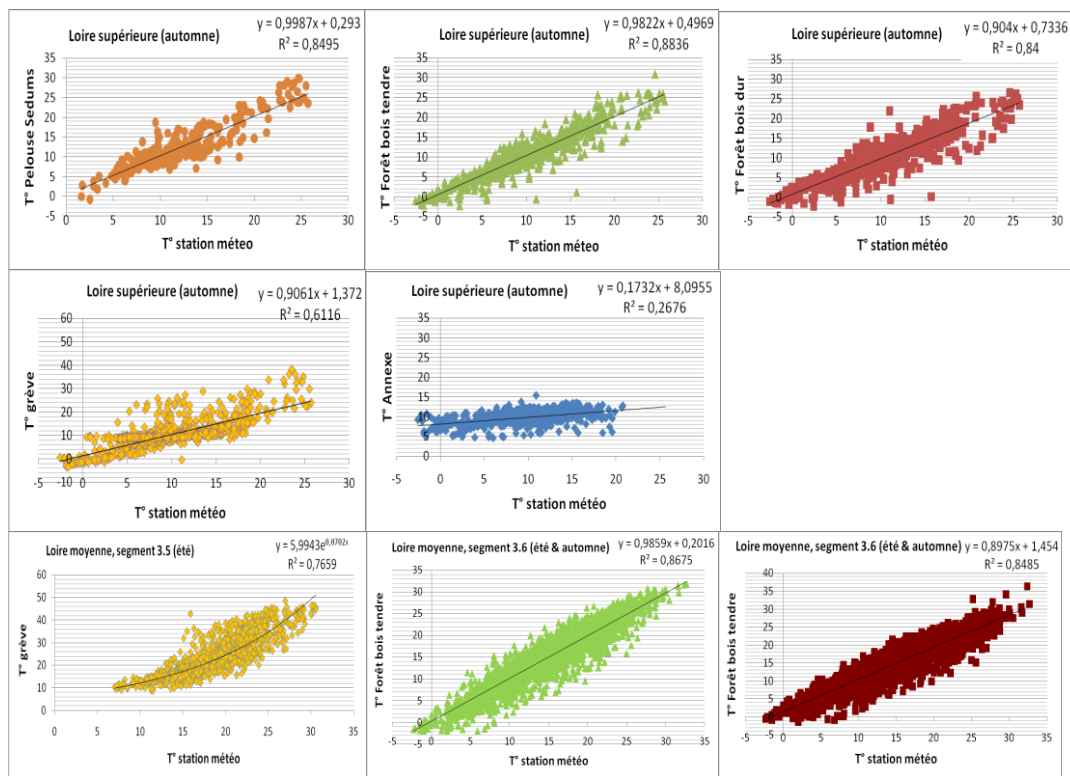


Fig. 24 : Corrélations entre les températures des stations météorologiques de référence et les températures des différents habitats.

Tab. 17 : Températures journalières moyennes minimales et maximales et amplitude thermique absolue dans les différents habitats et dans les stations météorologiques de référence durant l'été 2010. En italique : écart types.

Site	Habitat	Tmoy	Tmin	Tmax	Amplitude
Ile Mareau	station météo	18,42	12,63	23,92	[7,0 30,6]
		<i>2,26</i>	<i>2,63</i>	<i>2,97</i>	
	grève	23,34	14,07	37,67	[8,7 48,6]
		<i>2,78</i>	<i>2,68</i>	<i>5,83</i>	
Bréhémont	station météo	17,19	11,55	23,28	[7,9 32,7]
		<i>3,17</i>	<i>3,38</i>	<i>3,92</i>	
	bois tendre	17,22	11,65	24,64	[7,7 31,8]
		<i>3,06</i>	<i>3,58</i>	<i>3,62</i>	
	bois dur	17,19	12,53	23,43	[9,2 36,3]
		<i>3,11</i>	<i>3,27</i>	<i>4,42</i>	

Tab. 18 : Températures journalières moyennes minimales et maximales et amplitude thermique absolue dans les différents habitats et dans les stations météorologiques de référence durant l'automne 2010. En italique : écart types. Prises en compte sont les températures à partir du 10 octobre.

Site	Habitat	Tmoy	Tmin	Tmax	Amplitude
Loire amont	station météo	8,90	5,31	12,86	[-2,6 20,8]
		<i>3,29</i>	<i>4,08</i>	<i>3,85</i>	
	annexe	9,71	8,64	11,39	[4,7 15,4]
		<i>1,30</i>	<i>1,67</i>	<i>1,67</i>	
	bois tendre	9,26	5,43	14,74	[-2,3 25,6]
		<i>3,23</i>	<i>3,91</i>	<i>4,43</i>	
bois dur	8,80	5,25	14,08	[-2,3 25,6]	
	<i>3,19</i>	<i>3,87</i>	<i>4,47</i>		
grève	9,45	5,58	16,98	[-3,7 29,6]	
	<i>2,26</i>	<i>4,35</i>	<i>6,98</i>		
pelouse	8,87	4,08	15,56	[-4,3 24,2]	
	<i>3,13</i>	<i>4,11</i>	<i>4,23</i>		
Loire moyenne	station météo	9,83	5,47	14,74	[-2,3 23,2]
		<i>3,31</i>	<i>4,68</i>	<i>4,24</i>	
	bois tendre	9,65	4,80	16,17	[-2,0 25,5]
<i>3,44</i>		<i>4,79</i>	<i>4,22</i>		
bois dur	9,63	5,83	14,45	[-1,3 22,9]	
	<i>3,35</i>	<i>4,42</i>	<i>4,64</i>		

Conclusion générale du volet « biodiversité »

