

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2020-2021

Etude des changements paysagers d'un tronçon de la Loire moyenne au cours d'une décennie



Photographie du paysage de la Loire moyenne (Source : Sabine Greulich)

Etude des changements paysagers d'un tronçon de la Loire moyenne au cours d'une décennie

Sabine Greulich

Adrien Parais

2020-2021

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non-plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Mme Sabine Greulich de m'avoir suivi et accompagné tout au long de la réalisation de ce projet de fin d'études en m'ayant fourni des articles bibliographiques pertinents, en m'ayant donné des conseils avisés et en ayant montré une grande disponibilité.

SOMMAIRE

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	La succession écologique de l'hydrosystème ligérien	2
3.	La mosaïque changeante des habitats.....	5
4.	Matériels et Méthodes	5
4.1.	Site d'étude	5
4.2.	Récupération des données	7
4.3.	Création des classes d'habitat.....	7
4.4.	Traitement des données	9
5.	Résultats :	10
5.1.	Les types d'habitats à l'échelle des placettes	10
5.1.1.	Placettes « Amont Zone Amont »	10
5.1.2.	Placettes « Aval Zone Amont ».....	11
5.1.3.	Placettes « Zone Aval ».....	11
5.2.	Les types d'habitats à l'échelle du tronçon	12
5.2.1.	La diversité des habitats	12
5.2.2.	Variation de la taille des habitats	13
5.2.3.	Evolution des habitats à travers les années	14
5.2.4.	La destination des habitats suivant la succession écologique	15
6.	Discussion	18
6.1.	Evolution à l'échelle des placettes.....	19
6.2.	Evolution des habitats de la succession écologique à l'échelle du tronçon.....	20
6.2.1.	Surface similaire des habitats à travers les années	20
6.2.2.	Modifications des habitats.....	21
6.3.	Comparaison entre l'évolution de l'occupation des sols au niveau des placettes et du tronçon.....	25
6.4.	Comparaison avec l'évolution de la Loire moyenne	25
6.5.	Prolifération des espèces invasives.....	28
6.6.	Les limites de l'analyse	29
7.	Conclusion.....	30
8.	Bibliographie.....	31
9.	Annexes	32

Table des Figures

Figure 1 : Schéma de la succession écologique (Abida 2007)	5
Figure 2 : Localisation des différentes zones des placettes sur la base de l'orthophotographie de 2005 (SIEL)	6
Figure 3 : Délimitation du tronçon à large échelle avec la localisation des zones des placettes sur la base de l'orthophotographie de 2005 (SIEL).....	6
Figure 4 : Etat des lieux des habitats de la zone « Amont Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (%)..	10
Figure 5 : Etat des lieux des habitats de la zone « Aval Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (%).....	11
Figure 6 : Etat des lieux de l'habitat de la « Zone Aval » en 1999, 2005 et 2015 (%)	12
Figure 7 : La diversité et la surface en pourcentage des habitats du tronçon en 1999, 2005 et 2015 .	13
Figure 8 : La surface similaire (stabilité) des différents habitats en pourcentage entre 1999-2005, 2005-2015 et 1999-2015	15
Figure 9 : Diagramme de flux des habitats entre 1999-2005	17
Figure 10 : Diagramme de flux des habitats entre 2005-2015	18
Figure 11 : Diagramme de flux des habitats entre 1999-2015	18
Figure 12 : Evolution du lit de la Loire en 1999, 2005 et 2015.....	19

Table des Tableaux

Tableau 1 : Composition des différents habitats en 1999.....	7
Tableau 2 : Composition des différents habitats en 2005.....	8
Tableau 3 : Composition des différents habitats en 2015.....	8
Tableau 4 : Evolution des habitats entre 1999-2005, entre 2005-2015 et entre 1999-2015	14

Table des Annexes

Annexe 1 : La fiche Lo179 de l'année 2015 (DREAL Centre Val de Loire 2016)	32
Annexe 2 : La fiche Lo180 de l'année 2015 (DREAL Centre Val de Loire 2016)	33
Annexe 3 : La typologie de Cornier correspondant à la typologie de 2000 (1 ^{ère} partie) (Greulich et al. 2011).....	34
Annexe 4 : La typologie de Cornier correspondant à la typologie de 2000 (2 ^{ème} partie) (Greulich et al. 2011).....	35
Annexe 5 : La surface en pourcentage et en m ² des habitats en 1999, 2005, 2015	36
Annexe 6 : La proportion des surfaces restées le même habitat en pourcentage et en m ² entre 1999-2005, entre 2005-2015 et entre 1999-2015.....	36
Annexe 7 : La destination des surfaces qui ont évolué pour chaque habitat entre 1999-2005 (%)	37
Annexe 8 : La destination des surfaces qui ont évolué pour chaque habitat entre 2005-2015	38
Annexe 9 : La destination des surfaces qui ont évolué pour chaque habitat entre 1999-2015	39
Annexe 10 : Tableau de données de l'évolution des habitats entre 1999-2005 (%)	40
Annexe 11 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2005 (m ²)	40
Annexe 12 : Tableau de données de la destination des habitats qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2005 (%).....	40
Annexe 13 : Tableau de données de l'évolution des habitats entre 2005-2015 (%)	40
Annexe 14 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 2005-2015 (m ²)	41
Annexe 15 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 2005-2015 (%).....	41

Annexe 16 : Tableau de données de l'évolution des habitats entre 1999 et 2015 (%)	41
Annexe 17 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2015 (m ²)	41
Annexe 18 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2015 (%).....	42
Annexe 19 : Les occupations du sol de « Amont Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (SIEL)	42
Annexe 20 : Les occupations du sol de « Aval Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (SIEL)	42
Annexe 21 : Les occupations du sol de « Zone Aval » en 1999, 2005 et 2015 (SIEL)	42
Annexe 22 : Les habitats du tronçon en 1999 (SIEL)	42
Annexe 23 : Les habitats du tronçon en 2005 (SIEL)	42
Annexe 24 : Les habitats du tronçon en 2015 (SIEL)	42

1. Introduction

Depuis de nombreuses années, les systèmes alluviaux et fluviatiles sont soumis à de nombreuses modifications causées principalement par l'impact de l'Homme (Geerling et al. 2006 ; Di Pietro et al. 2017). Ces impacts sont notamment représentés par la croissance de l'urbanisation et de l'agriculture au niveau du lit majeur ainsi que la pratique de nombreuses activités nécessitant une proximité directe au cours d'eau (Geerling et al. 2006, Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017, Di Pietro et al. 2017). Le réchauffement climatique possède également un effet non négligeable sur ces changements (Greulich et al. 2011).

Malgré cela, la Loire est par beaucoup encore considérée comme un des derniers fleuves d'Europe pour de nombreuses raisons (Cornier 2002 ; Di Pietro et al. 2017). L'une des principales raisons réside dans l'existence d'une certaine liberté aussi bien morphologique, sédimentaire et écologique de son lit permettant l'installation de processus écologique comme la succession écologique des végétaux et ainsi de créer des espaces temporels variés riches en biodiversité notamment floristique (Cornier 2002 ; Brodin 2015 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Le Dez et al. 2017). C'est pourquoi la Loire détient au sein de sa plaine alluviale près de 1340 taxons végétaux répartis en 475 genres et 119 familles dont les principales sont les astéracées, les poacées, les fabacées ou encore les solanacées (Cornier 2002).

La Loire moyenne possède également une riche biodiversité floristique avec près de 85 taxons dont 27 taxons exotiques (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cette richesse floristique crée ainsi un paysage complexe allant d'un sol nu ensablé à une dense forêt de bois dur en passant par plusieurs formes végétales différentes aussi bien par la taille, par la densité que par la forme. La liberté de la Loire moyenne va permettre à ces végétaux d'évoluer suivant la succession écologique où vont pouvoir se succéder au sein de l'hydrosystème ligérien des grèves sans aucune végétation avant d'être recouvert successivement par une végétation pionnière herbacée puis ligneuse pour d'atteindre un stade terminal de forêt alluviale particulièrement dense au niveau des espaces les plus élevés et éloignés du fleuve (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Delbosc et al. 2018). Or, ce côté sauvage reste néanmoins à mettre en perspective de part une action anthropique non négligeable au niveau de la Loire moyenne comme le montre notamment l'endiguement de son lit et la présence d'une certaine activité humaine (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Di Pietro et al. 2017). C'est le cumul de ces modifications des formations végétales par des processus naturels comme la succession écologique mais également par l'action de l'Homme, que ce soit par ces actions ou le réchauffement climatique, qui engendre actuellement des changements au sein du paysage de la Loire moyenne.

Un paysage étant par définition une portion de territoire hétérogène formée de nombreux habitats (Geerling et al. 2006), l'analyse des changements paysagers de la Loire moyenne implique de manière sine qua non d'analyser les variations de la structure et de la composition d'un paysage sous le regard des habitats (Geerling et al. 2006). Un habitat étant un écotope homogène basé sur la présence de végétation ayant la même physionomie (Di Pietro et al. 2017).

Cela explique pourquoi actuellement des politiques et des études sont financées et mises en place pour assurer la protection de cette richesse floristique et cette diversité du paysage ligérien en favorisant notamment le processus de succession écologique mais également pour analyser ces changements paysagers et plus précisément ceux des habitats fortement influencés par l'Homme comme par exemple le projet de recherche lancé par l'Etablissement publique Loire en 2008 pour évaluer l'impact du réchauffement climatique sur la Loire et notamment sur les changements

paysagers , c'est-à-dire les habitats et les formations végétales (Geerling et al. 2006, Greulich et al. 2011).

Cette étude s'inscrit dans ce cadre en analysant les processus et les évolutions du paysage d'un tronçon de la Loire moyenne au niveau des communes de Luynes et de Fondettes juste à l'aval de la ville de Tours, au cours d'une décennie allant de 2004 à 2014. Sur cette période de 10 années, un suivi de l'occupation des sols a été effectué. Pour mener à bien ce suivi, une trentaine de placettes ont été installées et relevées chaque année tandis qu'en parallèle, la végétation a été photographiée et identifiée. Ainsi, l'objectif sera d'analyser, d'étudier, de recenser et de quantifier les changements du paysage et plus particulièrement des habitats.

Pour ce faire, cette étude aura pour objectif de répondre à quatre questions qui sont :

- Quels sont les changements des habitats à l'échelle des placettes et à l'échelle d'un tronçon plus large ?
- Ces changements sont-ils similaires sur ces 2 échelles ?
- Ces changements suivent-ils la succession écologique typique de la Loire moyenne ?
- L'évolution de ces habitats au niveau des placettes et du tronçon est-elle représentative avec ceux de la Loire moyenne ?

Dans un premier temps, il semble primordial de présenter ce qu'est la succession écologique au sein de l'hydrosystème ligérien.

2. La succession écologique de l'hydrosystème ligérien

L'analyse de l'évolution des habitats au niveau du secteur d'étude de la Loire moyenne concerne essentiellement la dynamique naturelle connue sous le terme de succession écologique, qui est l'évolution classique des différents habitats du milieu ligérien (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Par définition, la succession écologique est l'établissement de plusieurs stades de végétaux successifs pour arriver à un stade terminal qui est, dans le cas d'un système ligérien, le stade de forêt de bois dur (Abida 2007). La succession écologique peut également être définie comme étant une transition locale d'une unité paysagère à une autre en changeant la composition des espèces (Geerling et al. 2006). Dans le cadre de cette succession, plusieurs habitats différents peuvent se succéder. En effet, en premier lieu, la succession écologique démarre à partir des grèves et des bancs de sable, c'est-à-dire à partir d'un terrain nu et vierge de végétation. Par la suite, des petites herbacées vont pouvoir se développer sur ces espaces inoccupés. Dans un second temps, des espèces pionnières correspondant à la famille des salicacées vont prendre le relais de ces petites herbacées voire même s'installer directement à partir des grèves vierges de végétation. Enfin, ces dernières vont se développer pour devenir successivement des bois tendres arbustifs puis une forêt de bois tendre qui évoluera dans le stade climax, c'est-à-dire terminal, de la succession écologique ligérienne qui est la forêt de bois dur (Cornier 2002 ; Geerling et al. 2006 ; Abida 2007 ; Greulich Guitton, et Lacroix 2016) (Figure 1).

Le premier stade est le stade vierge de toute végétation correspondant aux habitats des grèves et des bancs de sable (Abida 2007). Ce milieu est particulièrement extrême pour la végétation (Cornier 2002). En effet, celui-ci est situé directement à proximité du lit mineur de la Loire donc fortement soumis aux crues et aux inondations (Wintenberger et al. 2015 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017). Ces crues créent des conditions de stress comme la force de trainée, l'étouffement, l'érosion du substrat ou encore l'enfouissement de la végétation (Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). Par ailleurs, lors de la saison estivale, la température à la surface des grèves peut atteindre une cinquantaine de degrés Celsius avec une exposition à la lumière particulièrement conséquente

constituant également un facteur limitant à la croissance de la végétation (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019).

Sur ces milieux extrêmes, deux stades peuvent se développer qui sont les petites végétations herbacées ainsi que les espèces pionnières qui correspondent aux salicacées (Cornier 2002 ; Wintenberger et al. 2015 ; Wintenberger et al. 2017).

Ces petites végétations herbacées peuvent former des communautés différentes en fonction de s'il s'agit d'une grève plutôt humide ou d'une haute grève plus sèche (Cornier 2002). Au niveau des grèves les plus humides, deux communautés herbacées sont majoritairement observables. La première concerne les communautés des grèves humides à développement estival avec notamment le chénopode rouge (*Chenopodia rubri*) qui se développent sur des grèves sableuses riches en nutriments et inondées pendant une grande partie de l'année (Cornier 2002). La seconde concerne les communautés des basses vaseuses du lit mineur avec essentiellement le groupement *Bidention tripartitae* qui sont situées plus particulièrement au niveau des petites dépressions des grèves du lit mineur ou au niveau des berges (Cornier 2002). En addition, il est possible de recenser des espèces nitrophiles comme notamment d'autres espèces du genre *Bidens* (Cornier 2002 ; Abida 2007). Dans le cas des hautes grèves, les communautés pionnières alluviales des sables secs du lit mineur sont très diversifiées puisqu'elles appartiennent à de nombreux taxons différents (Cornier 2002). Ces communautés s'organisent essentiellement sous la forme d'une friche herbacée très héliophile sur les grèves non ombragées et constituées d'un substrat sableux ou graveleux (Cornier 2002). Lors de l'été, ce sont les espèces les plus résistantes à la sécheresse qui se développent puisque les conditions sont alors mésoxérophiles voire xérophiles (Cornier 2002). Par ailleurs, il est possible de voir se développer des phragmitaies, des hélrophytes et des mégahorbiaies sur les sites proches d'une nappe d'eau ou d'un substrat retenant l'eau, c'est-à-dire au niveau des berges, des annexes hydrauliques et des espaces marécageux (Cornier 2002).

Au niveau des grèves se développent d'autres espèces pionnières correspondant aux salicacées et notamment les saules et les peupliers (Cornier 2002 ; Wintenberger et al. 2015 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). Parmi les salicacées, les espèces qui se développent majoritairement au niveau de la Loire moyenne sont le peuplier noir (*Populus nigra*), le saule blanc (*Salix alba*) ou encore le saule pourpre (*Salix purpurea*) (Lefebvre et al. 2019). Ces espèces s'installent sur les grèves du fait qu'étant des espèces pionnières héliophiles très peu compétitives, celles-ci constituent des milieux extrêmement stressants pour de très nombreuses espèces qui ne peuvent s'y installer favorisant l'installation de ces salicacées (Cornier 2002 ; Wintenberger et al. 2017).

Ces salicacées vont ensuite se développer pour atteindre le stade de bois tendre arbustif. Ce stade se caractérise par une hauteur n'excédant pas 3 m (Abida 2007). Le bois tendre arbustif peut prendre quatre formes distinctes au sein de la succession écologique ligérienne (Cornier 2002) :

- La saulaie buissonnante à *Salix triandra* et *Salix viminalis* est la strate ligneuse la plus pionnière puisqu'étant localisée dans les sites topographiques les plus bas et donc à proximité du lit mineur de la Loire.
- La saulaie buissonnante à *Salix purpurea* de bas niveau qui est également développée à proximité du lit de la Loire à la différence qu'elle nécessite un substrat grossier notamment à base de graviers.
- La saulaie buissonnante à *Salix purpurea* de haut niveau située tout simplement à des hauteurs plus élevées que la précédente.
- La saulaie buissonnante à *Salix acuminata* qui se développe uniquement dans les vals humides à la suite des phragmitaies et de certaines mégahorbiaies hygrophiles.

Une fois ces salicacées dépassant une hauteur de 3 m, ces communautés sont considérées comme une forêt de bois tendre (Cornier 2002 ; Abida 2007). Ce stade forestier dominant dans l'hydrosystème ligérien se caractérise donc par des arbres ayant une faible densité de bois comme majoritairement les salicacées dont le saule blanc (*Salix alba*), le peuplier blanc (*Populus alba*) et le peuplier noir (*Populus nigra*) (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). D'autres essences ligneuses peuvent également s'y installer comme *Fraxinus augustifolia* ou *Acer negundo* (Cornier 2002). Cette forêt se situe toujours dans le lit mineur et est donc submergée une partie de l'année quand le débit de la Loire atteint le débit de plein bord juste avant débordement (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). La forêt de bois tendre peut correspondre à trois formations différentes (Cornier 2002) :

- La saulaie-peupleraie à *Salix alba* qui correspond à la formation arborescente la plus pionnière au niveau de la Loire. Celle-ci est également la plus inondée limitant le développement du peuplier noir (*Populus nigra*) au profit du saule blanc (*Salix alba*).
- La saulaie-peupleraie à *Populus nigra* qui se développe dans les sites plus secs que la saulaie-peupleraie à *Salix alba*.
- La peupleraie sèche à *Populus nigra* qui se trouve sur les niveaux topographiques les plus élevés avec un substrat grossier de graviers et de galets ainsi que quelques zones limoneuses.