Cette étude se voulait une première étape dans l'estimation de la vulnérabilité de la biodiversité et des habitats du corridor ligérien face aux conséquences du changement climatique. Elle démontre, pour l'ensemble des groupes taxonomiques considérés, le manque de données liant la présence ou l'abondance des organismes à des données précises de température et de durées d'immersion, ce qui représente une première difficulté pour prédire leurs répartitions futures dans un contexte thermique et hydrologique modifié. Le projet répond à cette difficulté pour une double approche en proposant une stratégie pour acquérir des données nécessaires pour le cas des communautés végétales présentes dans les habitats actuellement les plus exposés à l'impact des immersions y compris par des premières acquisitions de données, et par la proposition d'une liste de taxons (flore et marcoinvertébrés) à étudier prioritairement, car représentant un patrimoine typiquement ligérien ou ayant un impact potentiel fort sur celui-ci. Le projet constitue ainsi le point de départ pour un observatoire de la biodiversité ligérienne, qui sera à étoffer dans le futur. Il conviendra un particulier de faciliter l'observation des durées et fréquences d'immersion par l'installation d'enregistreurs de température supplémentaires (cf. annexe 4) et par la prise en compte davantage de groupes taxonomiques et d'habitats. Il serait par exemple intéressant de suivre spécifiquement les différents types de prairies et de pelouses. En effet, le projet a montré que ces habitats sont toujours bien représentés le long de la Loire, mais que leur surface tend à diminuer et que c'est dans ces habitats que l'on trouve le plus grand nombre d'espèces végétales patrimoniales.

Le projet ouvre la perspective, via les enregistrements de température effectués, de pouvoir établir *a posteriori* certains liens « dynamique de la végétation – températures ». En effet, **les relevés de végétation sont nombreux sur la Loire, tandis que les relevés de températures associés** sont quasi inexistants. Les premières corrélations établies dans le cadre de ce projet entre les températures des stations de référence et les températures enregistrées dans les différents habitats ouvrent la perspective de la reconstitution des températures sur le terrain à partir des archives de Météo France pour les lier à des dynamiques de végétation passées. Cependant, la précision d'une telle reconstitution à partir des formules des régressions (linéaires ou exponentielles selon le cas, cf. chapitre protocole de suivi : premiers résultats) diminue avec des coefficients de corrélations faibles. Cette méthode semble donc davantage adaptée et précise pour la reconstitution des températures au sein de la forêt alluviale que sur des grèves ou dans les annexes hydrauliques, à moins que les corrélations puissent être affinées grâce à des enregistrements thermiques futurs. Une reconstitution analogue entre débits passés et durées d'immersion semble plus difficile car ces durées dépendent de la géomorphologie du tronçon, un paramètre qui peut fortement varier au fil du temps.

La deuxième difficulté pour pouvoir prédire la répartition future des organismes et par conséquent les *patterns* de biodiversité réside dans le fait des imprécisions concernant l'impact du changement climatique sur les habitats naturels ligériens. Ceci concerne en particulier les durées d'immersion des différents habitats. Les travaux de Moatar et al. (2010) suggèrent que le changement climatique se traduira principalement par une diminution des débits estivaux. Cependant, il n'y a pour l'instant pas d'information disponible comment ces modifications du débit affecteront le régime d'immersion des différents habitats péri-fluviaux. Ce sont pourtant ces informations qui sont primordiales pour les organismes de la plaine alluviale.

Références bibliographiques

ADESVV. Sites de référence sur la Loire, Topo-bathymétrie sur le site de Bréhémont (site n°6, en Indre-et-Loire), Etude des habitats et des peuplements de macrofaune benthique sur huit sites. Campagnes 1999, 2000, 2001, 2002 et 2003. DIREN Centre SBLB.

ARALEP, Cemagref, CNRS Lyon, Université Lyon 1, EDF, 2006. Etude thermique globale du Rhône, Phase III.

BACCHI, M., 2000. Structure et dynamique des peuplements macrobenthiques en Loire : impact des facteurs hydrologiques et sédimentaires, Thèse de Doctorat, Université François-Rabelais, Tours, 252 p + annexes.

BACCHI, M., BERTON, J.P., 2001. Contribution à la connaissance du fonctionnement des grands fleuves. Structure et dynamique des peuplements macrobenthiques de la Loire. Analyse des facteurs de micro-distribution. *Hydroécologie Appliquée*, 13 : 85-113

BEVEN K.J., AND KIRKBY M.J. 1978. A physically based, variable contributing area model of BasinHydrology. *Hydrological Sciences* 24. 43-69.

BRANCOTTE, V., VINCENT, T. 2002. L'invasion du réseau hydrographique français par les Mollusques *Corbicula* spp., modalité de colonisation et rôle prépondérant des canaux de navigation. *Bulletin Français de Pisciculture*, 365/366 : 325-337.

BOUDIN, L., CORDIER, J. & MORET, J. 2007. Atlas de la Flore Remarquable du Val de Loire: entre le Bec d'Allier et le Bec de Vienne. Muséum d'Histoire naturelle, Paris. Collection patrimoines naturels. 461 pp.

CHOVET, M., 2008. Additions à la faune des Éphémères de France (13) : *Baetopus wartensis* Keffermüller, 1960 (*Ephemeroptera, Baetidae*). *Ephemera*, 9 (2) : 73-78.

CHOVET, M., FONTAINE, J., LECUREUIL, J.Y., 1984. Le genre *Ephemerella* Walsh dans le bassin de la Loire : présence de deux espèces nouvelles pour la France : *E. notata* Eaton et *E. mesoleuca* Brauer (Epheméroptères ; *Ephemerellidae*). Proc. IVth Intern. Confer. Ephemeroptera, 117-126.

CHOVET, M., LECUREUIL, J.-Y. 1999. Les Éphémères de la région Centre (France). *Ephemera*, 1 (2) : 131-142.

CHOVET, M., LECUREUIL, J.Y. 2000. Additions à la faune des Éphémères de France (7) : *Oligoneuriella pallida* (Hagen, 1855) (*Ephemeroptera, Oligoneuriidae*). *Ephemera*, 2 (2) : 125-130.

CHOVET, M. & LECUREUIL, J.Y., 2008. Les macroinvertébrés benthiques de la Loire moyenne (France) et leur évolution depuis 1977. *Ephemera*, 10 (2) : 103-122.

CHOVET, M., LE DOARE, J., BRULIN, M., 2007. Additions à la faune des Éphémères de France (12) : *Labiobaetis tricolor* (Tshernova, 1928) (*Ephemeroptera, Baetidae*). *Ephemera*, 8 (2) : 83-85.

- CORNIER T., 2002. La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou : essai de modélisation de l'hydrosystème. *Thèse Université François Rabelais de Tours*. 229p + ann.
- DAGORNE, D. 1995. Plan Loire Grandeur Nature, Chantier expérimental de Oudon " Etat initial". Rapport MST IMACOF Université François-Rabelais, Tours.
- DAUFRESNE, M., ROGER, C., CAPRA, H., LAMOUREUX, N., 2003. Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhône River. *Oecologia*, 151 : 544-559.
- DIEU, N. 1996. Plan Loire Grandeur Nature, Suivi de la phase 1 du Chantier Expérimental de Oudon – Etat après travaux dans le lit de la Loire. Rapport MST IMACOF Université François-Rabelais, Tours.
- DIEU, N., 1997. Etude de la macrofaune benthique du cours moyen de la Loire. Rapport DESS ECPA Université de Besançon.
- DUMONT, A., 1997. Etude de la répartition spatiale de la macrofaune benthique en Loire Moyenne. Rapport MST IMACOF Université François-Rabelais, Tours.
- FIGUET M., 1996. Synthèse bibliographique des relevés de macroinvertébrés sur la Loire et essai de biotypologie, Mémoire de Master II, Université F. Rabelais, Tours.
- GARCIA X.F. 2000. Ecologie comparée des peuplements de *Chironomidae (Diptera)* des zones potamiques de la Garonne et de la Loire (France). Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 210 p.
- GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- GLENZ C., 2005. Process-based, spatially-explicit modelling of riparian forest dynamics in Central Europe _ Tool for decisionmaking in river restoration. *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*. Thèse n°3223. 199p + ann.
- GOSSE, Ph., GAILARD, J., HENDRICKX, F. 2008. Analyse de la température de la Loire moyenne en été sur la période 1949 à 2003. *Hydroécol. Appl.*, 16 : 233-274.
- GRAF, W., MURPHY, J., Dahl, J., ZAMORA-MUNOZ, C., LOPEZ-RODRIGUEZ, M.J. 2008. Distribution and ecological preferences of european freshwater organisms – Volume 1. Trichoptera. Series editors Astrid Schimdt-Kloiber & Daniel Hering. Pensoft 388p.
- Groupe de travail Loire-Bretagne plantes envahissantes, 2009. Liste des espèces exotiques envahissantes du bassin Loire-Bretagne. Fédération des Conservatoires des Espaces Naturels. Disponible à : http://centrederesourcesloirenature.com/mediatheque/especes_inva/telechargements/Liste_plantes_invasives_LB_2008.pdf
- HERNANDEZ P. GRAHAM C. MASTER L. AND ALBERT D. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performances of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29. 773-785.

- IVOL, J.-M., GUINAND, B., RICHOUX, P., TACHET, H., 1997. Longitudinal changes in *Trichoptera* and *Coleoptera* assemblages and environmental conditions in the Loire River (France). *Archiv für Hydrobiologie*, 138 (4) :525-557.
- IVOL-RIGAUT J.-M., 1998. Hydro-écorégions et variabilité des communautés du macrobenthos sur le bassin de la Loire. Essai et typologie régionale et référentiel faunistique. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, Villeurbanne. 271p.
- LAIR, N., SARGOS, D., REYES-MARCHANT, P. 1996. Synthèse des études hydrobiologique réalisées en Loire moyenne au niveau du site nucléaire de Dampierre-en-Burly. *Hydroécol. Appl.* Tome 8, Vol. 1-2 : 35-84.
- LEUREUIL, J.Y, CHOVET, M. 2000. Redécouverte d'*Isonychia ignota* (Walker, 1853) dans la Loire moyenne, France (Ephemeroptera, *Isonychiidae*). *Ephemera*, 2 (2) : 124.
- LEUREUIL, J. Y., CHOVET M., BOURNAUD, M., TACHET, H., 1983. Description, répartition et cycle biologique de la larve d'*Hydropsyche bulgaromanorum* Malicky 1977 (*Trichoptera, Hydropsychidae*) dans la Basse Loire. *Annls Limnol.*, 19 (1) : 17-24.
- LEUREUIL, J.-Y., FONTAINE, J., CHOVET, M., 1984. Nouvelles données sur l'écologie de *Raptobaetopus tenellus* (Albarda), un *Baetidae* présent en grand nombre dans le bassin de la Loire (France). *Proc. IVth Int. Conf. Ephemeroptera*, 253-261.
- MALAVOI, J.R. (2002). Hydrologie et géomorphologie fluviale. Dans : Bouchardy C. (dir.), La Loire. Vallées et vals du grand fleuve sauvage, Paris, Delachaux et Niestlé, 288 p.
- MOATAR, F., DUCHARNE, A., THIÉRY, D. BUSTILLO, V., SAUQUET, E. & VIDAL, J.P. 2010. La Loire à l'épreuve du changement climatique. *Geosciences* 12 : 78-87.
- MOATAR, F., GAILHARD, J., 2006. Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881. *C.R. Géoscience* 338 : 319-328.
- MOLINA, Q., 2010. Inventaire bibliographique de la macrofaune benthique ligérienne et sa vulnérabilité face aux perturbations hydrologiques et thermiques issues du changement climatique. Rapport de stage de Licence III, Université François-Rabelais, Tours.
- MOUTHON, J., 2000. Répartition du genre *Corbicula* Megerle von Mühlfeld (*Bivalvia, Corbiculidae*) en France à l'aube du XXIe siècle. *Hydroécologie Appliquée*, 12 (1-2) : 135-146.
- PARMESAN, C. 1996. Climate and species' range. *Nature* 382 : 765-766.
- PARMESAN, C. & YOHE, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421 : 37-42.
- PHILIPS S., DUDIK M. AND SCHAPIRE R.E. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. Phillips, S.J., Dud'ik, M., Schapire, R.E., 2004. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*. 655-662.
- POSCHLOD P, KLEYER M., JACKEL A.K., DANNEMANN A. & TACKENBERG O., 2003. BIOPOP - A database of plants traits and internet application for nature conservation. *Folia Geobotanica*. 38-5 : 263-271.

RIVE, 2003. Etude des peuplements macrobenthiques de la Loire, Site de Ingrandes. Loire estuaire, cellule de mesures et de bilans de la Loire, 33p.