Par la suite, la forêt de bois tendre va être colonisée par des essences typiques d'une forêt de bois dur pour devenir dans un premier temps une forêt intermédiaire composée d'espèces arborescentes représentatives des deux forêts (Cornier 2002 ; Geerling et al. 2006 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Pour finir, cette forêt intermédiaire sera totalement supplantée par la forêt de bois dur aussi bien spatialement que temporellement (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cette forêt de bois dur est reconnaissable par la forte proportion d'essences ayant une forte densité de bois dont notamment les chênes, les frênes, les érables ou encore les ormes (Abida 2007). Des espèces arbustives comme le troène commun (*Ligustrum vulgare*) ou des lianes peuvent être observées (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cette forêt se trouve sur les niveaux topographiques les plus élevés et est donc peu ou pas touchée par les crues (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Les essences à bois dur sont moins héliophiles au stade de plantule que les essences à bois tendre expliquant la disparition des salicacées au profit des arbres à bois dur (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Il existe quatre formations possibles au sein de la forêt de bois dur (Cornier 2002) :

- La frênaie-ormiaie reconnaissable à la présence de plusieurs espèces d'ormes comme *Ulmus minor*, *Ulmus procera*, *Ulmus nitens* et *Ulmus laevis* ainsi que de frênes comme *Fraxinus excelsior* et *Fraxinus augustifolia*.
- La chênaie alluviale à *Quercus robur* localisée dans les parties les moins inondables de la forêt de bois dur.
- La chênaie-charmaie se situe préférentiellement dans le lit endigué de la Loire et est similaire à la forêt précédente à la différence que le charme est également observable
- La chênaie sèche à *Quercus robur* remplace la précédente lorsqu'elle est dégradée ou qu'elle s'assèche. C'est la formation arborescente la plus éloignée du lit mineur de la Loire.

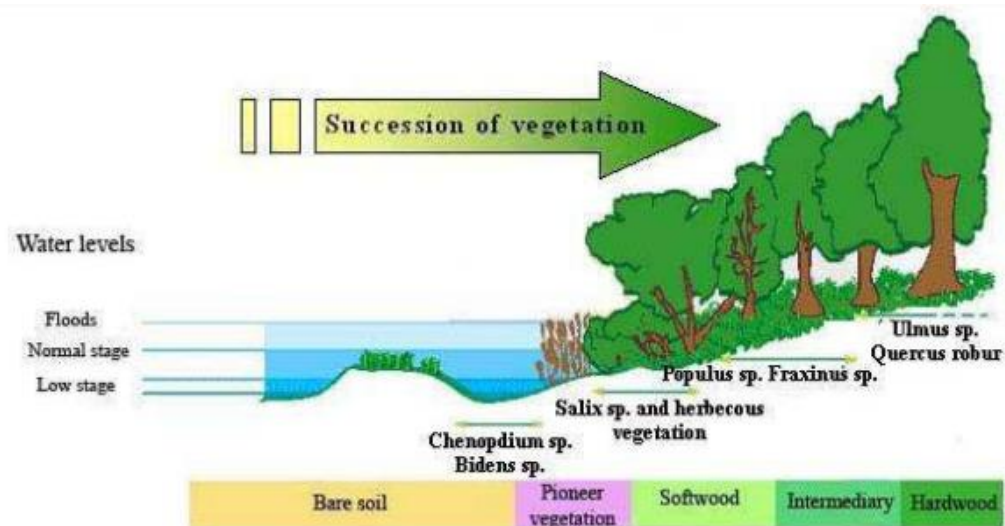


Figure 1 : Schéma de la succession écologique (Abida 2007)

3. La mosaïque changeante des habitats

À partir de cette succession écologique, la variation du paysage dans l'hydrosystème ligérien suit deux processus différents qui sont la succession et le rajeunissement impliquant une modification de la composition des espèces (Geerling et al. 2006). La succession concerne l'évolution locale d'un paysage dans le sens progressif de la succession écologique tandis que le rajeunissement est l'inverse, c'est-à-dire est un retour à un stade antérieur de la succession écologique (Geerling et al. 2006). Le cumul de ces processus permet de créer des espaces naturels dotés d'un paysage diversifié et d'une grande biodiversité (Geerling et al. 2006). Le problème que peut actuellement rencontrer la Loire moyenne, puisqu'il s'agit d'un milieu semi-naturel, est d'avoir une faible proportion de rajeunissement pouvant ainsi causer une diminution de la biodiversité dans le futur (Geerling et al. 2006). Dans l'hydrosystème ligérien, la liberté accordée au lit de la Loire permet à celle-ci d'établir des mécanismes hydro-géomorphologiques qui vont créer le processus de rajeunissement par érosion des rives extérieurs des méandres et un dépôt des sédiments dans les rives intérieures (Geerling et al. 2006). Cela va ainsi rajeunir des portions de paysage tandis que d'autres vont évoluer de manière progressive à la succession (Geerling et al. 2006). Le paysage créé est ainsi très hétérogène spatio-temporellement à l'échelle locale mais relativement stable à très large échelle créant ainsi une structure en mosaïque (Geerling et al. 2006). Ce phénomène se prénomme ainsi le concept de mosaïque en régime permanent ou encore méta-climax (Geerling et al. 2006). Ce phénomène étant très influencé par le régime d'écoulement, le régime de sédimentation, la géologie, le climat ou encore les propriétés biogéographiques (Geerling et al. 2006).

4. Matériels et Méthodes

4.1. Site d'étude

Le site de l'étude est situé au niveau de la Loire moyenne, à l'aval de Tours. Plus précisément, les communes concernées par l'analyse sont Luynes et Fondettes. En effet, l'ensemble des placettes permet de délimiter 3 zones, toutes situées sur la rive droite de la Loire. La zone la plus à l'aval, que l'on appellera « Zone Aval » est située dans la commune de Luynes tandis que les 2 autres, que l'on appellera « Amont Zone Amont » et « Aval Zone Amont » sont localisées dans la commune de

Fondettes (Figure 2). La « Zone Aval » représente une surface de 18 196,09 m², l'« Amont Zone Amont » une surface de 908,73 m² et l'« Aval Zone Amont » une surface de 531,83 m².



Figure 2 : Localisation des différentes zones des placettes sur la base de l'orthophotographie de 2005 (SIEL)

Pour avoir une vision plus large de l'évolution des habitats, le tronçon choisi est un tronçon englobant l'ensemble de ces 3 zones. À partir des données du SIEL (Système d'Information sur l'Evolution de la Loire), la Loire est divisée en plusieurs fiches descriptives. Le tronçon choisi correspond donc aux fiches Lo 179 et Lo 180 (Annexe 1 et Annexe 2). La première correspond à la commune de Fondettes et la deuxième à la commune de Luynes. Le cumul de la surface de ces 2 fiches permet de créer un tronçon d'une surface de légèrement plus de 6 millions de m² pour une longueur de 7 704 m² (Figure 3).

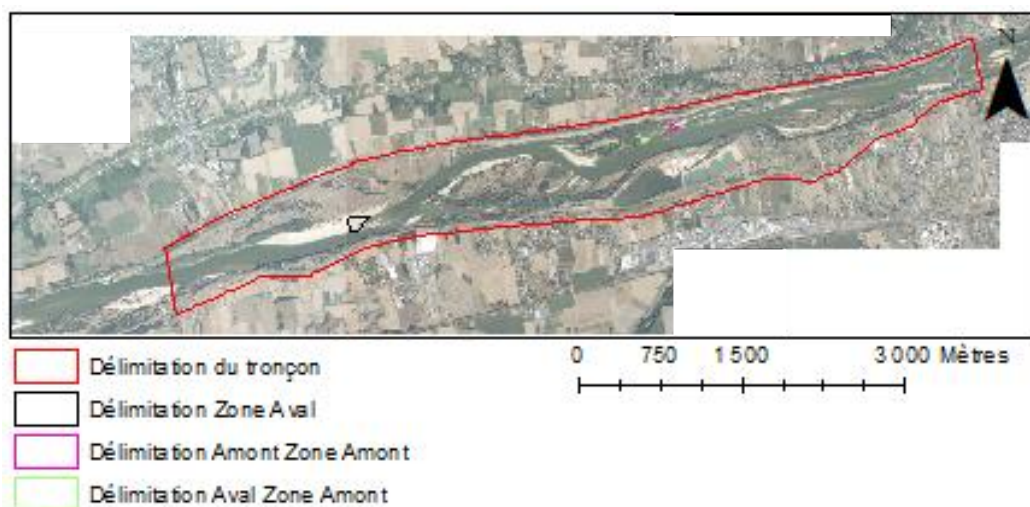


Figure 3 : Délimitation du tronçon à large échelle avec la localisation des zones des placettes sur la base de l'orthophotographie de 2005 (SIEL)

4.2. Récupération des données

Pour pouvoir analyser le paysage du point de vue de la végétation, les données du Système d'Information sur l'Evolution de la Loire (SIEL) et notamment les couches cartographiques de la végétation ainsi que les orthophotographies correspondant au site d'étude ont été recueillies. Le SIEL est une base de données créée et rendue disponible par la DREAL Centre-Val de Loire. Ces cartes de végétation du SIEL sont créées à partir de l'interprétation des photographies aériennes prises au moment de l'étiage et vérifiées par une expertise de terrain pour décrire le plus justement possible la végétation dominante du lit mineur de la Loire. Les cartes de la végétation qui ont été récupérées dans cette analyse correspondent aux années 1999, 2005, 2015. Ces 3 années ont été choisies, dans un premier temps, suivant les cartes de la végétation qui sont disponibles et dans un second temps pour pouvoir avoir des données englobant la période d'étude allant de 2004 à 2014.

4.3. Création des classes d'habitat

Les cartes de la végétation proviennent de 2 typologies. En effet, celles datant de 1999 et 2005 proviennent de la typologie simplifiée des communautés végétales du lit endigué de la Loire (Cornier 2002) tandis que celle datant de 2015 provient de la typologie précédente et du Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien. Les différentes occupations du sol correspondant aux classes de végétation, qui sont au nombre de 44 en 1999, 39 en 2005 et 33 en 2015 à l'échelle du tronçon, ont été regroupées en 12 habitats en s'inspirant de ceux du projet EV2B (Greulich et al. 2011), de la typologie de Cornier (Annexe 3 et Annexe 4) et du réseau d'Observation de la Biodiversité de la Loire et de ses affluents (OBLA). À noter qu'à l'échelle des zones des placettes, l'analyse est effectuée au niveau de l'occupation du sol. Ces habitats et les regroupements associés sont résumés dans le Tableau 1 pour l'année 1999, dans le Tableau 2 pour l'année 2005 et le Tableau 3 pour l'année 2015.

Tableau 1 : Composition des différents habitats en 1999

Habitat	Occupation du sol	Surface totale (m²)	Surface totale (%)
Bois tendre arbustif	Saulaie arbustive à Salix purpurea L. (Saulle pourpre)	552,16	0,009
	Saulaie-peupleraie arbustive	159544,12	2,65
Eau courante	Eau courante	1428145,35	23,74
Eau stagnante	Eau stagnante	49898,61	0,08
	Gravière	120013,11	2
	Plan d'eau naturel	286,82	0,005
Espaces verts artificialisés, non agricoles	Arbres d'alignement	10258,75	0,17
	Autres plantations d'arbres	11592,02	0,19
	Bocage à frênes	18236,87	0,3
	Haie bocagère mixte	10624,56	0,18
	Jardins	306374,55	5,09
	Peupleraie plantée	18105,61	0,3
	Autres forêts et boisements	54972,72	0,91
Forêt de bois dur	Chênaie alluviale à Quercus robur L. (Chêne pédonculé)	8788,37	0,15
	Forêt de bois durs	107485,61	1,79
	Forêts naturelles	51148,84	0,85
	Frênaie, ormaie à Fraxinus et Ulmus	86982,47	1,45
	Robinaie (plantation de Robinier faux-acacia)	2057,34	0,03
	Forêt de bois tendres colonisées par les bois durs	220854,83	3,67
Forêt de bois tendre	Saulaie à Salix alba L. (Saulle blanc)	45707,09	0,76
	Saulaie peupleraie arborescente sans Salix alba, à peuplier noir	10013,24	0,17
	Saulaie-peupleraie arborescente	461117,67	7,67
Grève	Communauté pionnière des sables humides (Chenopodium rubri)	24878,97	0,41
	Sable	493289,72	8,2
	Végétations herbacées pionnières typiques du lit mineur	13541,69	0,23
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	Autres communautés aquatiques	371,35	0,006
	Autres friches herbacées	10884,19	0,18
	Communauté des basses vaseuses du lit mineur (Bidens tripartita)	92985,85	1,55
	Communautés aquatiques	135,34	0,002
	Communautés d'amphiphytes	111,87	0,002
	Communautés d'hélophytes, mégaphorbiales hygrophiles	1409,90	0,02
	Fruticées	49040,67	0,82
	Magnocariçales	13910,50	0,23
	Phalaridaies	21823,70	0,36
	Pelouses et autres communautés xérophiles à mésophiles du lit majeur	1073,88	0,02
Prairies	Prairie à avoine élevée	14185,76	0,24
	Prairie à chiendent	237680,50	3,95
	Prairies mésophiles et mésoxérophiles du lit majeur	884089,48	14,7
	Prairies mésophiles pâturées du lit majeur	37756,19	0,63
	Autres cultures	61502,90	1,02
Terres arables	Cultures	33997,19	0,57
	Friches agricoles	31012,44	0,52
	Grandes cultures	395384,21	6,57
Zones urbanisées	Espaces anthropisés et jardins d'agrément	458028,54	7,62
Total		6059855,58	100,014

Tableau 2 : Composition des différents habitats en 2005

Habitat	Occupation du sol	Surface totale (m²)	Surface totale (%)
Bois tendre arbustif	Saulaie arbustive	15413,32	0,26
	Saulaie peupleraie arbustive	103379,02	1,72
Cultures permanentes	Vergers	1385,70	0,023
Eau courante	Eau courante	1279479,15	21,26
Eau stagnante	Eau	5555,72	0,09
	Eau stagnante	7872,58	0,13
	Gravière	190375,77	3,16
	Plan d'eau artificiel (étangs, lacs de retenue)	1352,30	0,02
Espaces verts artificialisés, non agricoles	Arbres d'alignement	815,37	0,01
	Autres plantations d'arbres	18506,28	0,31
	Jardins	23485,56	0,39
	Peupleraie plantée	6417,15	0,11
	Autres forêts et boisements	9347,53	0,16
Forêt de bois dur	Forêt de bois durs	280792,58	4,67
Forêt de bois tendre	Forêt de bois tendres colonisées par les bois durs	233743,20	3,88
	Saulaie à Salix alba L. (Saulé blanc)	293538,29	4,88
	Saulaie-peupleraie arborescente	315625,52	5,25
Grève	Communauté pionnière des sables humides (chenopodion rubri)	7666,52	0,13
	Sable	445437,67	7,4
	Végétations herbacées pionnières typiques du lit mineur	2584,12	0,04
	Végétations pionnières alluviales des sables secs du lit mineur	904,90	0,02
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	Autres friches herbacées	50787,32	0,84
	Communauté des basses vaseuses du lit mineur (Bidenton tripartitae)	116824,05	1,94
	Communautés d'hélophytes, mégaphorbiaies hygrophiles	9408,30	0,16
	Fruticées	88321,36	1,47
	Herbier de Jussies	21557,00	0,36
	Magnocariçales	9479,30	0,16
	Peuplements algaux	1039,98	0,02
	Phalaridaies	366,24	0,006
	Pelouses et autres communautés xérophiles à mésophiles du lit majeur	23292,48	0,39
	Prairie mésophile à mésoxérophile à chiendents dominants	343741,38	5,71
Prairies	Prairies humides atlantiques	4448,24	0,07
	Prairies mésophiles et mésoxérophiles du lit majeur	860380,42	14,3
	Prairies mésophiles pâturées du lit majeur	11535,35	0,19
Terres arables	Autres cultures	338294,61	5,62
	Friches agricoles	20045,00	0,33
	Grandes cultures	202670,99	3,37
	Surfaces agricoles non cultivées	151676,87	2,52
Zones urbanisées	Espaces anthropisés	520032,28	8,64
Total		6017579,42	100,009

Tableau 3 : Composition des différents habitats en 2015

Habitat	Occupation du sol	Surface totale (m²)	Surface totale (%)
Bois tendre arbustif	Saulaies arbustives	7809,86	0,13
	Saulaies pionnières de bas niveau topographique	90470,14	1,5
Eau courante	Eau courante	1347117,96	22,39
Eau stagnante	Eau stagnante	183722,44	3,05
	Peuplements algaux	9760,93	0,16
	Peuplements denses de jussies	51488,59	0,86
	Peuplements denses de jussies ou de paspales	27102,33	0,45
Espaces verts artificialisés, non agricoles	Autres plantations (hormis formations de Robinier) / Arbres d'alignement	815,37	0,01
	Plantations de peupliers	1911,12	0,03
Forêt de bois dur	Forêt naturelles et semi-naturelles	131617,60	2,19
	Frênaies-ormaies et Chênaies-ormaies	144060,39	2,39
	Peuplements denses d'Ailanthé	13319,40	0,22
	Robineraies	47455,08	0,79
	Cordons rivulaires en pente forte	94982,59	1,58
Forêt de bois tendre	Saulaies-peupleraies arborescentes	623794,70	10,37
	Saulaies-peupleraies irrégulièrement inondables	213809,01	3,55
Grève	Communauté pionnière des sables humides (chenopodion rubri)	9532,31	0,16
	Peuplements denses de paspales	41542,91	0,69
	Sable	226840,22	3,77
	Végétations des sables et vases humides à annuelles	15930,89	0,26
	Végétations pionnières alluviales des sables secs du lit mineur	78544,74	1,31
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	Fourrés et landes de Genêt à balai	166840,96	2,77
	Friches herbacées	554410,52	9,21
	Magnocariçales et roselières	59630,65	0,99
	Mégahorbiaies	1952,67	0,032
Prairies	Communautés denses en asters invasifs	23936,75	0,4
	Prairies à chiendents	286672,80	4,76
	Prairies de fauche ou gérées extensivement	78849,73	1,31
	Prairies humides	96137,72	1,6
	Prairies pâturées	12725,22	0,21
Terres arables	Friches agricoles	149944,95	2,49
	Grandes cultures	237215,95	3,94
Zones urbanisées	Espaces anthropisés	987632,90	16,41
Total		6017579,40	99,98

Ainsi, parmi l'ensemble de ces différents habitats, il est possible d'observer 5 habitats anthropisés qui sont les cultures permanentes, les espaces verts artificialisés, non agricoles, les prairies, les terres

arables et les zones urbanisées ainsi que 7 habitats naturels avec le bois tendre arbustif, l'eau courante, l'eau stagnante, la forêt de bois dur, la forêt de bois tendre, les grèves et les milieux à végétation arbustive et / ou herbacée (friches).