ROBIN, O., 1995. Etude de l'organisation spatio-temporelle de la macrofaune benthique en Loire dans la cadre du Plan Loire. Rapport MST IMACOF, Université François-Rabelais, Tours.

SCE, 2003. Suivi du fonctionnement de cinq annexes hydrauliques restaurées sur la Loire et la Vienne. Equipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature, 81 p.

TACHET, H., RICHOUX, Ph., BOURNAUD, M., USSEGLIO-POLATERA, Ph., 2010. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie, nouvelle édition revue et augmentée. CNRS éditions. 607 p.

TACHET, H., RICHOUX, Ph., BOURNAUD, M., USSEGLIO-POLATERA, Ph., 2000. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS éditions. 588 p.

THEMA Environnement 2005. Suivi des annexes fluviales restaurées sur la Loire et la Vienne, bilan annuel de la campagne 2004. Agence de l'Eau Loire Bretagne, Programme Interrégional Loire Grandeur Nature, 160 p.

SEIBERT J. AND MCGLYNN B.L. 2007. A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. Water resources research 43. 8p.

WISSKIRCHEN, R. 1995. Verbreitung und Ökologie von Flußufer-Pioniergesellschaften (*Chenopodium rubri*) im mittleren und westlichen Europa. Dissertationes Botanicae 236, J. Cramer, Stuttgart. 375 pp.

Sites internet consultés

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), <http://www.ipcc.ch/>. (2010) - Chapter 4: Hydrology and water resources.

Legifrance, <http://www.legifrance.gouv.fr/>. – Service publique d'accès au droit.

Giudicelli, J., <http://www.eid-med.org/fr/>. (2000) - Changements des régimes thermiques et hydrologiques : impact sur les hydrosystèmes continentaux et leur peuplement.

Muséum National d'Histoire Naturelle, <http://inpn.mnhn.fr/>. – Inventaire nationale du patrimoine naturel

Société française d'odonatologie, <http://www.libellules.org/>.

Annexes

Annexe 1 : Participants du volet « biodiversité »

Annexe 2 : Bilan et valorisation des actions réalisées

Annexe 3 : Liste des macroinvertébrés présents dans le lit endigué de la Loire entre le barrage de Villerest (42) et la commune de Saint Florent le Vieil (44).

Annexe 4 : Protocole de suivi des habitats

Annexe 1 : Participants du volet « biodiversité »

Personnel permanent Universités et organismes de recherche

Institution de rattachement	NOM	Grade	Tâches
UMR 6173 CITERES IPA-PE	GREULICH Sabine	maître de conférence	Coordination, collecte, interprétation et protocole d'échantillonnage végétation herbacée
UMR 6173 CITERES IPA-PE	YENGUE Jean-Louis	maître de conférence	Analyse dynamique d'habitats (SIG)
Univ. Angers	SECONDI Jean	maître de conférence	Coordination, collecte, interprétation et protocole d'échantillonnage faune, modélisation oiseaux
UMR 6173 CITERES IPA-PE, Univ. Angers	LAJEUNESSE Isabelle	maître de conférence	Analyse dynamique d'habitats (SIG)
INRA Orléans	VILLAR Marc	CR 1 ^{ère} classe	Collecte, interprétation et protocole d'échantillonnage végétation ligneuse

Personnel contractuel

Institution de rattachement	NOM	Grade	Tâches
Univ. Tours SAIC	RICHARD Nina	ingénieur d'études	Collecte, interprétation et protocole d'échantillonnage végétation herbacée, faune
UMR 6173 CITERES IPA-PE	EL ABIDA Hamza puis CARREAU Clélia	Ingénieur d'études	Géomatique

Stagiaires

Institution de rattachement	NOM	Grade	Tâches
UMR 6173 CITERES IPA-PE	LEMONNIER Gildas	Etudiant M1	Synthèse données existantes végétation, acquisition données végétation
UMR 6173 CITERES IPA-PE	FENNICHE Valentin	Etudiant M1	Mise en cohérence des données actuelles de l'occupation du sol le long de la Loire et participer à leur intégration dans Arcgis
UMR 6173 CITERES IPA-PE	ALLEVI Marta	Etudiante M1 Erasmus	Participer à la réalisation sur ArcGis d'une base de données sur l'occupation du sol le long de la Loire de Roanne à l'Estuaire à partir de la photo interprétation des clichés de 1969
UMR 6173 CITERES IPA-PE	MOLINA Quentin	Etudiant M1	Synthèse données existantes macroinvertébrés aquatiques
Université d'Angers LEESA	BESNARD Aurélien	Etudiant M2	Travail de terrain distribution des oiseaux, modélisation

Représentants associatifs/gestionnaires

Organisme	NOM	Grade	Tâches
FCEN	VAN DEN EEDE Aurélie puis HUDIN Stéphanie	Chargée de mission Loire	Interface gestionnaires des espaces naturels
CORELA	LAFAGE Denis	Technicien	Fourniture de données SIG, participation volet oiseaux
RN St. Mesnim	CHANTEREAU Michel	Gestionnaire	Participation groupes de travail « végétation »

Annexe 2 : Bilan et valorisation des actions réalisées

Thématique	Réalisations	Production
Ensemble du thème 2 « biodiversité »	Nouvelles collaboration entre chercheurs spécialistes de groupes taxonomiques différents	Un rapport de synthèse Une communication
Habitats	Analyse de la dynamique des occupations du sol entre 1969 et 2000 Suivi test de températures sur 3 sites et 5 habitats et comparaison avec les données issues des stations météo les plus proches Un questionnaire « gestionnaires »	SIG 1969 et 2000 des occupations du sol à partir de photos aériennes (1969) et cartes de végétation (2000, données SIEL) Un protocole de suivi
Végétation	Identification d'une série d'espèces cibles (dominantes, patrimoniales, exotiques) pour chaque habitat ; collecte d'informations concernant les exigences en température et inondation de ces espèces ; expérience concernant les préférences d'inondation de 4 espèces des grèves	Une base de données Un protocole de suivi Un mémoire de master 1
Macroinvertébrés aquatiques	Synthèse des données	Un rapport de stage L3
Oiseaux prairiaux	Acquisition de données terrain pour 4 espèces : Tarier des prés <i>Saxicola rubetra</i> , le Bruant des roseaux <i>Emberiza schoeniclus</i> , le Bruant proyer <i>Miliaria calandra</i> et la Bergeronnette printanière <i>Motacilla flava</i> . Modélisation	Cartographie sous SIG Un modèle de répartition sous MAXENT Deux mémoires de M1 Deux mémoires M2 Deux communications

Annexe 3

**MACROINVERTEBRES PRESENTS DANS LE LIT ENDIGUE DE LA LOIRE ENTRE LE
BARRAGE DE VILLEREST (42) ET SAINT FLORENT LE VIEIL (44)**

CLASSE	ORDRE	FAMILLE	GENRE	ESPECE	
INSECTES	PLECOPTERES	CHLOROPERLIDAE	<i>Xanthoperla</i>	<i>apicalis</i>	
		LEUCTRIDAE	<i>Leuctra</i>	<i>geniculata</i>	
		TAENIOPTERIGIDAE	<i>Taeniopteryx</i>	<i>schoenemundi</i>	
	EPHEMEROPTERES	BAETIDAE		<i>Acentrella</i>	<i>sinaica</i>
				<i>Baetis</i>	<i>buceratus</i>
					<i>fuscatus</i>
					<i>lutheri</i>
					<i>rhodani</i>
					<i>vernus</i>
				<i>Baetopus (Raptobaetopus)</i>	<i>tenellus</i>
				<i>Baetopus</i>	<i>wartensis</i>
				<i>Labiobaetis</i>	<i>atrebatinus</i>
					<i>tricolor</i>
				<i>Centroptilum</i>	<i>luteolum</i>
				<i>Cloeon</i>	<i>dipterum</i>
					<i>simile</i>
				<i>Procloeon</i>	<i>bifidum</i>
					<i>pennulatum</i>
			<i>pulchrum</i>		
			CAENIDAE	<i>Brachycercus</i>	<i>europaeus</i>
					<i>harrisellus</i>
				<i>Caenis</i>	<i>horaria</i>
					<i>robusta</i>
					<i>luctuosa</i>
					<i>macrura</i>
			<i>pseudorivulorum</i>		
			<i>Cercobrachys</i>	<i>minutus</i>	
			EPHEMERIDAE	<i>Ephemerella</i>	<i>danica</i>
					<i>lineata</i>
			EPHEMERELLIDAE	<i>Serratella</i>	<i>notata</i>
		<i>ignita</i>			
				<i>mesoleuca</i>	
		HEPTAGENIIDAE	<i>Electrogena</i>	<i>affinitis</i>	
	<i>Ecdyonurus</i>		<i>insignis</i>		
	<i>Heptagenia</i>		<i>flava</i>		
			<i>sulphurea</i>		
		<i>Rhitrogena</i>	<i>beskidensis</i>		
	ISONYCHIIDAE	<i>Isonychia</i>	<i>ignota</i>		
	LEPTOPHLEBIIDAE	<i>Habrophlebia</i>	<i>fusca</i>		
			<i>lauta</i>		
	OLIGONEURIIDAE	<i>Oligoneuriella</i>	<i>pallida</i>		
			<i>rhenana</i>		
	POLYMITARCIDAE	<i>Ephoron</i>	<i>virgo</i>		
	POTAMANTHIDAE	<i>Potamanthus</i>	<i>luteus</i>		
	SIPHONURIDAE	<i>Siphonurus</i>	<i>aestivalis</i>		

INSECTES	TRICHOPTERES	BRACHYCENTRIDAE	<i>Brachycentrus</i>	<i>subnubilus</i>	
			<i>Oligoplectrum</i>	<i>maculatum</i>	
		ECNOMIDAE	<i>Ecnomus</i>	<i>tenellus</i>	
				<i>deceptor</i>	
		GOERIDAE	<i>Goera</i>	<i>pilosa</i>	
		HYDROPSYCHIDAE	<i>Cheumatopsyche</i>	<i>lepida</i>	
				<i>bulgaromanorum</i>	
				<i>contubernalis</i>	
				<i>exocellata</i>	
				<i>onatula</i>	
		HYDROPTILIDAE	<i>Hydroptila</i>	<i>sp.</i>	
				<i>Ithytrichia</i>	<i>sp.</i>
				<i>Orthotrichia</i>	<i>sp.</i>
		LEPTOCERIDAE	<i>Athripsodes</i>	<i>cinereus</i>	
				<i>Ceraclea</i>	<i>dissimilis</i>
			<i>Mystacides</i>	<i>azurea</i>	
				<i>longicornis</i>	
			<i>Oecetis</i>	<i>lacustris</i>	
				<i>notata</i>	
				<i>ochracea</i>	
				<i>punctata</i>	
				<i>Setodes</i>	<i>punctatus</i>
		PHILOPOTAMIDAE	<i>Chimattra</i>	<i>marginata</i>	
	POLYCENTROPODIDAE	<i>Cymus</i>	<i>trimaculatus</i>		
		<i>Holocentropus</i>	<i>dubius</i>		
		<i>Neureclipsis</i>	<i>bimaculata</i>		
		<i>Polycentropus</i>	<i>flavomaculatus</i>		
	LIMNEPHILIDAE	<i>Apatania</i>	<i>muliebris</i>		
		<i>Halesus</i>	<i>radiatus</i>		
			<i>digitatus</i>		
		<i>Limnephilus</i>	<i>flavicornis</i>		
			<i>lunatus</i>		
	<i>binotatus</i>				
	PSYCHOMYIDAE	<i>Psychomyia</i>	<i>pusilla</i>		
		<i>Lype</i>	<i>phaeopa</i>		
			<i>reducta</i>		
	<i>Tinodes</i>	<i>waeneri</i>			
	RHYACOPHILIDAE	<i>Rhyacophila</i>	<i>sp.</i>		
	MEGALOPTERES	SIALIDAE	<i>Sialis</i>	<i>sp.</i>	
	NEUROPTERES	SISYRIDAE	<i>Sisyra</i>	<i>sp.</i>	
	ODONATES	AESCHNIDAE	<i>Aeschna</i>	<i>sp.</i>	
			<i>Anax</i>	<i>sp.</i>	
		COENAGRIONIDAE	<i>Coenagrion</i>	<i>mercuriales</i>	
			<i>Ischnura</i>	<i>elegans</i>	
		CALOPTERYGIDAE	<i>Agrion (Calopteryx)</i>	<i>splendens</i>	
			<i>Calopteryx</i>	<i>virgo</i>	
		GOMPHIDAE	<i>Gomphus</i>	<i>flavipes</i>	
<i>Onychogomphus</i>			<i>forcipatus</i>		
<i>Ophiogomphus</i>			<i>cecilia</i>		
LIBELLULIDAE		<i>Libellula</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Orthetrum</i>	<i>sp.</i>			
	<i>Sympetrum</i>	<i>sp.</i>			
PLATYCNEMIDIDAE	<i>Platycnemis</i>	<i>pennipes</i>			
LESTIDAE	<i>Chalolestes</i>	<i>viridis</i>			