4.4. Traitement des données

Le traitement des données cartographiques a été effectué à l'aide du Système d'Information Géographique (SIG) ArcGIS 10.5.1. Les données ont également été géoréférencées en Lambert 93. Ensuite, un travail de traitement sous SIG a été effectué.

Tout d'abord, une couche a été créée pour chaque habitat en fusionnant les occupations du sol correspondant à un même habitat en sein d'une même couche. L'analyse à partir des habitats est effectuée à l'échelle du tronçon. En effet, les occupations du sol à cette échelle sont trop nombreuses et montrent trop de variations d'emplacement d'une année sur l'autre pour pouvoir mettre en évidence une réelle dynamique d'évolution du paysage. En revanche, au niveau des zones des placettes, l'analyse est maintenue au niveau de l'occupation des sols et non des habitats puisque la diversité de ces occupations est faible en leur sein.

Pour l'étude des zones délimitées par les placettes, ce sont les placettes les plus extérieures qui ont été reliées ensemble pour ainsi créer 3 zones recouvrant l'ensemble de la surface délimitée par des placettes. Les cartes de la végétation sont ainsi découpées par ces 3 surfaces pour avoir les données de la végétation au sein de la « Zone Aval », de « Amont Zone Amont » et de « Aval Zone Amont » (Figure 2).

Au niveau du tronçon, les données cartographiques datant de 1999, 2005 et 2015, l'évolution des habitats est étudiée sur 3 périodes qui sont 1999-2005, 2005-2015 et sur l'ensemble de la période 1999-2015. Pour visualiser les évolutions des différents habitats sur chaque période, la fonction « Découper » d'ArcGIS a ensuite été appliquée. En effet, les habitats de l'année récente de chaque période ont été découpés par les habitats de l'année la plus ancienne pour visualiser et quantifier ces évolutions. Par exemple, sur la période 1999-2005, l'habitat « Terres arables » datant de 2005 a été découpé par l'habitat « Prairies » datant de 1999 permettant ainsi de mettre en évidence la surface correspondant aux prairies en 1999 qui est devenue des terres arables en 2005 tandis que découper un habitat par un même habitat d'une année sur l'autre permet de montrer la stabilité ou l'instabilité de celui-ci.

Les valeurs recueillies ont été traitées sous Excel permettant de calculer des pourcentages et de réaliser les différentes figures observables dans ce rapport et ainsi de mettre en évidence :

- Les habitats et la surface respective de chacun d'eux à l'échelle des placettes.
- Les habitats et la surface respective de chacun d'eux à l'échelle du tronçon.
- Les surfaces totales par habitat et la part relative de chacun d'eux au cours des différentes périodes. Les parts relatives sont obtenues en rapportant la surface de l'habitat à l'ensemble de la surface du tronçon.
- Les proportions de la surface similaire de chaque habitat du tronçon en fonction des périodes, c'est-à-dire la stabilité de chacun d'eux.
- La dynamique d'évolution de chaque habitat au cours du temps. Pour ce faire, un pourcentage est calculé en rapportant la surface d'un habitat évoluant en un autre habitat sur la surface globale qui a évolué de l'habitat.

Enfin, pour analyser l'évolution des habitats suivant la succession écologique, celle-ci sera effectuée sur les habitats présents dans la succession écologique qui sont l'eau courante et les eaux stagnantes qui sont regroupées sous le terme « Eau », les grèves, les milieux à végétation arbustive et/ou

herbacée (friches), le bois tendre arbustif, la forêt de bois tendre et la forêt de bois dur. Les autres habitats qui sont notamment impactés par les activités anthropiques, c'est-à-dire les zones urbanisées, les terres arables, les prairies, les cultures permanentes et les espaces verts artificialisés, non agricoles, sont regroupés sous le terme « Habitats anthropiques ».

5. Résultats :

5.1. Les types d'habitats à l'échelle des placettes

5.1.1. Placettes « Amont Zone Amont »

Au niveau des placettes « Amont Zone Amont », deux habitats sont présents en 1999 et 2005, qui sont l'eau courante et le sable. En revanche la proportion de ces deux habitats évolue. En 1999, 25,26% (229,52 m²) de la zone est occupée par du sable et 74,74% (679,24 m²) par de l'eau courante tandis qu'en 2005, un basculement est observable avec le sable qui devient majoritaire pour une surface de 87,35% (793,82 m²) et l'eau courante qui devient minoritaire avec une surface occupant 12,65% (114,91 m²) de la zone. En 2015, le sable et l'eau courante sont toujours présents avec respectivement une occupation de la zone de 28,92% (262,82 m²) et de 14,34% (130,3 m²). Néanmoins, la majorité de la zone est désormais occupée par des peuplements denses de jussies ou de paspales pour 56,74% de sa surface soit 515,61 m² (Figure 4).

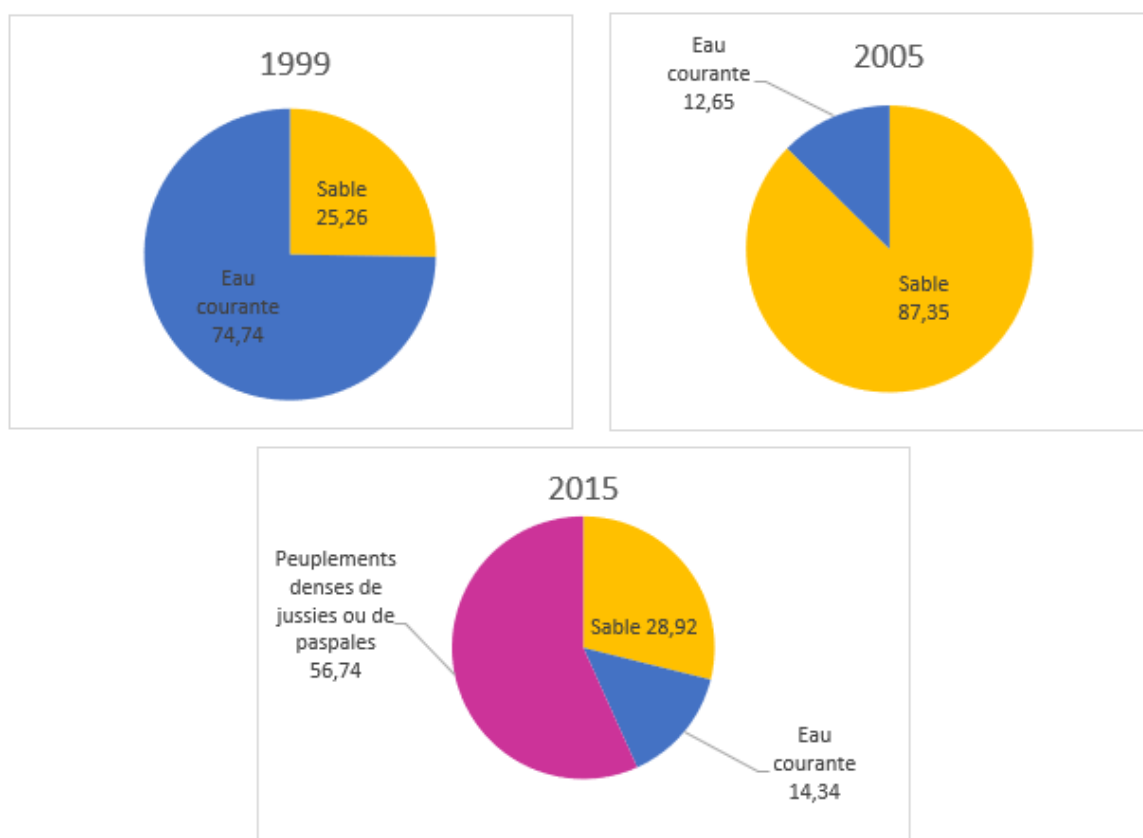


Figure 4 : Etat des lieux des habitats de la zone « Amont Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (%)

5.1.2. Placettes « Aval Zone Amont »

Au niveau des placettes « Aval Zone Amont », les deux habitats constatés en 1999 sont, comme pour les placettes « Aval Zone Aval », le sable et l'eau courante qui occupent respectivement 37,88% de la zone (201,47 m²) et 62,12% (330,36 m²). En 2005, l'eau courante n'est plus présente ce qui laisse le sable représenter 100% de la surface de la zone. En 2015, en revanche, le sable est remplacé par deux nouveaux habitats qui sont les végétations pionnières alluviales des sables secs du lit mineur représentant 51,74% de la zone soit 275,118 m² et les peuplements denses de jussies ou de paspales pour 48,26% de la surface soit 256,65 m² (Figure 5).

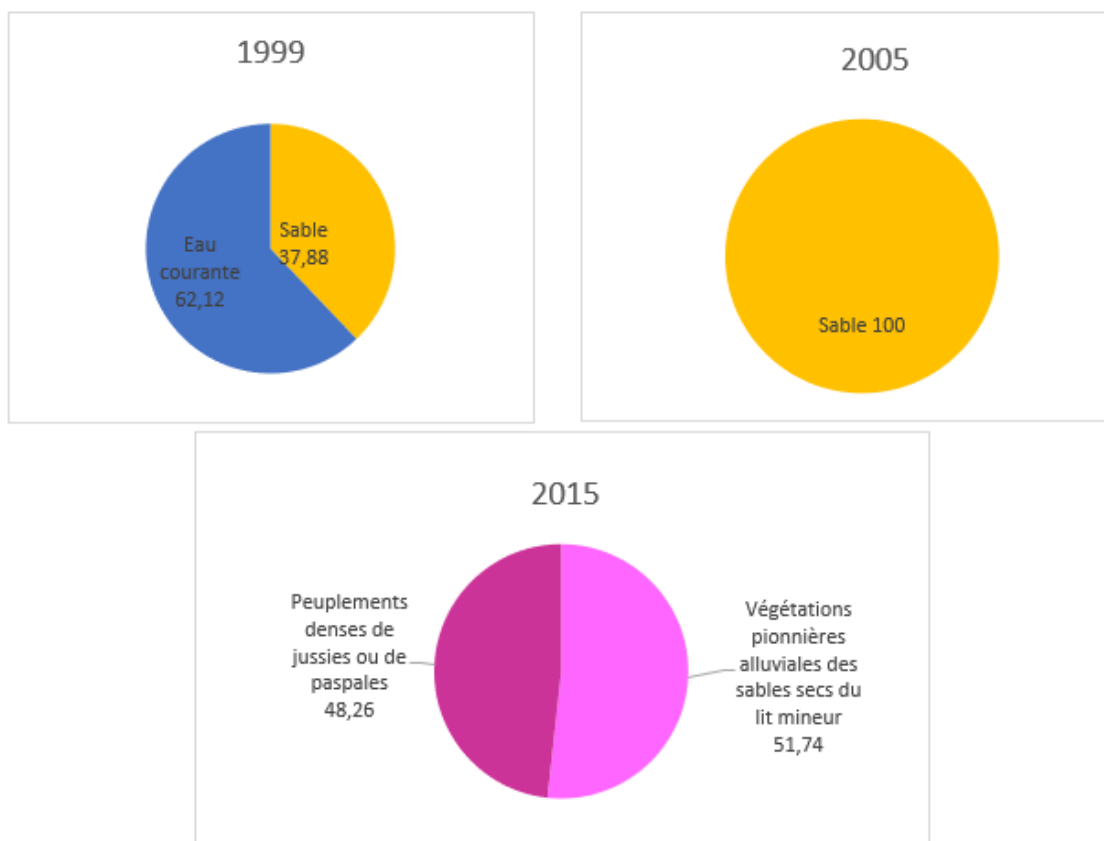


Figure 5 : Etat des lieux des habitats de la zone « Aval Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (%)

5.1.3. Placettes « Zone Aval »

Au niveau des placettes de la « Zone Aval », les habitats constatés en 1999 sont les mêmes que pour les deux zones précédentes avec le sable pour 58,41% de la surface (10627,74 m²) et l'eau courante pour 41,59% (7568,35 m²). En 2005, le sable et l'eau courante sont toujours présents. Le sable occupe alors la quasi-totalité de la zone puisque présent sur 96,72% (17599 m²) alors que l'eau courante n'est trouvable que sur 3,28% soit 597,08 m². En 2015, la « Zone Aval » devient la zone la plus diversifiée avec 6 habitats distincts. Le sable et l'eau courante sont toujours largement représentés avec une surface occupée de 6472,85 m² (35,57%) et 9827,57 m² (54,01%) respectivement. Il est intéressant de remarquer qu'entre 2005 et 2015, l'habitat d'eau courante a vu sa surface augmentée ce qui est unique vis-à-vis des deux autres zones. Les quatre nouveaux habitats identifiés ici sont dans l'ordre décroissant les saulaies-peupleraies arborescentes (Saulaies à *Salix alba*) (1003,41 m² soit 5,51% de la zone), les saulaies arbustives (753,56 m² soit 4,14% de la zone), les peuplements denses de paspales (137,28 m² soit 0,75%) et enfin les bois tendres colonisés par les bois durs (1,42 m² soit 0,01%) (Figure 6).

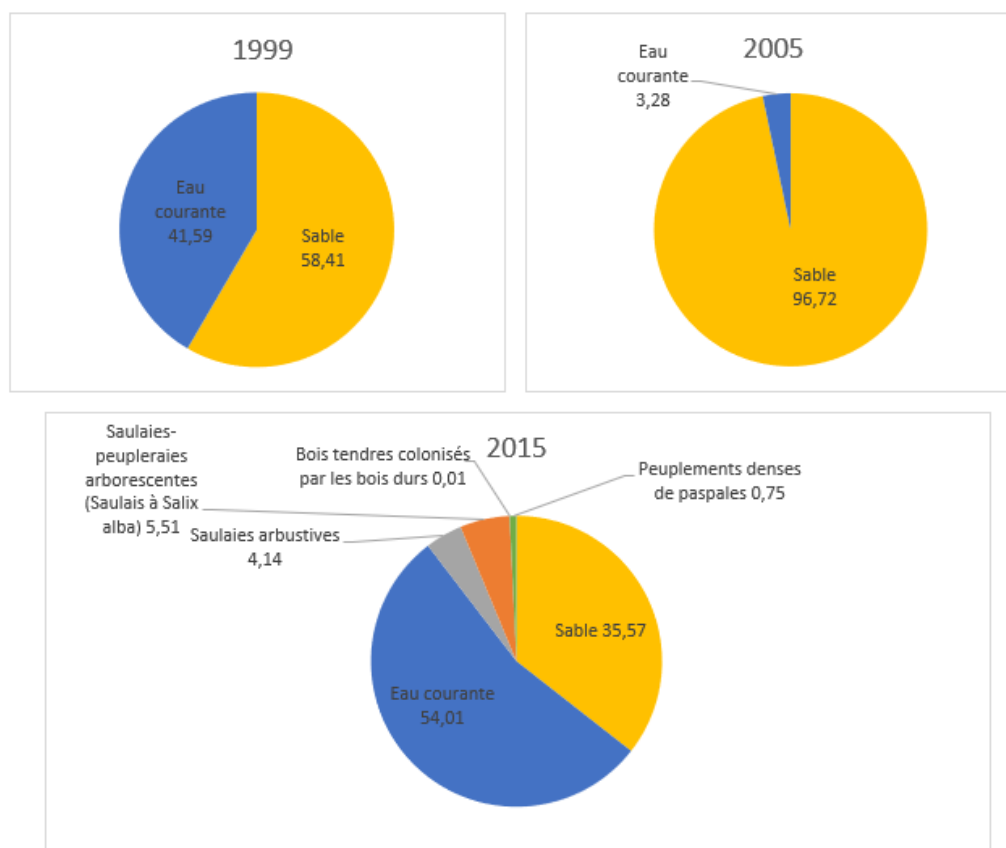


Figure 6 : Etat des lieux de l'habitat de la « Zone Aval » en 1999, 2005 et 2015 (%)

5.2. Les types d'habitats à l'échelle du tronçon

5.2.1. La diversité des habitats

Au cours de l'année 2005, il est possible de constater que les 12 habitats ont été observés qui sont le bois tendre arbustif, les cultures permanentes, l'eau courante, l'eau stagnante, les espaces verts artificialisés, non agricoles, la forêt de bois dur, la forêt de bois tendre, les grèves, les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches), les prairies, les terres arables et les zones urbanisées. Pour les années 1999 et 2015, seulement 11 habitats ont pu être recensés puisque l'habitat correspondant aux cultures permanentes n'est pas présente à ces années-là.