INSECTES	HETEROPTERES	APHELOCHEIRIDAE	<i>Aphelocheirus</i>	<i>aestivalis</i>
		CORIXIDAE	<i>Corixa</i>	<i>sp.</i>
			<i>Micronecta</i>	<i>sp.</i>
		GERRIDAE	<i>Gerris</i>	<i>sp.</i>
		HYDROMETRIDAE	<i>Hydrometra</i>	<i>stagnorum</i>
		MESOVELIIDAE	<i>Mesovelgia</i>	<i>sp.</i>
		NAUCORIDAE	<i>Naucoris</i>	<i>sp.</i>
		NEPIDAE	<i>Nepa</i>	<i>cinerea</i>
		NOTONECTIDAE	<i>Notonecta</i>	<i>sp.</i>
		PLEIDAE	<i>Plea</i>	<i>leachi</i>
	VELIIDAE			
	COLEOPTERES	DRYOPIDAE	<i>Dryops</i>	<i>sp.</i>
			<i>Helichus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Pomatinus</i>	<i>sp.</i>
		DYTISCIDAE	<i>Acilius</i>	<i>sp.</i>
			<i>Agabus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Coelambus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Colymbetes</i>	<i>fuscus</i>
			<i>Dytiscus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Guignotus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Hydaticus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Hydroporus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Hyphydrus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Graptodytes</i>	<i>sp.</i>
			<i>Ilybius</i>	<i>sp.</i>
			<i>Laccophilus</i>	<i>hyalinus</i>
			<i>Meladema</i>	<i>sp.</i>
			<i>Oreodytes</i>	<i>sanmarkii</i>
			<i>Platambus</i>	<i>maculatus</i>
			<i>Porhudrus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Potamonectes</i>	<i>sp.</i>
		<i>Scarodytes</i>	<i>sp.</i>	
		<i>Strictotarsus</i>	<i>sp.</i>	
		<i>Yola</i>	<i>sp.</i>	
		ELMIDAE	<i>Dupophilus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Elmis</i>	<i>sp.</i>
			<i>Esolus</i>	<i>sp.</i>
			<i>Limnius</i>	<i>sp.</i>
			<i>Macronychus</i>	<i>quadrituberculatus</i>
			<i>Normandia</i>	<i>sp.</i>
<i>Oulimnius</i>			<i>sp.</i>	
<i>Potamophilus</i>			<i>acuminatus</i>	
<i>Riolus</i>			<i>sp.</i>	
<i>Stenelmis</i>		<i>canaliculata</i>		
GYRINIDAE		<i>Gyrinus</i>	<i>sp.</i>	
		<i>Orectochilus</i>	<i>villosus</i>	
HALIPLIDAE		<i>Haliplus</i>	<i>fluviatilis</i>	
		<i>Pelodytes</i>	<i>sp.</i>	
HELOPHORIDAE		<i>Helophorus</i>	<i>sp.</i>	
HYDRAENIDAE		<i>Hydraena</i>	<i>sp.</i>	
HYDROCHIDAE		<i>Hydrochus</i>	<i>sp.</i>	
HYDROPHILIDAE	<i>Anacaena</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Berosus</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Chaetarthria</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Enochrus</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Helochares</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Hydrobius</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Hydrophilus</i>	<i>sp.</i>		
<i>Laccobius</i>	<i>sp.</i>			
HYGROBIIDAE	<i>Cymbiodyta</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Hygrobia</i>	<i>sp.</i>		
NOTERIDAE	<i>Noterus</i>	<i>sp.</i>		