Durant les années 1999 et 2005, les 3 habitats les plus présents sont dans l'ordre décroissant l'eau courante, les prairies puis la forêt de bois tendre avec respectivement 23,74% ; 19,54% et 12,27% de la surface totale en 1999 puis 21,26% ; 20,66% et 14,01% en 2005. En 2015, l'eau courante et la forêt de bois tendre sont toujours le premier et le troisième habitat les plus prépondérants sur le tronçon avec dans l'ordre 22,39% et 15,50% de la surface du tronçon. En revanche, le deuxième habitat majoritaire concerne les zones urbanisées pour 16,41% (Figure 7).

Par opposition, en 1999, les 3 habitats minoritaires sont les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) pour 3,17% du tronçon, le bois tendre arbustif pour 2,66% et les eaux stagnantes pour 2,09%. En 2005, il s'agit du bois tendre arbustif (1,98%), les espaces verts artificialisés, non agricoles (0,82%) puis les cultures permanentes (0,02%). Enfin, en 2015, ce sont les eaux stagnantes (4,52%), le bois tendre arbustif (1,63%) puis les espaces verts artificialisés, non agricoles (0,04%) qui sont les moins représentatives du tronçon (Figure 7).

Concernant le rapport entre les habitats anthropisés et les habitats naturels, en 1999 et en 2005, les surfaces respectives sont similaires puisque les habitats anthropisés représentent 42,07% du tronçon

en 1999 et 41,98% en 2005. Les habitats naturels représentant donc environ 58%. En 2015, on observe une variation puisque les habitats anthropisés occupent 31,16% de la surface totale et les habitats naturels 61,84% (Figure 7).

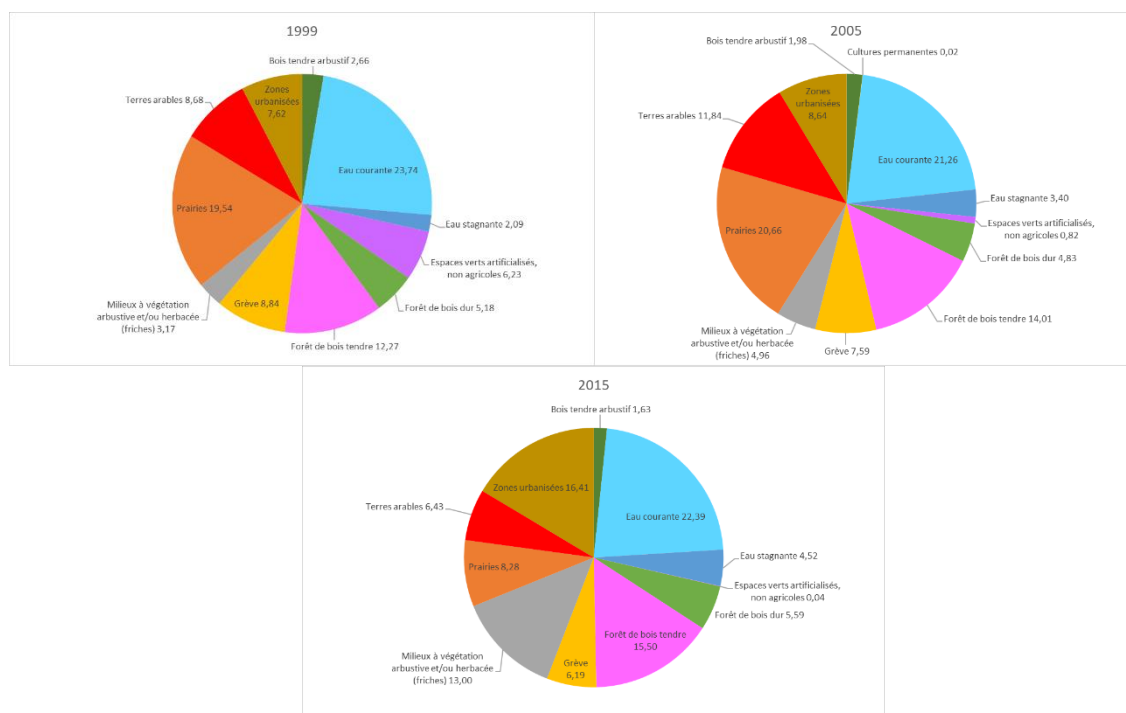


Figure 7 : La diversité et la surface en pourcentage des habitats du tronçon en 1999, 2005 et 2015

5.2.2. Variation de la taille des habitats

Entre 1999 et 2015, les tailles des différents habitats ont connu des modifications.

Sur cette période, 5 habitats ont augmenté en surface dont les trois plus importantes sont (en ordre décroissant) les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) (+ 310% entre 1999-2015), les zones urbanisées (+ 115,63 % entre 1999-2015) et l'eau stagnante (+ 59,86% entre 1999-2015), ces habitats ayant eu une croissance continue au cours de la période. La forêt de bois tendre est le quatrième habitat à avoir vu sa surface croître de manière continue sur la période de 16 ans tandis que le cinquième habitat ayant cru est la forêt de bois dur (Tableau 4).

Par opposition, 6 habitats ont régressé. Les 3 habitats ayant le plus diminué sont (en ordre décroissant) les espaces verts artificialisés, non agricoles (- 99,27% entre 1999-2015), les prairies (-57,58 % entre 1999-2015) bien que sa surface est grandie entre 1999-2005 (+ 5,84%) et les bois tendres arbustifs (- 38,61% entre 1999-2015). À noter que l'habitat des grèves a connu une décroissance de sa surface continue sur la période de 16 ans pour une diminution globale de 29,96% (Tableau 4).

Concernant les habitats anthropisés, ceux-ci ont perdu ¼ de la surface entre 1999-2015 (-25,85%). Plus précisément, cette surface est restée stable entre 1999-2005 avant de chuter de 25,76% entre 2005-2015. L'évolution est par conséquent contraire pour les habitats naturels avec une augmentation de 17,33% avec également une certaine stabilité entre 1999-2005 puis cette fois-ci en s'accroissant de 18,65% entre 2005-2015 (Tableau 4).

L'évolution est particulière pour l'habitat des cultures permanentes avec une phase d'apparition entre 1999 et 2005 puis de disparition entre 2005 et 2015.

Tableau 4 : Evolution des habitats entre 1999-2005, entre 2005-2015 et entre 1999-2015

Habitat	Surface 1999	Surface 2005	Surface 2015	Evolution 1999-2005	Evolution 2005-2015	Evolution 1999-2015
Unité	m ²	m ²	m ²	%	%	%
Bois tendre arbustif	160096,28	118792,34	98280,00	-25,80	-17,27	-38,61
Cultures permanentes	0,00	1385,70	0,00	apparition	disparition	0,00
Eau courante	1428145,35	1279479,15	1347117,96	-10,41	5,29	-5,67
Eau stagnante	170198,54	205156,36	272074,30	20,54	32,62	59,86
Espaces verts artificialisés, non agricoles	375192,36	49224,36	2726,49	-86,88	-94,46	-99,27
Forêt de bois dur	311435,35	290140,11	336452,48	-6,84	15,96	8,03
Forêt de bois tendre	737692,82	842907,01	932586,30	14,26	10,64	26,42
Grève	531710,38	456593,21	372391,07	-14,13	-18,44	-29,96
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	190673,38	297783,55	782834,80	56,17	162,89	310,56
Prairies	1174785,83	1243397,86	498322,21	5,84	-59,92	-57,58
Terres arables	521896,74	712687,47	387160,90	36,56	-45,68	-25,82
Zones urbanisées	458028,54	520032,28	987632,90	13,54	89,92	115,63
Habitats anthropisés	2529903,47	2526727,68	1875842,50	-0,13	-25,76	-25,85
Habitats naturels	3529952,12	3490851,74	4141736,90	-1,11	18,65	17,33

	diminution
	augmentation
	équivalent

5.2.3. Evolution des habitats à travers les années

Les surfaces des différents habitats recensés au cours des années 1999, 2005 et 2015 ont connu des évolutions. Cela étant, des portions des surfaces de ces habitats sont restées inchangées à travers les années. Les habitats concernant l'eau sont ceux ayant la plus grande proportion de la surface inchangée au fil des ans. En effet, la proportion de surface similaire pour l'eau stagnante est de 87,02% entre 1999-2005 et 90,77% entre 2005-2015 soit une surface inchangée de 87,14% entre 1999 et 2015. Pour l'eau courante, la stabilité de la surface entre 1999 et 2015 est de 81,77% avec plus précisément une stabilité de 81,70% entre 1999-2005 puis de 94,78% entre 2005-2015. Par la suite, on retrouve les zones urbanisées avec 72,94% de surface inchangée entre 1999-2015, la forêt de bois tendre avec 63,17% et les terres arables avec une stabilité de 56,18%. Il est intéressant d'observer que la forêt de bois dur avait sa surface relativement stable au fil des années avec une surface inchangée à 57,08% entre 1999-2005 et à 78,49% entre 2005-2015 bien que sa surface inchangée sur l'ensemble des 16 ans d'études soit de 49,24% (Figure 8).

En exceptant les cultures permanentes qui ont une évolution particulière, qu'importe la période d'analyse, ce sont les espaces verts artificialisés, non agricoles, le bois tendre arbustif et les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) qui sont les plus instables dans le temps. Les espaces verts artificialisés, non agricoles n'ont que 0,57% de sa surface de 1999 inchangée en 2015 avec seulement 8,65% de la surface de 1999 restée identique en 2005 et 5,54% de la surface de 2005 restée similaire en 2015. Pour l'habitat de bois tendre arbustif, c'est 12,89% de la surface de 1999 qui est toujours un bois tendre arbustif en 2015 (9,41% de surface similaire entre 1999-2005 et 13,84% entre 2005-2015) tandis que pour le milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches), c'est 22,43% (28,86% de surface inchangée entre 1999-2005 et 33,22% entre 2005-2015) (Figure 8).

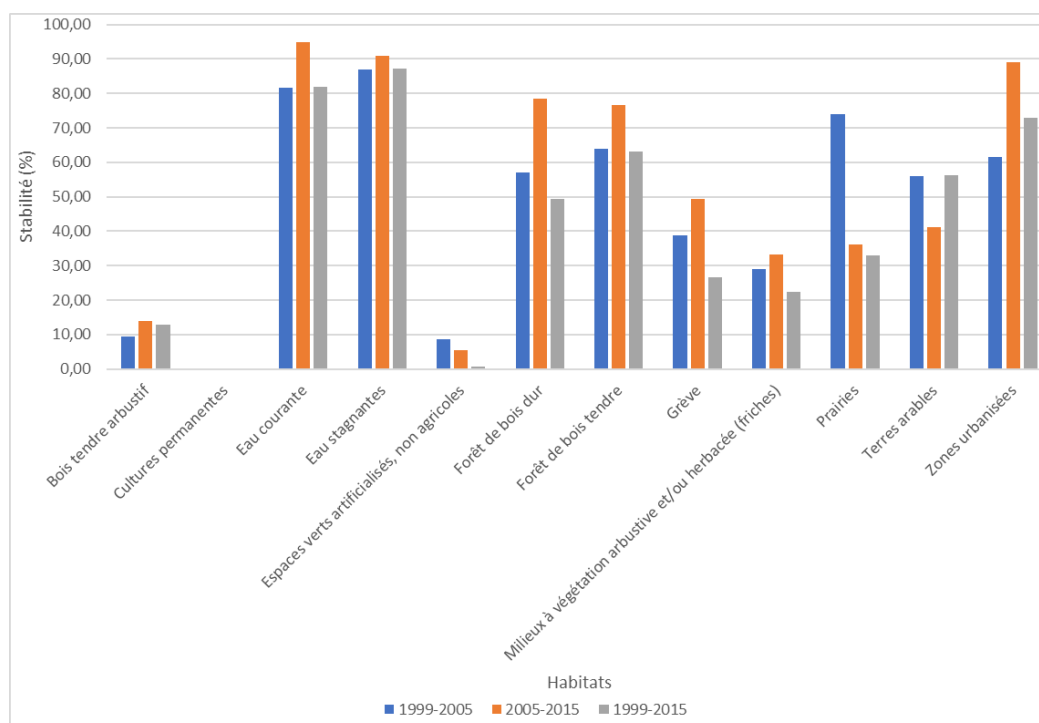


Figure 8 : La surface similaire (stabilité) des différents habitats en pourcentage entre 1999-2005, 2005-2015 et 1999-2015

5.2.4. La destination des habitats suivant la succession écologique

Pour visualiser la destination des surfaces des habitats qui ont évolué, des diagrammes de flux ont été créés pour chaque période de l'étude, c'est-à-dire 1999-2005 (Figure 9) ; 2005-2015 (Figure 10) et 1999-2015 (Figure 11) à partir des données provenant de l'Annexe 10, de l'Annexe 13 et de l'Annexe 16. Les valeurs indiquées en pourcentage proviennent de l'Annexe 12, 15 et 18. L'Annexe 7, 8 et 9 représentent la destination des habitats sous la forme de plusieurs graphiques.

Chronologiquement, l'habitat de l'eau a essentiellement évolué dans le sens de la succession écologique pour devenir des grèves en premier lieu. En effet, spécifiquement pour le cas de l'eau courante, cet habitat est devenu des grèves à hauteur de 69,68% de la surface transformée entre 1999-2005, 88,93% entre 2005-2015 et 62,19% entre 1999-2015. Dans une moindre mesure, l'habitat d'eau a évolué également en des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) ainsi que de la forêt de bois tendre, les 2 derniers habitats principalement entre 1999-2005 et 1999-2015 (respectivement 15,91% 8,49% de la surface qui a évolué entre 1999-2005 puis 3,84% et 10,66% entre 1999-2015). Enfin, une très légère proportion est devenue des habitats anthropisés et notamment les eaux stagnantes qui sont devenues des zones urbanisées de manière conséquente (pour 42,40% de la surface ayant évolué entre 1999-2005, 50,17% entre 2005-2015 et 19,04% entre 1999-2015).

Les grèves ont une évolution nettement plus diversifiée. Entre 1999-2005, 2005-2015 et 1999-2015, une importante proportion des grèves a évolué dans le sens d'un rajeunissement pour devenir de l'eau et notamment de l'eau courante (17,67% entre 1999-2005, 27,45% entre 2005-2015 et 19,14% entre 1999-2015 de la surface qui a évolué), dans le sens progressif de la succession écologique pour devenir du bois tendre arbustif (par exemple 16,44% de la surface qui a changé d'habitat entre 2005-2015) et de la forêt de bois tendre (28,80% entre 1999-2005, 23,56% entre 2005-2015 et 30,26% entre 1999-2015) ou encore est sortie du cadre de cette succession pour devenir des habitats anthropisés. Pour cette dernière, il s'agit essentiellement des zones urbanisées pour 24,19% de la surface modifiée entre 1999-2005 et pour 18,32% entre 1999-2015.

Les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) évoluent également de trois manières. Ceux-ci ont évolué suivant un rajeunissement pour devenir principalement de l'eau entre 2005-2015 et 1999-2015. Ils sont également devenus, suivant le sens de la succession, de la forêt de bois tendre sur les 3 périodes (avec plus du tiers de la surface modifiée) et enfin ont été impactés par l'Homme pour devenir des habitats anthropisés (30,16% entre 1999-2005, 17,45% entre 2005-2015 et 13,81% entre 1999-2015).

Concernant le bois tendre arbustif, celui-ci évolue très nettement dans le sens progressif de la succession pour devenir dans sa très grande majorité de la forêt de bois tendre (65,32% de la surface modifiée entre 1999-2005, 75,08% entre 2005-2015 et 30,26% pour 1999-2015). On observe dans une moindre mesure un rajeunissement de cet habitat pour devenir principalement de l'eau notamment entre 2005-2015 et 1999-2015 (respectivement 10,03% et 14,05% de la surface qui a changé d'habitat), des grèves entre 1999-2015 (17,1%) ou encore des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) entre 1999-2005 et 2005-2015 (respectivement 16,26% et 10%). Enfin, principalement entre 1999 et 2005, une partie de cet habitat est devenue anthropisée et notamment des prairies (10,21%).

L'évolution de la forêt de bois tendre s'effectue essentiellement dans le sens d'un rajeunissement pour devenir principalement du bois tendre arbustif entre 1999-2005 et 2005-2015 (respectivement 24,67% et 17,19% de la surface modifiée), de l'eau, des grèves (28,76% entre 2005-2015), ainsi que des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) entre 1999-2015 (25,22%). L'évolution dans le sens de la succession pour devenir de la forêt de bois dur est plus limitée (16,20% entre 1999-2015 dont 18,09% entre 2005-2015) ainsi que le remplacement par des habitats anthropisés (33,12% la surface modifiée entre 1999-2005 dont essentiellement des prairies, 7,9% entre 2005-2015 et 22,23% entre 1999-2015).

Enfin, concernant l'habitat climax de la succession écologique dans l'hydrosystème ligérien qui est la forêt de bois dur, sa principale évolution est d'être remplacée par des habitats anthropisés dans un premier temps dont principalement les zones urbanisées (17,42% entre 1999-2005, 20,27% entre 2005-2015 et 26,10% entre 1999-2015 de la surface modifiée) et les prairies (30,12% entre 1999-2005). Dans un second temps, la forêt de bois dur rajeunit pour devenir principalement de la forêt de bois tendre (17,55% entre 1999-2005, 31,47% entre 2005-2015 et 21,50% entre 1999-2015 de la surface modifiée) et des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) notamment entre 2005-2015 et 1999-2015 (respectivement 33,37% et 29,71% de la surface modifiée).

Concernant l'évolution des différents habitats anthropisés, celle-ci varie en fonction des différents éléments mais les données montrent qu'ils sont connectés.