INSECTES	DIPTERES	ATHERICIDAE		
		ANTHOMYIDAE		
		CERATOPOGONIDAE		
		CHIRONOMIDAE		
		CULICIDAE		
		DOLICHOPODIDAE		
		EMPIDIDAE		
		EPHYDRIDAE		
		LIMONIIDAE		
		PSYCHODIDAE		
		RHAGIONIDAE		
		SCIOMYZIDAE		
		SIMULIIDAE		
		STRATIOMYIDAE		
		SYRPHIDAE		
TABANIDAE				
TIPULIDAE				
OLIGOCHETES		NAÏDIDAE	<i>Stylaria</i>	sp.
			Gen.	sp.
		TUBICICIDAE	<i>Branchiura</i>	<i>sowerbyi</i>
			Gen.	sp.
ACHETES		ERPOBDELLIDAE	<i>Erpobdella</i>	sp.
		GLOSSIPHONIIDAE	<i>Glossiphonia</i>	sp.
			<i>Helobdella</i>	<i>stagnalis</i>
			<i>Hemiclepsis</i>	<i>marginata</i>
PISCICOLIDAE	<i>Piscicola</i>	<i>geometra</i>		
TRICLADES		DENDROCOELIDAE	<i>Dendrocoelum</i>	sp.
		DUGESIIDAE	<i>Dugesia</i>	sp.
			<i>Dugesia</i>	<i>tigrina</i>
MOLLUSQUES		ANCYLIDAE	<i>Ancylus</i>	<i>fluviatilis</i>
		BITHYNIIDAE	<i>Bithynia</i>	<i>tentaculata</i>
		CORBICULIDAE	<i>Corbicula</i>	sp.
		DREISSENIIDAE	<i>Dreissena</i>	<i>polymorpha</i>
		FERRISSIIDAE	<i>Ferrissia</i>	<i>watieri</i>
		HYDROBIIDAE	<i>Potamopyrgus</i>	<i>antipodarum</i>
		LYMNAEIDAE	<i>Galba</i>	sp.
			<i>Lymnea</i>	sp.
			<i>Radix</i>	sp.
		NERITIDAE	<i>Theodoxus</i>	<i>fluviatilis</i>
		PHYSIDAE	<i>Physa</i>	<i>fontinalis</i>
			<i>Physella</i>	<i>acuta</i>
		PLANORBIDAE	<i>Anisus</i>	sp.
			<i>Gyraulus</i>	<i>albus</i>
			<i>Menetus</i>	<i>dilatatus</i>
			<i>Planorbis</i>	sp.
		SPHAERIIDAE	<i>Pisidium</i>	sp.
			<i>Sphaerium</i>	sp.
		UNIONIDAE	<i>Anodonta</i>	<i>anatina</i>
<i>Potomidae</i>	<i>littoralis</i>			
<i>Unio</i>	<i>pictorum</i>			
VALVATIDAE	<i>Valvata</i>	<i>piscinalis</i>		
VIVIPARIDAE	<i>Viviparus</i>	<i>viviparus</i>		
CRUSTACES		ASELLIDAE	<i>Asellus</i>	<i>aquaticus</i>
		ATYIDAE	<i>Atyaephyra</i>	<i>desmarestii</i>
		CAMBARIDAE	<i>Orconectes</i>	<i>limosus</i>
		CORIOPHIIDAE	<i>Corophium</i>	<i>curvispinum</i>
		CRANGONYCTIDAE	<i>Crangonix</i>	<i>pseudogracilis</i>
		GAMMARIDAE	<i>Dikergammarus</i>	<i>villosus</i>
			<i>Gammarus</i>	<i>pulex</i>
				<i>roeselii</i>
				<i>tigrinus</i>
			<i>Echinogammarus</i>	sp.
CNIDAIRES		HYDRIDAE		

**CHIRONOMIDAE (INSECTES - DIPTERES) PRESENTS DANS LA
LOIRE ENTRE LE BARRAGE DE VILLEREST (42) ET SAINT
FLORENT LE VIEIL (44)**

Source : X-F. GARCIA

2000

TRIBU	GENRE	ESPECE	
<i>Tanypodinae</i>	<i>Ablabesmyia</i>	<i>monilis</i>	
	<i>Hayesomyia</i>	<i>tripunctata</i>	
	<i>Procladius</i>	<i>choreus</i>	
	<i>Procladius</i>	<i>sagittalis</i>	
	<i>Rheopelopia</i>	<i>ornata</i>	
	<i>Telopelopia</i>	<i>fascigera</i>	
<i>Diamesinae</i>	<i>Potthastia</i>	<i>longimarus</i>	
	<i>Potthastia</i>	<i>pel</i>	
<i>Prodiamesinae</i>	<i>Prodiamesa</i>	<i>olivacea</i>	
<i>Orthoclaadiinae</i>	<i>Brillia</i>	<i>flavifrons</i>	
	<i>Bryophaenocladus</i>	<i>subnervalis</i>	
	<i>Cardiocladus</i>	<i>fuscus</i>	
	<i>Corynoneura</i>	<i>lobata</i>	
	<i>Cricotopus</i>		<i>bicinctus</i>
			<i>curtus</i>
			<i>fuscus</i>
			<i>similis</i>
			<i>sylvestris</i>
			<i>triannulatus</i>
			<i>trifascia</i>
			<i>vierriensis</i>
	<i>Diplocladius</i>	<i>cultriger</i>	
	<i>Eukiefferiella</i>		<i>claripennis</i>
			<i>gracei</i>
			<i>lobifera</i>
	<i>Limmophyes</i>		<i>punctipennis</i>
			<i>Pela</i>
			<i>sp.</i>
	<i>Nanocladus</i>		<i>bicolor</i>
			<i>rectinervis</i>
	<i>Orthocladus</i>		<i>ashei</i>
			<i>carlatus</i>
			<i>glabripennis</i>
			<i>oblidens</i>
			<i>pedestris</i>
			<i>rivicola</i>
			<i>rivinus</i>
			<i>rubicindus</i>
			<i>conversus</i>
	<i>Paracladius</i>	<i>niger</i>	
	<i>Paracricotopus</i>		<i>bathophila</i>
			<i>smolandica</i>
	<i>Parakiefferiella</i>	<i>stylatus</i>	
	<i>Parametricnemus</i>	<i>rufiventris</i>	
	<i>Paratrachocladus</i>		<i>oxyura</i>
			<i>sordidellus</i>
	<i>Psectrocladius</i>		<i>oxoniana</i>
			<i>recta</i>
			<i>Pe2</i>
	<i>Pseudosmittia</i>		<i>atripes</i>
			<i>chalybeatus</i>
		<i>fuscipes</i>	
<i>Rheocricotopus</i>		<i>semivirens</i>	
		<i>Pe2a</i>	
<i>Synorthocladus</i>		<i>Pe2aai</i>	
		<i>Pe2b</i>	
		<i>vittata</i>	
<i>Thienemanniella</i>	<i>calvescens</i>		
<i>Tvetenia</i>			

<i>Chironominae - Chironomini</i>	<i>Chironomus</i>	<i>anthracinus</i>
		<i>bernensis</i>
		<i>commutatus</i>
		<i>Pe17</i>
		<i>Pe18</i>
		<i>Pe4</i>
		<i>Pe23</i>
	<i>Cladopelma</i>	<i>virescens</i>
	<i>Cryptochironomus</i>	<i>rostratus</i>
	<i>Cryptotendipes</i>	<i>usmaensis</i>
	<i>Dicrotendipes</i>	<i>nervosus</i>
	<i>Endochironomus</i>	<i>albipennis</i>
	<i>Glytotendipes</i>	<i>pallens</i>
		<i>paripes</i>
	<i>Harnischia</i>	<i>fuscimana</i>
	<i>Kiefferulus</i>	<i>tendipediformis</i>
	<i>Lipinella</i>	<i>sp.</i>
	<i>Microtendipes</i>	<i>britteni</i>
		<i>chloris</i>
	<i>Parachironomus</i>	<i>arcuatus</i>
		<i>frequens</i>
	<i>Phaenopsectra</i>	<i>flavipes</i>
	<i>Polypedilum</i>	<i>acifer</i>
		<i>cultellatum</i>
		<i>nubeculosum</i>
		<i>pedestre</i>
<i>pullum</i>		
<i>scalaenum</i>		
	<i>uncinatum</i>	
<i>Robackia</i>	<i>demeijeri</i>	
<i>Saetheria</i>	<i>reissi</i>	
<i>Stenochironomus</i>	<i>gibbus</i>	
	<i>Pe3</i>	
<i>Strictochironomus</i>	<i>histrion</i>	
<i>Zavreliella</i>	<i>sp.</i>	
<i>Chironominae - Tanytarsini</i>	<i>Cladotanytarsus</i>	<i>conversus</i>
		<i>mancus</i>
		<i>pseudomancus</i>
		<i>vanderwulpi</i>
	<i>Micropsectra</i>	<i>atofasciata</i>
		<i>contracta</i>
		<i>lacustris</i>
	<i>Paratanytarsus</i>	<i>dissimilis</i>
		<i>inopertus</i>
		<i>lauterborni</i>
	<i>Rheotanytarsus</i>	<i>musciicola</i>
		<i>curtistylus</i>
		<i>rhenanus</i>
	<i>Stempellina</i>	<i>almi</i>
	<i>Tanytarsus</i>	<i>brundini</i>
		<i>ejuncidus</i>
		<i>eminulus</i>
		<i>heusdensis</i>
		<i>lestagei-aggregate</i>
		<i>mentax</i>
<i>pallidicornis</i>		
<i>sp.</i>		
<i>Hexatoma</i>	<i>sp.</i>	

Protocole de suivi habitats-température-inondation lit Loire

Dans chacun des secteurs de la Loire concerné par le projet et couvert par le SIG (entre Roanne et secteurs selon Malavoi dans Bouchardy = 5 secteurs) + L'écopole du Forez suivi d'un site avec une mosaïque d'habitats, au moins présence de : grèves – forêt bois tendre –forêt bois dur –annexe en eau (boire); sur secteur aval : prairie de fauche ; éventuellement sur secteur amont : autre type de prairie/pelouse : hauts de grèves / pelouses à Sedums et/ou *Corynephorus canescens* ; Présence si possible d'espèces cibles (cf. tableau).

1 - Suivi de température : équipement du site avec un enregistreur de température, 1 lecture/heure

Annexes en eau (boires) : au dessus de l'endroit le plus profond en sub-surface, à une profondeur de 15 à 20 cm (fixation sous un flotteur, p.ex. petit bidon d'eau).

Grèves (dans végétation herbacée/ sable) : fixé au ras du sol (le côté mince de l'enregistreur repose sur le sable ; le fixer sur une baguette en métal + ajouter éventuellement une étiquette avec le nom de l'organisme + un no de téléphone) ; au soleil (au sud de la baguette) à retirer quand la Loire monte à l'automne ; veiller à être suffisamment loin de la végétation ligneuse pour éviter de l'ombrage à certains moments de la journée. Si possible placer l'enregistreur au centre d'une placette 1m x 1m avec de pierres colorées aux quatre angles (cf. ci-dessous suivi inondation).

Forêt bois tendre : fixé entre 2 à 3 m sur arbre (pour éviter d'être inondé en hiver), orienté N

Forêt bois dur : idem

Prairies : à 1 m, i.e. environ la hauteur moyenne de la végétation fixé sur une baguette en métal

Prévoir une surface minimale de végétation homogène au centre de laquelle l'enregistreur sera installé pour s'assurer d'avoir des conditions moyennes (pas d'ombrage de peupleraie par exemple). De même s'assurer que le point d'enregistrement n'est pas dans une dépression où la T et l'humidité serait différente du reste de la parcelle.

Autres prairies : hauteur moyenne de la végétation, fixé sur baguette en métal ; sans ombrage par végétation ligneuse environnante.

Pelouses à Sedums et/ou Corynephorus canescens : idem grèves

2– Suivi inondation : définir par observation à quel débit le site est partiellement et complètement inondé -> à faire en début de suivi par observation fréquente si pas installation d'enregistreurs supplémentaires au sol

Annexes en eau (boires) : définir débit de connexion à la Loire ; éventuellement périodes d'assec par visites terrain à débits prédéfinis si pas connu.

Grèves : marquage des angles d'une placette autour de l'enregistreur avec 4 pierres colorées (le plus facile à observer : mettre de la couleur à la bombe sur cailloux + sable environnant) ou : transect avec cailloux colorés, placés tous les 1m (éventuellement alternance de deux couleurs pour lecture plus aisée) -> visites de terrain à des niveaux de débit prédéfinis ;

Forêts (bois tendre et bois dur) : -> par visites de terrain à des niveaux de débit prédéfinis => observation de laisses de crue

Prairies : par des observations de terrain

Ces observations de terrain chronophages peuvent être remplacées par l'équipement des sites avec des enregistreurs complémentaires installés au niveau du sol. Les premiers résultats des exploratoires ont démontrées que les périodes d'inondation correspondent à des chutes de température brusque suivies de températures relativement sténothermes autour de 10°C (température de l'eau de la Loire)

3 – Suivi habitats - végétation

- 1) Relevé par méthode aire minimale pour l'habitat concerné autour de l'enregistreur. A noter au minimum les 3 espèces les plus fréquentes avec leurs recouvrements (estimation en %), sinon un relevé complet selon la méthode de Braun-Blanquet.

- 2) Suivi particulier des populations d'espèces cibles (nb de pieds et/ou recouvrement + détermination précise de la localisation)

Fréquence suivi : 1* par an. Vérification enregistreurs tous les deux mois (plus fréquemment au début).

Récupération des enregistreurs installés sur les grèves à l'automne. Changement des piles a priori tous les 3 – 4 ans (vérifier le niveau des piles à chaque lecture).

Reference Type: Journal Article

Record Number: 1

Author: ccccc

Title: vvvv

Short Title: vvvv