Pour le cas de l'habitat des zones urbanisées, 27,06% de sa surface sur l'ensemble de période d'étude a évolué en un autre habitat. Parmi les 3 principaux habitats concernés on retrouve, qu'importe la période, les terres arables pour 32,22% de la surface transformée entre 1999-2005, 46,26% entre 2005-2015 et 8,62% entre 1999-2015. On retrouve également un habitat de végétation ligneuse arborescente que ce soit la forêt de bois dur entre 1999-2005 et 1999-2015 (respectivement pour 10,70% de la surface transformée et 15,04%) ou la forêt de bois tendre entre 2005-2015 pour 15,20%. Parmi les 3 principaux habitats, on trouve également les prairies entre 1999-2005 et 2005-2015 (respectivement 44,87% de la surface modifiée puis 23,58%) tandis que sur l'ensemble des 16 ans d'analyse, de 1999-2015, l'habitat majoritaire qui a gagné de la surface à partir des zones urbanisées sont les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) pour 73,12% de la surface transformée.

Les terres arables ont évolué à hauteur de plus de 40% qu'importe la période utilisée pour devenir en premier lieu des zones urbanisées. Les eaux stagnantes ont également un rôle prépondérant entre 1999-2005 (22,33% de la surface modifiée) et 1999-2015 (19,48%) ainsi que les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) entre 2005-2015 (7,62%) et 1999-2015 (17,94%).

Dans le cas de l'habitat des prairies, près de 60% de la surface initiale a changé d'habitat entre 2005-2015 et 1999-2015 et 26,10% entre 1999-2005. Parmi les destinations principales, il est possible de citer les zones urbanisées et la forêt de bois tendre (respectivement 19,63% et 22,24% de la surface modifiée entre 1999-2005, 8,46% et 7,97% entre 2005-2015 puis 16,91% et 12,98% entre 1999-2015). Il est également possible de mentionner les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) pour 72,49% entre 2005-2015 et 55,82% entre 1999-2015 ainsi que les terres arables pour 26,96% entre 1999-2005.

Dans le cas de l'habitat des espaces verts artificialisés, non agricoles, plus de 90% de sa surface initiale sur chaque période a évolué en un autre habitat dont principalement les zones urbanisées, les forêts de bois dur, les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) et les terres arables.

Pour finir, il est intéressant de mentionner l'apparition des cultures permanentes entre 1999 et 2005 puisque 1385,70 m² de cultures permanentes ont vu le jour provenant dans l'intégralité des terres arables avant de disparaître en 2015.

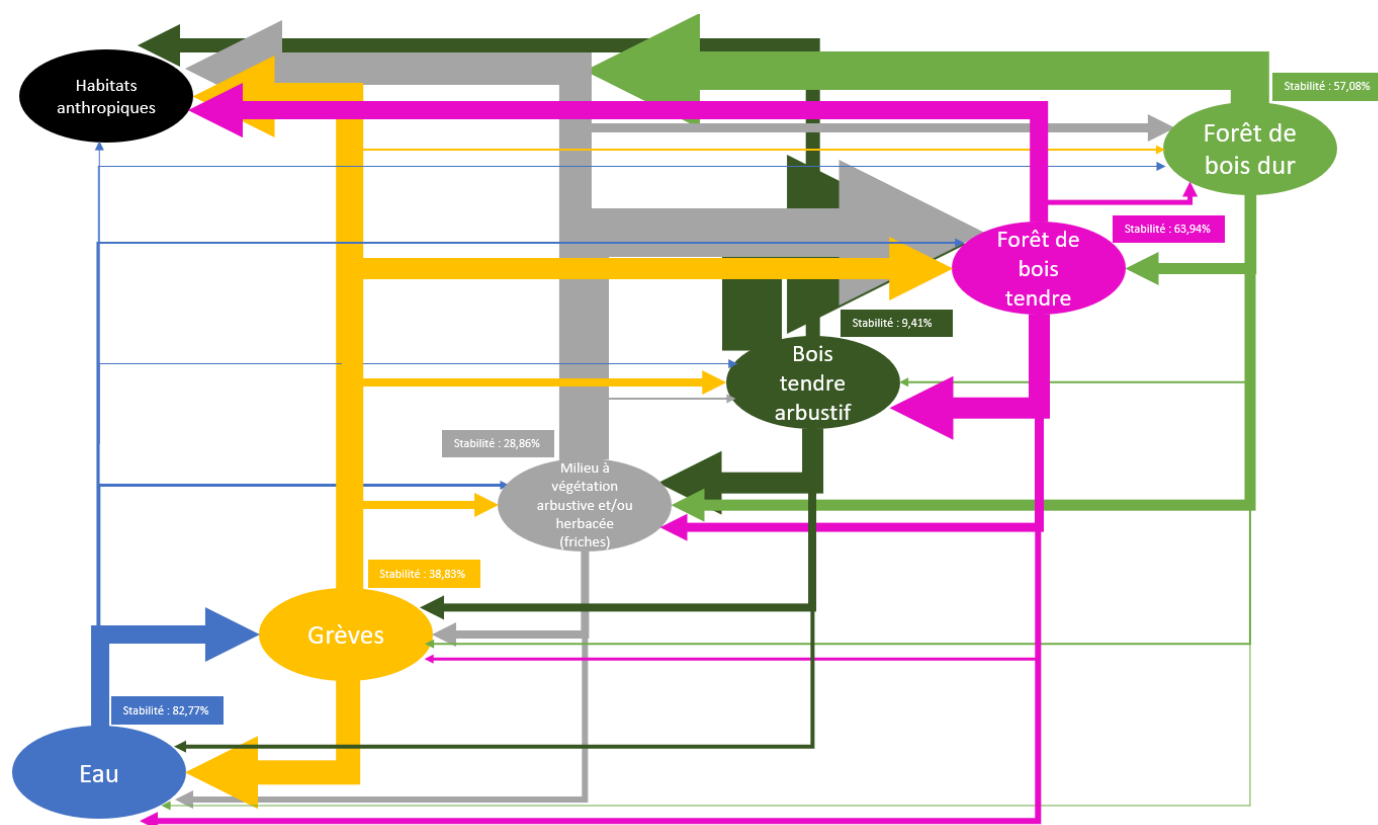


Figure 9 : Diagramme de flux des habitats entre 1999-2005

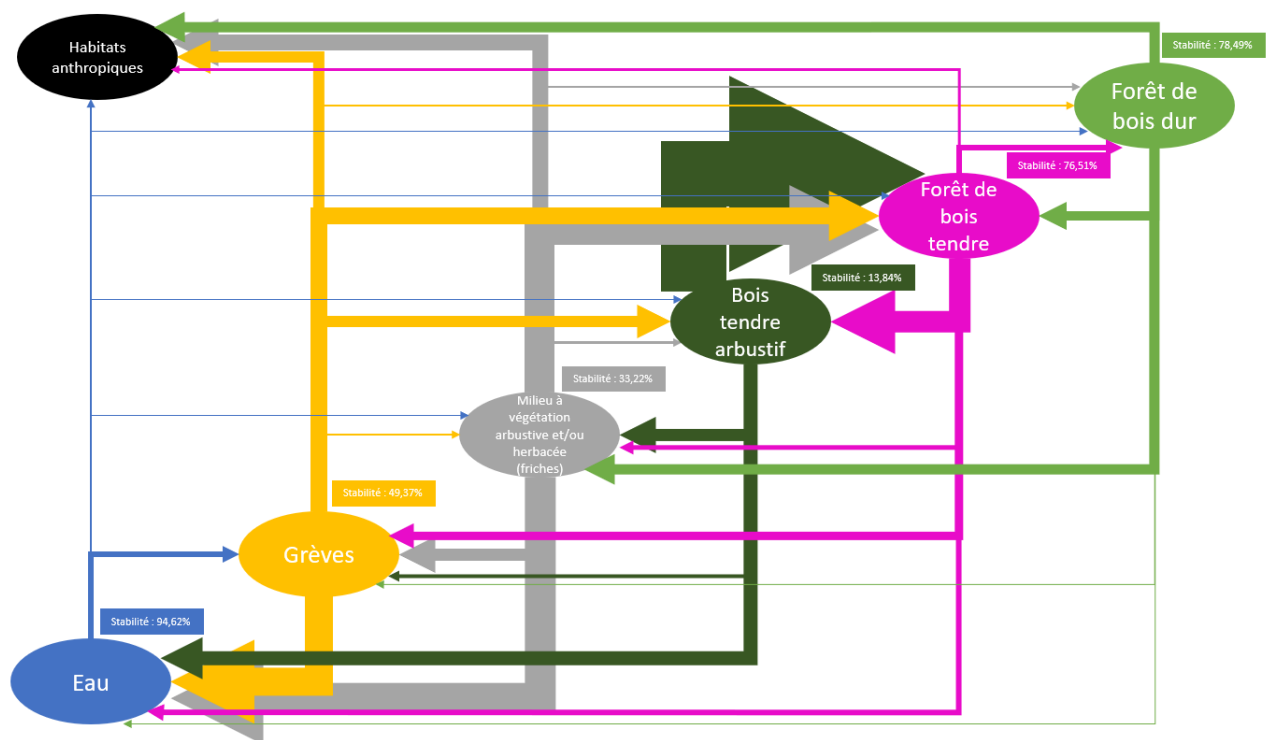


Figure 10 : Diagramme de flux des habitats entre 2005-2015

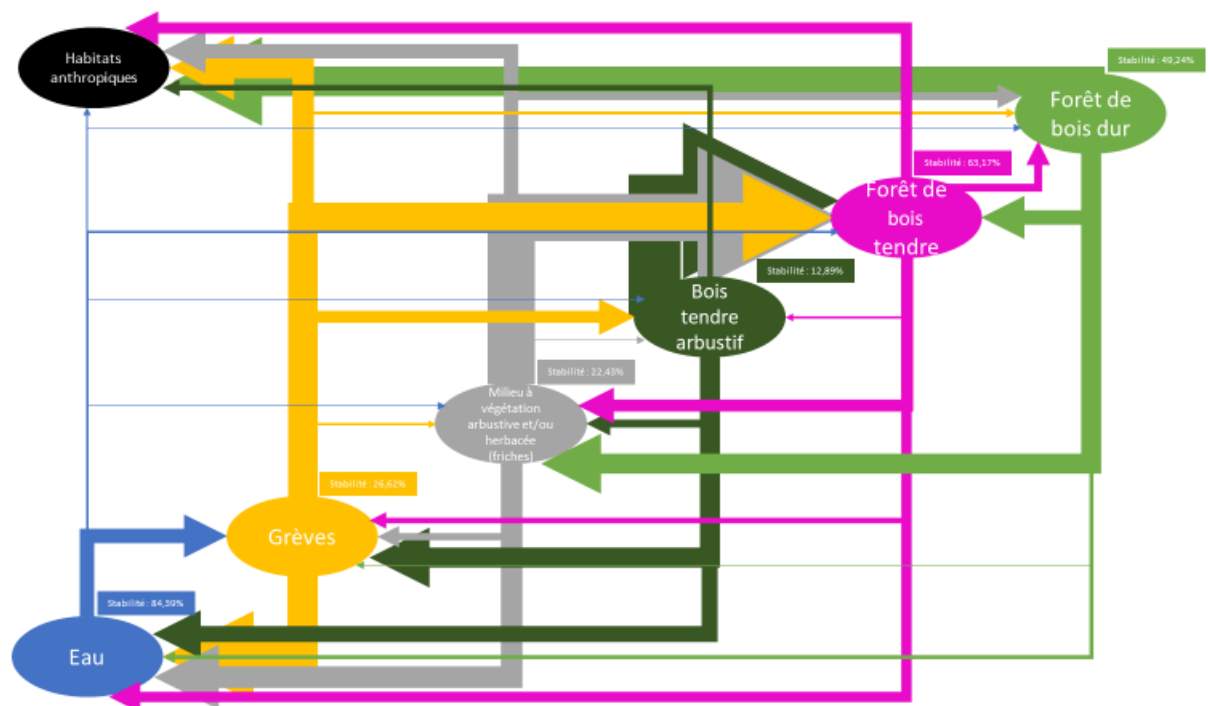


Figure 11 : Diagramme de flux des habitats entre 1999-2015

6. Discussion

Au cours de cette discussion, il va ainsi pouvoir être possible de répondre, à la vue des différents résultats, aux problématiques énoncées lors de l'introduction qui visent à analyser les changements des habitats au niveau des placettes et du tronçon pour en dégager des similarités et des différences

aussi bien entre ces deux échelles qu'avec l'ensemble de la dynamique de la Loire moyenne. Le tout dans le cadre de la succession écologique s'exerçant en Loire moyenne.

6.1. Evolution à l'échelle des placettes

Au niveau de l'ensemble des 3 zones délimitées par des placettes, l'étude a montré un net recul de la surface d'eau courante entre 1999 et 2005. Cela peut s'expliquer par deux processus. Le premier est l'incision du lit de la Loire puisque l'un des phénomènes qui caractérise la Loire est son incision depuis de nombreuses années. En effet, la Loire connaît une incision conséquente de son lit depuis le milieu du XX^{ème} siècle comme en témoigne notamment la chute du pont Wilson en 1978 (Nabet et al. 2013 ; Wintenberger et al. 2015). Ce sont principalement les activités humaines de par les aménagements ou l'extraction des sédiments et des granulats qui ont accéléré ce phénomène d'incision par un important déficit sédimentaire en découlant (Nabet et al. 2013 ; Wintenberger et al. 2015). Cette incision est ainsi causée par de nombreux facteurs comme :

- La réduction de l'espace de mobilité de la Loire par son endiguement, notamment dans la partie moyenne de la Loire ce qui concentre l'essentiel du flux sur le chenal principal tout en évitant davantage le lit majeur de la Loire (Wintenberger et al. 2015).
- La construction de divers ouvrages comme des ouvrages de navigation à partir du XIX^{ème} siècle, la construction de barrages, de seuils et d'ouvrages de franchissement créant de l'auto-curage dans le chenal principal, déconnectant les chenaux secondaires du chenal principal, influençant l'hydrologie du fleuve ou encore bloquant la mobilité des sédiments (Nabet et al. 2013 ; Wintenberger et al. 2015)
- L'extraction très importante des sédiments et granulats atteignant 200 millions de tonnes entre 1949 et 1992 ce qui, rapporté à une année, représente un prélèvement des sédiments à l'année plus élevé que le débit solide annuel (Nabet et al. 2013 ; Wintenberger et al. 2015).

Ainsi cette incision du lit se constate au niveau des 3 zones par la diminution de la surface occupée par l'eau courante de la Loire. La seconde explication est le décalage du lit de la Loire vers la rive gauche entraînant ce recul de l'eau courante, les zones analysées étant au niveau de la rive droite (Figure 12). Entre 2005 et 2015, l'eau courante est restée limitée dans les zones à l'exception de la « Zone Aval » où la surface de l'eau courante a réaugmenté de 3,28% à 54,01%. Ce phénomène particulier s'explique par la mise en place, au cours de cette période, d'une annexe hydraulique correspondant à un bras secondaire au nord de la zone, tandis qu'au sud, là où se trouve le lit de la Loire, l'eau courante est toujours absente. La mise en place de ce bras secondaire pourrait être corroborée notamment par l'analyse des mesures topographiques à ce niveau.

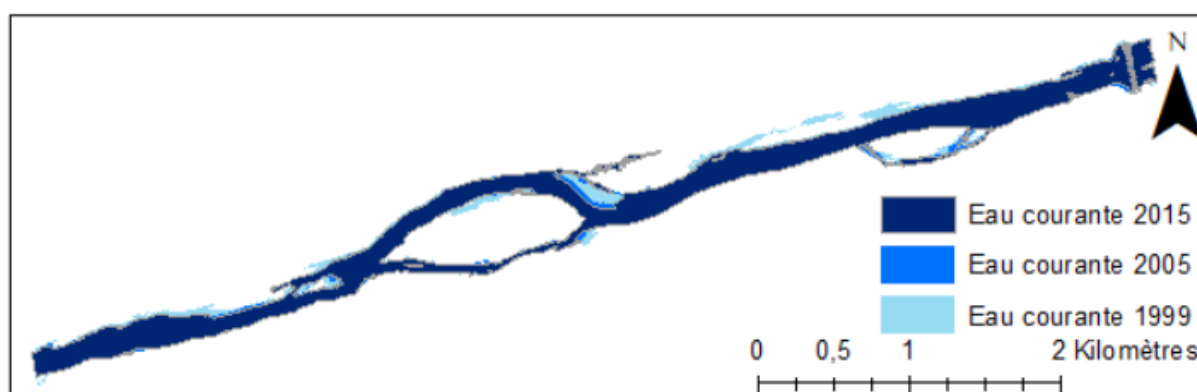


Figure 12 : Evolution du lit de la Loire en 1999, 2005 et 2015

Par ailleurs, en observant les données des 3 zones en 1999 et 2005, il est possible d'affirmer que ces milieux sont particulièrement récents et pionniers puisque seulement l'eau courante et le sable étaient

observables, sans aucun couvert végétal recensé. Le recul de l'eau courante se faisant au profit des bancs de sable.

À partir de 2005, plusieurs phénomènes sont observables. Tout d'abord, qu'importe la zone analysée on observe une diversification des habitats et une évolution dans le sens de la succession écologique.

Dans un premier temps, au niveau des 3 placettes, on constate l'apparition des plantes exotiques et invasives et notamment la jussie et la paspale. Cela est cohérent par rapport à l'évolution actuelle de la Loire moyenne avec la prolifération depuis le début du millénaire de deux jussies (*Ludwigia peploides* et *Ludwigia grandiflora*) et de la paspale à deux épis (*Paspalum distichum*) (Cornier 2002 ; Ruaux 2008 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). C'est d'autant plus pertinent de les constater ici puisque ces espèces se développent au niveau des berges et des grèves exondées, ce qui est le cas au sein des zones délimitées par les placettes (Cornier 2002 ; Ruaux 2008 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

Au niveau des placettes « Aval zone Amont », on constate que le sable qui occupait 100% de la zone en 2005 a été remplacé à la fois par des peuplements denses de jussies ou de paspales mais également par de la végétation pionnière alluviale des sables secs du lit mineur ce qui implique une évolution progressive de la succession écologique passant d'un terrain nu au premier stade de végétation. En effet, cette végétation a pu se développer puisque l'eau courante étant en recul voire inexistante comme en 2005, lors de la période estivale, le substrat grossier (sableux et graveleux ici) engendre des conditions mésoxérophiles à xérophiles qui favorisent les espèces très résistantes à la sécheresse (Cornier 2002).

Enfin, au niveau de la « Zone Aval » qui est la zone la plus grande, l'évolution dans le sens de la succession écologique est encore plus progressive puisque près de 10% de sa surface est recouverte par de la végétation arbustive et arborescente et notamment à bois tendre qui sont principalement les saulaies arbustives, les saulaies-peupleraies arborescentes (essentiellement à *Salix alba*) et les bois tendres colonisés par les bois durs. Cela s'explique du fait que très souvent les espèces pionnières qui se développent sur des terrains nus correspondant aux grèves sont des salicacées. (Cornier 2002 ; Wintenberger et al. 2015 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). Cela n'est pas surprenant de les observer puisqu'il ne suffit que de 2 à 7 ans pour passer d'un stade de terrain nu à un stade recouvert de cette végétation pionnière (Abida 2007). Par ailleurs, la croissance des salicacées pouvant atteindre 2 m dès la première année (Cornier 2002), il est probable de voir ces salicacées au stade arborescent puisqu'il faut au minimum 9 ans pour passer d'un sol nu à une forêt de bois tendre (Cornier 2002 ; Abida 2007). Cette évolution vers un stade ligneux est classique de la Loire moyenne puisque depuis 1969 s'observe une forte augmentation de la végétation ligneuse de part une diminution de la bande active de la Loire permettant le développement de cette végétation au niveau des annexes hydrauliques et des bras secondaires (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

6.2. Evolution des habitats de la succession écologique à l'échelle du tronçon

6.2.1. Surface similaire des habitats à travers les années

Ainsi concernant la stabilité des différents habitats de cette succession écologique, que ce soit entre 1999-2005, 2005-2015 et entre 1999-2015, ce sont les habitats concernant l'eau qui sont les plus stables avec plus de 80% de surface similaire. L'évolution d'une dizaine à une vingtaine de pourcents s'explique par un processus d'incision du lit de la Loire ce qui implique que la Loire, en gagnant en profondeur, va perdre de la largeur et donc perdre légèrement de surface (Nabet et al. 2013 ; Wintenberger et al. 2015).

Par la suite, sur l'ensemble de la période allant de 1999 à 2015, les deux habitats les plus stables sont les forêts avec la forêt de bois tendre et de bois dur. Cette stabilité s'explique notamment par la

dynamique d'évolution de ces habitats. La forêt de bois tendre a une stabilité pouvant aller de 5 à 10 ans pour les zones les plus proches du lit de la Loire et donc les plus soumises aux inondations tandis que les portions de forêt de bois tendre plus éloignées peuvent avoir une longévité de plusieurs dizaines d'années (Cornier 2002). La forêt de bois dur est l'habitat végétal le plus stable avec une dynamique d'évolution faible (Geerling et al. 2006). En effet, il est courant de trouver 90% d'une forêt de bois dur sur des sites ayant plus de 15 ans (Geerling et al. 2006). Ainsi, si l'analyse avait été faite à une échelle de temps plus grande, et sans un impact de l'Homme, la forêt de bois dur aurait été probablement plus stable que la forêt de bois tendre.

L'habitat des grèves a une stabilité plutôt faible entre 1999-2015. Cette stabilité moyenne s'explique par le fait que 2 processus s'opposent sur le site. Les grèves et les bancs de sables sont des milieux très contraignants pour l'installation de la végétation pionnière puisqu'elles sont particulièrement soumises aux inondations tout en pouvant atteindre des températures particulièrement élevées en été, jusqu'à 50°C, ce qui va ralentir le développement d'une végétation sur eux. (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). Par ailleurs, si les conditions sont réunies pour le bon développement des espèces pionnières, il ne suffit que de 2 à 7 ans pour qu'une grève soit entièrement recouverte par de la végétation (Abida 2007). Enfin, les grèves étant avant tout des sédiments, les phases de crues et de décrues engendrent des processus de transport des sédiments entraînant le déplacement des barres sédimentaires et donc une stabilité limitée de cet habitat. D'autre part, l'eau et les grèves étant des habitats particulièrement connectés, d'une année sur l'autre, en fonction des débits en vigueur, des bancs de sables présents à une année n peuvent être recouverts à une année n+1.

L'habitat des milieux à végétation arbustive et/ou herbacées (friches) a une stabilité également limitée. Cela s'explique notamment par le fait que les essences occupant cet habitat sont pour l'ensemble des espèces annuelles ou biennuelles (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016) impliquant une forte variabilité de cet habitat pouvant être remplacé rapidement par les strates suivantes ou précédentes de la succession écologique.

L'habitat de bois tendre arbustif est le plus instable sur la période d'étude de 16 ans avec seulement 12,89% de la surface de 1999 toujours inchangée en 2015, avec une stabilité faible également entre 1999-2005 et 2005-2015. Cette instabilité est classique puisque cet habitat est composé d'une végétation pionnière à croissance rapide pouvant ainsi s'installer rapidement sur un milieu mais également évoluée en un court laps de temps vers la strate suivante de la succession écologique qui est la forêt de bois tendre (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). À contrario, cet habitat est également soumis aux risques des crues créant des pressions sur les espèces comme la submersion par les eaux et les sédiments, l'arrachage par la force de traînée de l'eau ou encore l'érosion du substrat pouvant détruire ces bois tendres arbustifs (Abida 2007 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). L'ensemble de ceci expliquant cette forte instabilité.

Ainsi, il est possible de simplifier ces observations en affirmant, que les milieux les plus pionniers de la succession écologique sont très instables tandis que cette stabilité est forte au niveau des stades terminaux de la succession écologique (Forêt de bois tendre et Forêt de bois dur).

6.2.2. Modifications des habitats

Concernant l'habitat de l'eau, les portions qui ont été modifiées sont devenues majoritairement des grèves, qu'importe la période de l'étude. Ce résultat était attendu, puisque l'incision du lit de la Loire réduisant légèrement sa largeur ainsi que la proximité très forte entre l'eau et les grèves correspondant aux bancs de sable font que ces deux habitats sont particulièrement interconnectés. Ainsi, l'eau, outre sa très grande stabilité présentée dans la partie précédente, a une évolution dans le

sens de la succession pour devenir essentiellement des grèves. L'incision du lit est également l'explication majeure de la légère diminution de la surface de l'eau. Cette diminution s'observe depuis de nombreuses années puisque cette diminution est constatée depuis 1969 au niveau de la Loire moyenne (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée se sont développés sur cet habitat d'eau de par la croissance de la végétation la plus hydrophile que celui-ci possède. En effet les communautés aquatiques, les communautés des basses vaseuses du lit mineur (*Bidention tripartitae*), les communautés d'amphiphytes ainsi que les communautés d'hélophytes, mégaphorbiaies hygrophiles, les magnocariçaies ou encore les phalaridaies sont des communautés nécessitant un milieu humide et notamment des eaux stagnantes au niveau des berges, des annexes hydrauliques ou encore des espaces marécageux pour proliférer (Cornier 2002, Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). L'incision du lit permet d'augmenter ces espaces en les déconnectant du lit majeur favorisant ces communautés (Cornier 2002). En effet, ces diverses communautés représentaient 1,58% de la surface totale en 1999 pour passer à 2,1% de la surface en 2005. Cela explique également pourquoi 24,85% de la surface de l'eau courante qui a été modifiée entre 1999 et 2005 l'a été pour devenir un milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches). Enfin des éléments des communautés aquatiques ont également besoin d'eau courante comme des herbiers d'hydrophytes dont les renoncules aquatiques mais aussi *Potamogeton nodosus*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, ou encore *Stuckenia pectinata*. Or ces plantes ont également proliféré ces dernières années pouvant également expliquer la dernière observation (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

Dans le cas des grèves, l'évolution est plus diversifiée. Qu'importe la période de l'étude, trois dynamiques sont observables. Premièrement, une importante proportion de la surface des grèves évolue dans le cadre d'un rajeunissement pour redevenir un habitat d'eau. La très forte proximité entre ces deux habitats étant la raison principale comme expliqué précédemment. Deuxièmement, depuis le début du XXIème siècle, de nombreuses espèces exotiques et invasives comme la paspale à deux épis *Paspalum distichum* et deux jussies qui sont *Ludwigia peploides* et *Ludwigia grandiflora* ont prospéré au niveau de la Loire moyenne. Ces espèces typiques des eaux stagnantes colonisent notamment les grèves exondées expliquant également l'évolution d'une partie des grèves vers l'eau (Cornier 2002 ; Ruaux 2008 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Enfin, une proportion conséquente évolue également dans le sens de la succession écologique pour devenir par ordre d'importance de la forêt de bois tendre et des bois tendres arbustifs puisque les saules et les peupliers, qui sont les essences des bois tendres arbustifs et de la forêt de bois tendre, privilégient ces milieux pour s'y développer en premier (Cornier 2002, Abida 2007 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Wintenberger et al. 2017 ; Lefebvre et al. 2019). L'évolution plus importante en forêt de bois tendre qu'en bois tendre arbustif s'explique tout simplement par le fait que la forêt de bois tendre a une gamme de taille de 2 à 16m de haut avec une hauteur moyenne de 6,5m et que les salicacées ont une croissance rapide (Cornier 2002). En outre, une importante proportion des grèves a été remplacée par des habitats autres que ceux de la succession écologique, par un impact indéniable de l'Homme. La diminution de la surface des grèves sable sur la période d'étude s'explique de plusieurs raisons. La colonisation énoncée par la paspale et les jussies ainsi que des conditions climatiques et hydriques ayant été favorables pour la croissance des salicacées sont des arguments.

Le troisième habitat de la succession écologique, le milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) évolue essentiellement en 3 habitats. Tout d'abord, dans le sens de la succession écologique pour devenir de la forêt de bois tendre. Ensuite, dans le sens d'un rajeunissement pour devenir de l'eau et enfin une partie quitte le cadre de la succession écologique pour devenir des habitats anthropisés. Le rajeunissement de cet habitat en eau est expliqué dans le paragraphe lié à l'eau. La forte croissance des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) du fait que de nombreuses prairies et espaces de pâturages sont recouverts par des fruticées (Greulich, Guitton et Lacroix 2016). Cette dynamique s'explique notamment par l'abandon des pratiques pastorales dans les prairies, l'évolution des landes ou encore la dégradation par l'Homme des pelouses (Cornier 2002 ; Geerling et

al. 2006, Di Pietro et al. 2017). Ce phénomène est très explicite dans les résultats puisque 55,82% de la surface des prairies de 1999 est devenue un milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) tandis que les fruticées ont augmenté continuellement sur la période d'étude passant de 0,82% de la surface totale en 1999 à 1,47% en 2005 et 2,77% en 2015. La grande diversité des groupements végétaux présents dans cet habitat justifie l'origine multiple de la croissance du milieu à végétation arbustives et/ou herbacée (friches).

Pour l'habitat bois tendre arbustif, la très grande majorité de cet habitat a évolué dans le sens de la succession écologique pour devenir l'habitat suivant qui est la forêt de bois tendre du fait d'une végétation similaire mais avec un âge plus important pour la forêt (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Greulich, Guitton et Lacroix 2016). Par opposition, des surfaces ont également été modifiées dans le sens d'un rajeunissement pour devenir essentiellement des grèves et de l'eau sur l'ensemble de la période de 16 ans bien qu'entre 1999 et 2005 le rajeunissement s'est principalement fait au profit du milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches). Cette évolution entre 1999 et 2005 s'explique qu'en 2004 et en 2005 des campagnes de coupe ont été réalisées entraînant l'évolution d'une partie des bois tendres arbustifs vers le milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) puisque certaines saulaies buissonnantes comme la saulaie buissonnante à *Salix acuminata* sont très proche des phragmitaies et des mégaphorbiaies hygrophiles (Cornier 2002). L'évolution du bois tendre arbustif vers les grèves et l'eau courante peut s'expliquer par le fait que ce milieu, étant très proche du lit mineur de la Loire moyenne comme notamment les saulaies buissonnantes à *Salix triandra* et *Salix viminalis* ou encore les saulaies buissonnantes à *Salix purpurea*, ont pu subir des phases de crues ou du moins d'hauteur d'eau plus importantes détruisant des portions des bois tendres arbustifs pour rajeunir en eau ou en grèves (Cornier 2002). La grande instabilité du bois tendre arbustif et les phénomènes présentés ici expliquent cette régression de la surface de cet habitat. La dévégétalisation énoncé par les actions de coupe explique également cette régression puisque ce procédé vise à détruire la végétation ligneuse pionnière constituant un frein aux écoulements de l'eau (Wintenberger et al. 2015). Les techniques pouvant être la coupe à blanc sans intervention sur le système racinaire, la coupe à blanc avec la décompaction des sédiments ou encore la coupe à blanc avec l'abaissement de la cote topographique (Wintenberger et al. 2015).

Les portions de la forêt de bois tendre qui ont évolué ont principalement rajeuni sur la période de 1999 à 2015 pour évoluer essentiellement en bois tendre arbustif, en milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches), en grèves et en eau tandis que l'évolution dans le sens standard de la succession écologique vers la forêt de bois dur a été plutôt limitée. Cette faible évolution vers la forêt de bois dur s'explique, comme pour le bois tendre arbustif, par la dévégétalisation engendrant un rajeunissement vers les strates de bois tendre arbustif et de milieu à végétation arbustive et/ou herbacée (friches). En effet, les saulaies buissonnantes proches de cette dernière ayant pu évoluer en forêt de bois tendre restent à proximité notamment des roselières, des phragmitaies et des mégaphorbiaies dont un impact de coupe par l'Homme sur cette forêt peut favoriser ces essences herbacées. Par ailleurs, le processus d'évolution d'une forêt de bois tendre vers une forêt de bois dur est très lent. L'installation des essences de bois dur est freinée par la compétition avec les essences de bois tendre déjà bien installées notamment pour la lumière ou encore le développement des racines (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Une fois cette forêt intermédiaire développée, il faudra du temps encore supplémentaire pour que les essences à bois dur remplacent celles de bois tendre, ce qui sera rendu néanmoins possible du fait que les plantules des arbres de la forêt de bois dur sont moins héliophiles que ceux de la forêt de bois tendre et nécessite donc moins de lumière pour croître ce qui va engendrer à terme le remplacement de la forêt de bois tendre vers la forêt de bois dur (Cornier 2002 ; Abida 2007 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Ce processus peut prendre plusieurs dizaines d'années suivant les conditions et les actions de l'Homme justifiant également cette faible évolution vers la forêt de bois dur (Abida 2007). Concernant le rajeunissement de cet habitat vers les grèves et l'eau, cela peut s'expliquer par des variations de hauteurs topographiques, des impacts de l'Homme ou encore des dégradations des portions les plus exposées aux crues durant la période de l'étude. Pour finir, une

proportion limitée de la forêt de bois tendre a été totalement modifiée par l'action de l'Homme pour devenir des espaces anthropisées, uniquement à partir de 2005. La croissance de la surface de la forêt de bois tendre de plus de 26% s'explique également par l'incision du lit de la Loire. En effet, la végétation pionnière étant des salicacées, qui sont les essences principales de cette forêt, celle-ci se développe notamment au niveau des annexes hydrauliques périodiquement inondées. Ainsi l'érosion du lit de la Loire permet à cette végétation d'évoluer très rapidement vers le stade de forêt de bois tendre comme l'immersion de ces zones est rendue moins fréquente (Wintenberger et al. 2015). C'est pourquoi, en plus de la croissance de cet habitat, 28,34% de la surface des eaux stagnantes qui a été modifiée entre 1999 et 2015 et 30,26% pour les grèves sont devenues de la forêt de bois tendre.

Enfin, concernant le stade climax de la succession écologique de l'habitat ligérien qui est la forêt de bois dur, outre la majorité qui est restée stable sur les périodes de l'analyse, l'évolution s'est faite essentiellement pour devenir de la forêt de bois tendre, des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) et des habitats anthropiques. L'évolution la plus importante concerne les habitats anthropiques ce qui dénote une nouvelle fois que sur le terrain d'étude, le milieu n'est pas réellement naturel mais fortement impacté par l'Homme. Par ailleurs, à plusieurs endroits de la forêt de bois dur, l'Homme a pu couper des portions de forêt ou encore des chutes arbres naturelles a pu avoir lieu, que ce soit par le vent ou d'autres phénomènes naturels, engendrant la mort d'espèces à bois dur permettant ainsi le remplacement de celles-ci par des essences de la forêt de bois tendre et des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) pouvant profiter de terrain à nouveau découvert de l'ombrage des arbres.

L'augmentation de la surface de la végétation ligneuse, que ce soit la forêt de bois tendre et la forêt de bois dur s'explique par l'incision du lit de Loire entraînant la déconnexion de nombreuses annexes hydrauliques et autres bras secondaires favorisant d'autant plus cette croissance par diminution de l'immersion des individus ainsi que par la construction des levées séparant le lit endigué et le val (Wintenberger et al. 2015 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Di Pietro et al. 2017). En outre, l'abandon des activités et des usages de la Loire depuis le milieu du XIXème siècle et la diminution des pratiques pastorales depuis 1950 contribuent également à cette croissance (Cornier 2002 ; Di Pietro et al. 2017). Par ailleurs, concernant la composition en elle-même, des espèces exotiques sont apparues comme l'Ailanthé (*Ailanthus altissima*), l'érable negundo (*Acer negundo*) ainsi que le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Concernant la première, cette croissance a été observée dans les données en n'étant pas recensée en 1995 et 2005 mais représentant 0,22% de l'ensemble de la surface d'étude en 2015. L'érable negundo est une espèce se retrouvant principalement au niveau des portions pionnières de la forêt de bois tendre ainsi que dans des zones plus ombragées en remplaçant des essences indigènes de cette forêt à la suite d'une perturbation (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Enfin, le robinier faux-acacia s'installe préférentiellement au niveau de la forêt de bois dur principalement celle pouvant être impactée par l'Homme (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cette croissance est également observable à travers les données recueillies puisque les zones où cette essence était fortement présente, c'est-à-dire les robineraies, ont augmenté de 0,03% de la surface totale en 1999 à 0,79% en 2015. Enfin, notons que la croissance des fruticées et des fourrés, qui a été mentionnée est bénéfique aux forêts puisque celles-ci vont être des précurseurs de la colonisation par les forêts de bois dur (Cornier 2002). Cela peut expliquer la croissance de la forêt de bois dur à partir des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches).

Pour finir, les différents habitats anthropisés, qui pour rappel sont les cultures permanentes, les espaces verts artificialisés, non agricoles, les prairies, les terres arables et les zones urbanisées, représentent plus du tiers de l'ensemble de la surface analysée ce qui démontre que la portion de la Loire moyenne étudiée rentre dans la catégorie des milieux semi-naturels et remet en question le caractère sauvage de la Loire. Ainsi, l'impact de l'Homme est conséquent du fait que, outre les campagnes de dévégétalisation qui ont été menées sur le bois tendre arbustif et la forêt de bois tendre,

des espaces ont été totalement remplacés par des espaces totalement anthropiques sans aucune trace de nature puisque l'habitat zones urbanisées, représentant les villes, a cru de 115,63% tandis que des digues sont observables tout le long du tronçon analysé. L'accroissement de l'artificialisation du milieu et de la Loire s'explique par le développement des routes et des bâtiments ainsi que par la lutte contre les crues (Di Pietro et al. 2017). De plus, la surface des prairies est également en recul depuis 1969 (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Classiquement ces prairies sont majoritairement remplacées par des terres arables ou des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) (Greulich et al. 2011). Les données de l'étude ont montré que ce sont majoritairement les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) qui ont le plus profité du déclin des prairies (55,82% entre 1999 et 2015) sans doute de par le processus d'enfrichement et l'abandon des pratiques pastorales (Greulich et al. 2011 ; Di Pietro et al. 2017). Au sein, de l'habitat prairies, une dynamique avait été également remarquée qui était la croissance des prairies à chiendents (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cela se retrouve dans les données puisque, bien qu'il y ait une petite chute de la présence de cette prairie entre 2005 et 2015, sur l'ensemble de la période la surface des prairies à chiendents est passée de 237 680,50 m² en 1999 à 286 672,80 m² en 2015. Cela peut s'expliquer du fait de l'eutrophisation des sols alluviaux de la Loire moyenne ainsi que l'apparition de chiendents hybrides très compétitifs qui sont *Elytrigia campestris x intermedia* au niveau des sites élevés et secs ainsi que *Elytrigia campestris x repens* au niveau des sites plus humides (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

6.3. Comparaison entre l'évolution de l'occupation des sols au niveau des placettes et du tronçon

L'analyse effectuée entre la dynamique d'évolution au niveau des différentes zones des placettes et du tronçon sont parfaitement similaires. Premièrement, le recul de la surface en eau courante observé de manière conséquente sur les zones, à l'exception des placettes de la « Zone Aval » de par la création d'un petit bras secondaire entre 2005-2015, se retrouve bel et bien à l'échelle du tronçon pour devenir dans les deux cas des grèves. Deuxièmement, la prolifération des espèces exotiques envahissantes comme les 2 espèces de jussies (*Ludwigia peploides* et *Ludwigia grandiflora*) et la paspale à deux épis (*Paspalum distichum*) est observable sur les zones des placettes et le tronçon. Enfin, le développement de la végétation pionnière sur les zones pour devenir soit de la végétation pionnière alluviale des sables secs du lit mineur au niveau de « Aval Zone Amont », soit de la végétation ligneuse pionnière arbustive avec les saulaies arbustives ou arborescentes avec les saulaies-peupleraies arborescentes (Saulaies à *Salix alba*) sont pertinentes à la fois vis-à-vis de l'analyse à l'échelle du tronçon avec un développement des espèces pionnières et de la forêt de bois tendre ainsi que vis-à-vis de l'évolution classique et attendue de la succession écologique de l'hydrosystème ligérien. Par ailleurs, le développement d'une Saulaie-peupleraie arborescente et notamment de la saulaie à *Salix alba* est logique puisque cette saulaie est la formation arborescente la plus pionnière au niveau de la Loire en se développant sur des sites topographiquement bas à proximité du lit mineur de la Loire (Cornier 2002).

6.4. Comparaison avec l'évolution de la Loire moyenne

En replaçant l'analyse effectuée sur des études déjà existantes au niveau de la Loire moyenne, il est possible d'affirmer que de nombreuses observations sont cohérentes.

Tout d'abord concernant l'occupation des sols, les données ont révélé que les habitats de l'eau courante et des forêts étaient les plus présents ce qui est le cas sur des échelles plus larges de la Loire moyenne (Greulich et al. 2011). Le caractère artificiel du tronçon avec des habitats très anthropisés non compatibles avec les inondations est également cohérent avec une grande proportion de terres arables, de prairies et de zones urbanisées notamment (Greulich et al. 2011 ; Di Pietro et al. 2017). La proportion des terres arables et des zones urbanisées étant comprise entre 15% et 46% comme dans

l'étude de Di Pietro et al. (Di Pietro et al. 2017). Le constat que les espaces verts artificialisés, non agricoles et les cultures permanentes sont très peu présents est vérifié puisque sur la Loire moyenne, les premiers ne représentent que 7 à 8% de l'occupation des sols tandis que les vignes et vergers sont présents très sporadiquement et sur des toutes petites surfaces (Greulich et al. 2011 ; Di Pietro et al. 2017). Par ailleurs, sur des secteurs plus larges de la Loire moyenne s'observent également des prairies très diversifiées et notamment humides, mésophiles et mésoxérophiles très liées à des activités de pâturage ou de fauche avec de 9% à 19% d'occupation des sols correspondant à ces habitats (Cornier 2002 ; Di Pietro et al. 2017). En outre, les espaces artificialisés comme les zones urbanisées représentent de 7% à 15% de la surface du tronçon dans l'étude ce qui est également observable dans la bibliographie (Greulich et al. 2011 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016 ; Di Pietro et al. 2017). Une observation étonnante en revanche est que les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée sont peu représentés sur la Loire moyenne (moins de 1% de la surface) tandis que ceux-ci sont plus présents ici (Greulich et al. 2011). De plus, l'étude de Greulich, Guitton et Lacroix 2016 indique qu'entre 1969 et 2000, les habitats exploités économiquement par l'agriculture (cultures permanentes, prairies et terres arables) représentaient 45% du milieu, sur notre période d'analyse, ceux-ci ne représentent seulement 14,71% de la surface en 2015 ce qui montre que ce tronçon est quelque peu particulier de ce point de vue-là.

La stabilité est difficilement comparable avec l'analyse du rapport EV2B (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) puisque la période d'analyse s'étend sur 31 ans soit près du double de la période d'analyse de ce rapport. En effet, l'ensemble des habitats ont une stabilité inférieure à 30% généralement alors que dans ce rapport, de nombreux habitats ont une stabilité de plus de 50% que ce soit entre 1999-2005, 2005-2015 et 1999-2015.

La croissance de l'habitat milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) qui est la plus importante du terrain d'étude, de l'eau stagnante et de la zone urbanisée sont des faits cohérents avec la Loire moyenne puisque, dans le cas du premier habitat celui-ci a cru en passant de moins de 1% de la surface globale de la Loire moyenne en 1969 à entre 3% et 7% en 2000 (Greulich et al. 2011). À contrario, la décroissance de la surface en eau courante liée à la Loire est pertinente de par l'incision de son lit (Greulich et al. 2011 ; Nabet et al. 2013 ; Wintenberger et al. 2015 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016, Di Pietro et al. 2017). De plus, des surfaces en eau qui ont évolué sont principalement devenues des grèves, des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée ainsi que de la forêt de bois tendre ce qui est en accord avec l'évolution globale de la Loire moyenne (Greulich et al. 2011).

La décroissance des espaces verts artificialisés, non agricoles se retrouve également puisqu'elle a chuté d'environ 7% de l'occupation totale de la Loire moyenne tout comme dans ce rapport (de 6,23% en 1999 à 0,04% en 2015) bien que cela fluctue en fonction des secteurs sur l'ensemble de la Loire moyenne (Greulich et al. 2011). En outre la décroissance de l'habitat des prairies se retrouve également sur la Loire moyenne tout en étant légèrement plus importante sur le secteur analysé puisque cet habitat a chuté de -57,58% entre 1999-2015 tandis qu'entre 1969-2000, cette valeur est comprise entre -5,2% et -40,8% (Greulich et al. 2011). Enfin, pour le cas des grèves, l'évolution est très variée sur l'ensemble de la Loire moyenne empêchant une analyse pertinente (Greulich et al. 2011)). Une évolution étonnante vis-à-vis de la bibliographie est la décroissance des terres arables (Greulich et al. 2011 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

L'augmentation de la taille des stades relativement avancés de la succession écologique avec les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) dont notamment les fruticées et les forêts est également avérée depuis de nombreuses années (Greulich et al. 2011, Di Pietro et al. 2017). En effet, concernant la végétation ligneuse, son augmentation de surface observée, que ce soit la forêt de bois tendre et la forêt de bois dur, n'est pas un phénomène exceptionnel de la période puisque cette

augmentation de la végétation ligneuse sur la Loire moyenne date des années 1950. Cette croissance est même remarquée depuis le XVIII^{ème} siècle notamment par la croissance de la ripisylve (Di Pietro et al. 2017). Par ailleurs, concernant la composition en elle-même, des espèces exotiques sont apparues comme l'Ailanthé (*Ailanthus altissima*), l'érable negundo (*Acer negundo*) ainsi que le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). La forte croissance des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches), qui est de plus de 300% entre 1999 et 2015 dans l'étude se retrouve également dans la bibliographie (Greulich et al. 2011). En effet, depuis 1969, de nombreuses prairies et espaces de pâturage sont recouverts par des fruticées (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cela s'explique notamment par l'abandon des pratiques pastorales dans les prairies, l'évolution des landes ou encore la dégradation par l'Homme des pelouses (Cornier 2002 ; Geerling et al. 2006). Enfin, entre 1969 et 2000, au niveau de la Loire moyenne, la croissance de ce milieu provenait essentiellement des forêts, de l'eau et des prairies ce qui est encore le cas sur la période d'analyse (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Par ailleurs, l'évolution des prairies vers l'habitat des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friche) se retrouve dans le rapport EP2V par le processus d'enfrichement bien que les prairies évoluent pour les 2/3 en terres arables dans celui-ci (Greulich et al. 2011). En outre, la croissance de l'habitat milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) est également causée en grande partie à l'évolution de surface des forêts, des grèves et de l'eau courante au niveau de la Loire moyenne (Greulich et al. 2011). Cette analyse se retrouve dans les données recueillies.

D'autre part, en réalisant une comparaison avec l'article de Geerling et al. 2006 traitant de la succession et du rajeunissement de la plaine d'inondation le long de la rivière Allier (France) qui correspond à la Loire amont, soit plus en amont du secteur d'étude, l'évolution des différents habitats est extrêmement similaire.

En effet, Geerling et al. 2006 ont mis en évidence, tout comme les données de ce rapport :

- Une grande stabilité et un rajeunissement des derniers stades de la succession correspondant aux forêts.
- Un développement de la forêt de bois tendre par la prolifération des salicacées et notamment du peuplier noir (*Populus nigra*).
- Une grande stabilité du chenal principal en incluant l'eau courante de la Loire et les eaux stagnantes avec une évolution dans le sens progressif de la succession écologique.
- La tendance que les habitats les plus dynamiques, c'est-à-dire ayant une surface similaire entre 2 années d'analyse faible, sont à proximité de lit du cours d'eau et les plus stables à distance du lit mineur.
- Les forêts ouvertes, les végétations pionnières et herbacées ont une faible stabilité tout en ayant une évolution à la fois progressive et inverse au sens de la succession écologique bien que dans ce rapport, ce soit plus dans le sens de la succession écologique (milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)).
- Les habitats ouverts correspondant aux grèves, aux espaces verts artificialisés, non agricoles ainsi que les prairies sont en diminution au profit notamment de la forêt de bois tendre et des arbustes des milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches).
- Une diminution de la surface des prairies.

En revanche, des observations sont tout de même différentes avec l'étude de Geerling et al. 2006 :

- Les barres sédimentaires sont considérées comme étant des habitats stables alors que les données du SIEL montrent le contraire.
- Les surfaces cultivées, correspondant aux terres arables ont une stabilité de 95% d'après Geerling et al. 2006 tandis que ce n'est pas le cas ici. À titre d'exemple, la surface des terres arables a diminué de plus de 25% entre 1999 et 2015.

- Le recul de la surface des prairies est causé par le remplacement par des terres arables dans la biblio alors ce sont essentiellement les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) pour plus de la moitié dans ce présent rapport.
- Une disparition des habitats les plus instables ce qui n'est pas le cas pour les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches).

6.5. Prolifération des espèces invasives

Le développement des espèces exotiques et invasives constaté dans les données peut être expliqué suivant quatre raisons principales qui sont (Cornier 2002) :

- Ces espèces ont une forte réactivité vis-à-vis des variations hydrologiques.
- Ces espèces envahissent d'autant plus rapidement un espace donné qu'il est perturbé, notamment par l'Homme, ce qui est le cas sur le site d'étude à proximité des milieux urbains.
- Les capacités invasives d'une espèce peuvent se révéler très soudainement.
- Ces espèces sont d'excellents compétiteurs vis-à-vis des autres espèces indigènes herbacées et ligneuses

Au niveau des milieux aquatiques et des grèves, 3 espèces invasives sont particulièrement repérables sur la Loire moyenne ainsi que sur les données recueillies lors de cette étude (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

Les deux premières concernent le genre des jussies et sont *Ludwigia peploides* et *Ludwigia grandiflora* (Cornier 2002 ; Ruaux 2008 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Ce sont des plantes originaires d'Amérique du Sud particulièrement monopolistes empêchant le développement et la croissance des groupements des végétaux préexistants par compétition comme *Bidention tripartitae* ou encore *Chenopodium rubri* sur les grèves exondées et *Hydrocharition morsi-ranae*, le *Potamion pectinati*, le *Potamion polygonifolii*, le *Charion vulgaris*, ainsi que le *Ranunculion aquatilis* dans l'eau (Cornier 2002 ; Ruaux 2008). Cela s'explique notamment en favorisant les dépôts des matières en suspension ainsi qu'en créant de l'anoxie (Ruaux 2008). La jussie est observable sur la Loire depuis le début des années 1980 mais sa prolifération a particulièrement augmenté à partir du XXIème siècle (Ruaux 2008 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Cette rapide prolifération est causée également par le mode de reproduction puisque la jussie pratique la fragmentation végétative (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Les jussies se développent sur les berges et les grèves exondées ce qui est le cas notamment en Indre-et-Loire ainsi qu'au niveau des annexes hydrauliques car les eaux stagnantes, avec une faible profondeur et un fort ensoleillement, favorisent d'autant plus leur croissance (Ruaux 2008).

La troisième espèce est la paspale à deux épis (*Paspalum distichum*) (Cornier 2002 ; Ruaux 2008 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Tout comme les jussies, il s'agit d'une espèce subtropicale américaine extrêmement monopoliste qui va avoir tendance à prendre la place par compétition aux mêmes groupements végétaux que ceux colonisés par la jussie (Cornier 2002, Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). La paspale à deux épis se trouve sur des sites tout de même plus sableux, à proximité du courant et sur des niveaux topographiques légèrement supérieurs (Cornier 2002). Cette poacée exotique rampante exerce néanmoins une action stabilisante sur les berges de la Loire (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

L'ensemble de ce processus est observable dans les données puisque ces espèces invasives n'étaient tout simplement pas recensées en 1999. En 2005, les herbiers de jussies recouvraient 0,86% de l'ensemble du tronçon d'étude tandis qu'en 2015, les sites occupés par les peuplements denses de jussies, de paspales ainsi que par les peuplements de jussies ou de paspales représentaient 2% de cette surface. Par ailleurs, cela s'observe également au niveau des zones plus précises où les placettes ont

été placées puisque dans celle à l' « Amont Zone Amont », 56,74% de la surface a été envahie par des peuplements denses de jussies ou de paspales entre 2005 et 2015 tandis que cela représente 48,26% dans la partie « Aval Zone Amont » et 0,75 % dans la « Zone Aval », toujours entre 2005 et 2015. À contrario, les groupements végétaux où ces plantes invasives agissent de manière négative par compétition ont bien régressé passant de 0,41% à 0,16% de l'ensemble de la surface d'étude pour les communautés pionnières des sables humides (*Chenopodium rubri*) entre 1999 et 2015 tandis que les communautés des basses vaseuses du lit mineur (*Bidenton tripartitae*) de 1999 s'appelant les végétations des sables et vases humides à annuelles en 2015 sont passées de 1,55% à 0,26%.

Pour finir, concernant la végétation ligneuse, des espèces exotiques ont proliféré sur la Loire moyenne comme notamment l'Ailanthus (*Ailanthus altissima*), l'érable negundo (*Acer negundo*) ainsi que le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). *Acer negundo* est une espèce se retrouvant principalement au niveau des portions pionnières de la forêt de bois tendre ainsi que dans des zones plus ombragées en remplaçant des essences indigènes de cette forêt à la suite d'une perturbation (Greulich, Guitton, et Lacroix 2016). Enfin, le robinier faux-acacia s'installe préférentiellement au niveau de la forêt de bois dur principalement celle pouvant être impactée par l'Homme (Cornier 2002 ; Greulich, Guitton, et Lacroix 2016).

6.6. Les limites de l'analyse

La réalisation de l'étude ici présente a fait l'objet de plusieurs difficultés dans l'analyse qu'il semble important de mentionner.

La première provient de la structure même des données. En effet, l'analyse de l'occupation des sols provient essentiellement de la classification de Cornier pour les années 1999 et 2005 tandis qu'il s'agit de la classification du Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien qui est prépondérante à l'année 2015. Or, ces 2 classifications ne sont pas identiques. En effet, la plus grosse différence entre celles-ci est que la classification de Cornier prend beaucoup moins en compte les essences invasives. En effet, dans la classification de Cornier, il est uniquement possible de trouver les robineraies et les herbiers de jussies tandis que dans la classification du CBNBP, il a été possible de mettre en évidence les communautés denses en asters invasifs, les robineraies, les peuplements denses d'Ailanthus, les peuplements de paspales, les peuplements denses de jussies ainsi que les peuplements denses de jussies ou de paspales. Ainsi, les espèces invasives présentent uniquement en 2015, comme la paspale par exemple, ne signifie pas qu'elles étaient absentes en 1999 et 2005. Néanmoins, si elles étaient présentes, il est fort probable qu'une augmentation de la surface de celles-ci aurait été observée, notamment au profit des eaux stagnantes et des grèves.

Le deuxième biais de l'analyse concerne l'hydrologie et donc le dimensionnement de la surface de l'eau courante. En effet, pour l'année 1999, celle-ci a été déterminée sur 4 jours avec des débits allant de 191,0 m³/s à 237,0 m³/s. En 2005, la mesure a été faite sur une seule journée pour un débit de 168,0 m³/s tandis qu'en 2015, la mesure a été faite sur 2 jours pour des débits allant de 104,0 m³/s à 138,0 m³/s. Ainsi, ces variations de débits impliquent des variations de largeur de la surface en eau de la Loire qui est théoriquement croissante quand le débit augmente. Ainsi, la diminution de la présence de l'eau courante, que ce soit à l'échelle des placettes ou à l'échelle plus large, peut également être due à la valeur du débit qui, à l'instant t des mesures, était plus grande en 1999 qu'en 2005 qui était plus grande qu'en 2015.

7. Conclusion

Les changements paysagers observables au niveau des zones délimitées par les placettes sont de trois formes. La première est une diminution de la surface en eau courante de par le processus actuel d'incision du lit de la Loire à l'exception de la « Zone Aval » (du fait de l'apparition d'une annexe hydraulique). La seconde est une évolution des habitats dans le sens progressif de la succession écologique pour devenir de la végétation pionnière herbacée pour les zones situées à l'amont ainsi que des stades encore plus progressifs de cette succession dans la « Zone Aval » avec la présence d'une végétation arbustive et arborescente, respectivement de saulaies arbustives d'une part et de saulaies peupleraies arborescentes (Saulaie à *Salix alba*) ainsi que des bois tendres colonisés par les bois durs d'autre part. La troisième étant le développement d'espèces aquatiques envahissantes comme la jussie ou la paspale.

Ces changements se retrouvent également à l'échelle du tronçon. En effet, l'incision du lit mineur est remarquable par une diminution de la surface en eau courante. Les grèves, correspondant aux sables, bien qu'évoluant pour devenir de l'eau courante et des habitats anthropisés, évoluent en grande proportion pour devenir des bois tendres arbustifs et de la forêt de bois tendre. Enfin, la prolifération des espèces envahissantes s'observe également avec la jussie, la paspale, l'Ailanthé, l'érable negundo ou encore le robinier faux-acacia.

Par ailleurs, les évolutions des habitats du tronçon analysé indiquent une légère diminution des surfaces anthropisées au profit des surfaces naturelles bien que la surface des zones urbanisées ait fortement augmenté. On peut également relever une diminution de la surface des stades les plus pionniers de la succession écologique comme les grèves et les bois tendres arbustifs et, à contrario une augmentation de la surface des stades les plus terminaux, c'est-à-dire la forêt de bois tendre et la forêt de bois dur. Les milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches) ont également explosé avec une forte croissance des fruticées qui ont tendance à fermer également la succession. De plus, les habitats les plus pionniers ont une tendance générale à évoluer dans le sens progressif de la succession écologique et inversement pour les stades terminaux. La présence de ce phénomène de rajeunissement met en lumière la présence d'une activité humaine sur la gestion de la végétation (Geerling et al. 2006).

Quand on replace l'évolution des habitats et de surcroît du paysage du secteur d'étude avec l'évolution de la Loire moyenne dans sa globalité et même vis-à-vis de la Loire amont, il est possible de constater que ces évolutions se retrouvent majoritairement dans la Loire moyenne et amont malgré quelques légères différences ce qui laisse sous-entendre que l'élargissement du site d'étude qui a été effectué pour obtenir le tronçon analysé est suffisant pour avoir une vision globalement pertinente et cohérente avec la réalité de la Loire, en « cachant » les évolutions particulières pouvant exister en un endroit bien précis.

Ainsi, bien qu'étant un milieu relativement impacté par l'Homme, la Loire possède malgré tout un caractère naturel indéniable qui nécessite d'être préservé. Par ailleurs, l'Homme, de par ses activités, peut être à la genèse de nouveaux habitats intéressants écologiquement (Di Pietro et al. 2017). C'est pourquoi il est nécessaire de réfléchir dans le futur à un développement urbain en accord avec la richesse exceptionnelle en biodiversité que la Loire a la chance de posséder (Di Pietro et al. 2017).

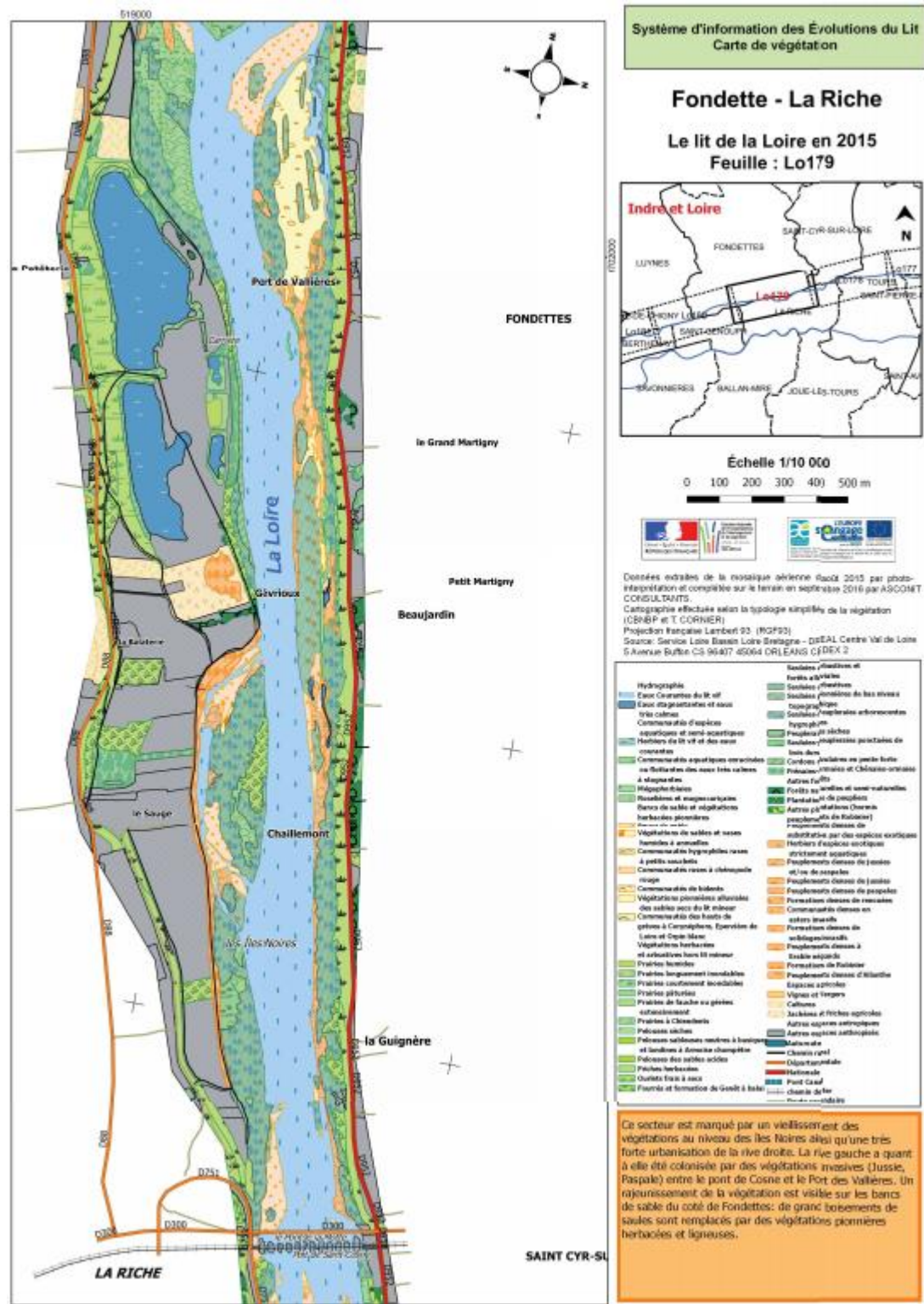
8. Bibliographie

- Abida, Hamza El., « Evaluation of Succession Velocity in Woody Plant Communities on the Middle Reaches of the Loire River in France. », Thèse de Doctorat, Hydrologie et qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques, Université de Tours & Nijmegen, 2007, p. 85.
- Brodin, P., « Le lien entre la végétation et le substrat dans les plaines inondables », PFE, Science, Université de Tours, 2015, p. 24.
- Cornier, T., « La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou: essai de modélisation de l'hydrosystème », Thèse de Doctorat, Ecosystème, Université de Tours, archives-ouvertes, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00853584>, 2002, p. 231.
- Di Pietro, F., Mehdi, L., Chaudron, C. & Moyon, F., « Le lit endigué de la Loire moyenne : de l'image de fleuve sauvage à la reconnaissance de son caractère anthropisé », In, *Noroi*, 242 / 2017, 2017, p. 7-23, DOI: 10.4000/noroi.6030.
- Geerling, G. W., Ragas, A. M. J., Leuven, R. S. E. W., van den Berg, J.H., Breedveld, M., Liefhebber, D., & Smits, A. J. M., « Succession and Rejuvenation in Floodplains along the River Allier (France) », In, *Hydrobiologia* 565, 2006, p. 71-86. DOI: 10.1007/s10750-005-1906-6
- Greulich, S., Guitton, H., & Lacroix, P., « Habitats et végétation de la plaine inondable », In, F. Moatar, & N. Dupont (Eds), *La Loire fluviale et estuarienne - un milieu en évolution* (p. 174-185), Versailles, France: Quae, 2016
- Greulich, S., Secondi, J., Richard, N., Villar, M., La Jeunesse, I., Yengué, J-L. & Carreau, C., « 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. », 2011, p. 90.
- Le Dez, M., Sawtschuk, J., & Bioret, F., « Les prairies de l'estuaire de la Loire : étude de la dynamique de la végétation de 1982 à 2014 », *Mappemonde*, no 119 (janvier), 2017, p. 18.
- Lefebvre, M., 2019. « Variabilité génétique et plasticité phénotypique pour des caractères adaptatifs à l'échelle du semis chez le Peuplier noir (*Populus nigra* L.) », Thèse de Doctorat, Science, Université d'Orléans
- Nabet, F., « Etude du réajustement du lit actif en Loire moyenne, bilan géomorphologique et diagnostic du fonctionnement des chenaux secondaires en vue d'une gestion raisonnée. », Thèse de Doctorat, Géographie et Aménagement, Université Paris I, archives-ouvertes, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01001675>, 2013, p. 410.
- Ruau, B., « Les plantes envahissantes des corridors fluviaux : traits biologiques, impacts de *Ludwigia peploides* et *L. grandiflora* en Loire moyenne et implications pour la gestion. », Thèse de Doctorat, Ecologie et Environnement, Université de Tours, archives-ouvertes, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00380073v2>, 2008, p. 292.
- Wintenberger, C., « Dynamique fluviale et végétation pionnière à Salicaceae en rivière sablo-graveleuse - Etudes in et ex situ de la survie des semis durant les premiers stades de la succession biogéomorphologique en Loire Moyenne ». Thèse de Doctorat, Sciences de la terre, Université de Tours, 2015. p. 349.
- Wintenberger, C., Rodrigues, S., Jugé, P., & Villar, M., « Survie des semis de ligneux pionniers dans les lits fluviaux : approche in et ex situ des facteurs de contrôle abiotiques et biologiques des espèces *Populus nigra* et *Salix alba* », In, *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 23 (vol. 23-n° 3), 2017, p. 233-252. DOI: 10.400/geomorphologie.11789

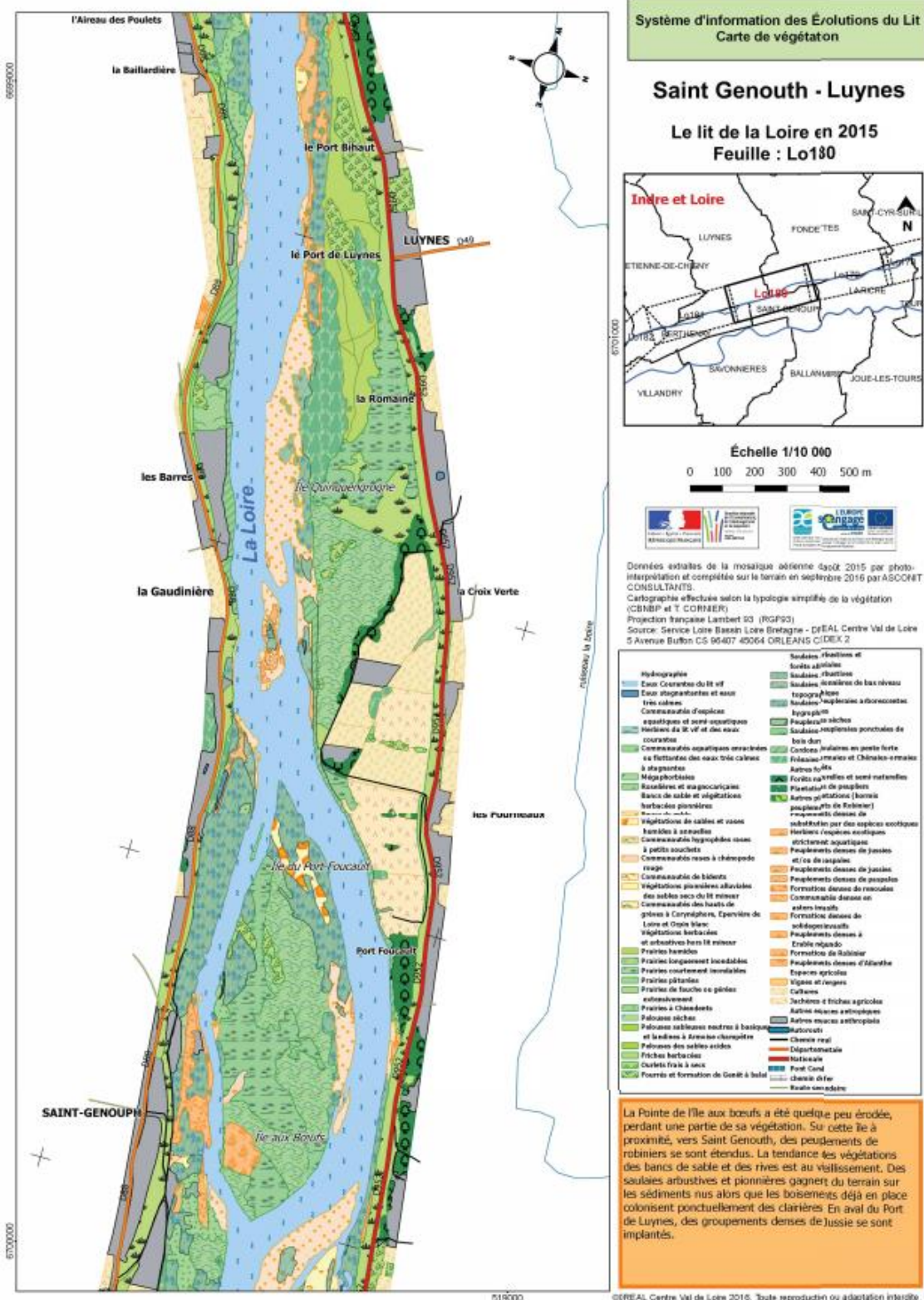
Sites internet consultés :

France, Préfecture de la région Centre Val-de-Loire, DREAL Centre-Val de Loire, *Eau, Nature, ressources minérales*, Système d'Information des Evolutions du lit de la Loire (SIEL), Disponible sur : < <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/les-donnees-du-siel-r557.html> >

9. Annexes



Annexe 1 : La fiche Lo179 de l'année 2015 (DREAL Centre Val de Loire 2016)



Annexe 2 : La fiche Lo180 de l'année 2015 (DREAL Centre Val de Loire 2016)

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

Annexe 3 : La typologie de Cornier correspondant à la typologie de 2000 (1^{ère} partie) (Greulich et al. 2011)

	Frênaie, ormaie à Fraxinus et Ulmus
	Frênaie-ormaise typique
	Fruticées
	Peupleraie sèche
	Saulaie à Salix alba L. (Saulé blanc)
	Saulaie-peupleraie à Populus nigra L. (peuplier noir)
	Saulaie-peupleraie arborescente
Milieux 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 (Bidenton tripartitae)
	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 Salix purpurea 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 (Chenopodion rubri)
	Communauté pionnière des vases humides (Nanocyperion)
	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)

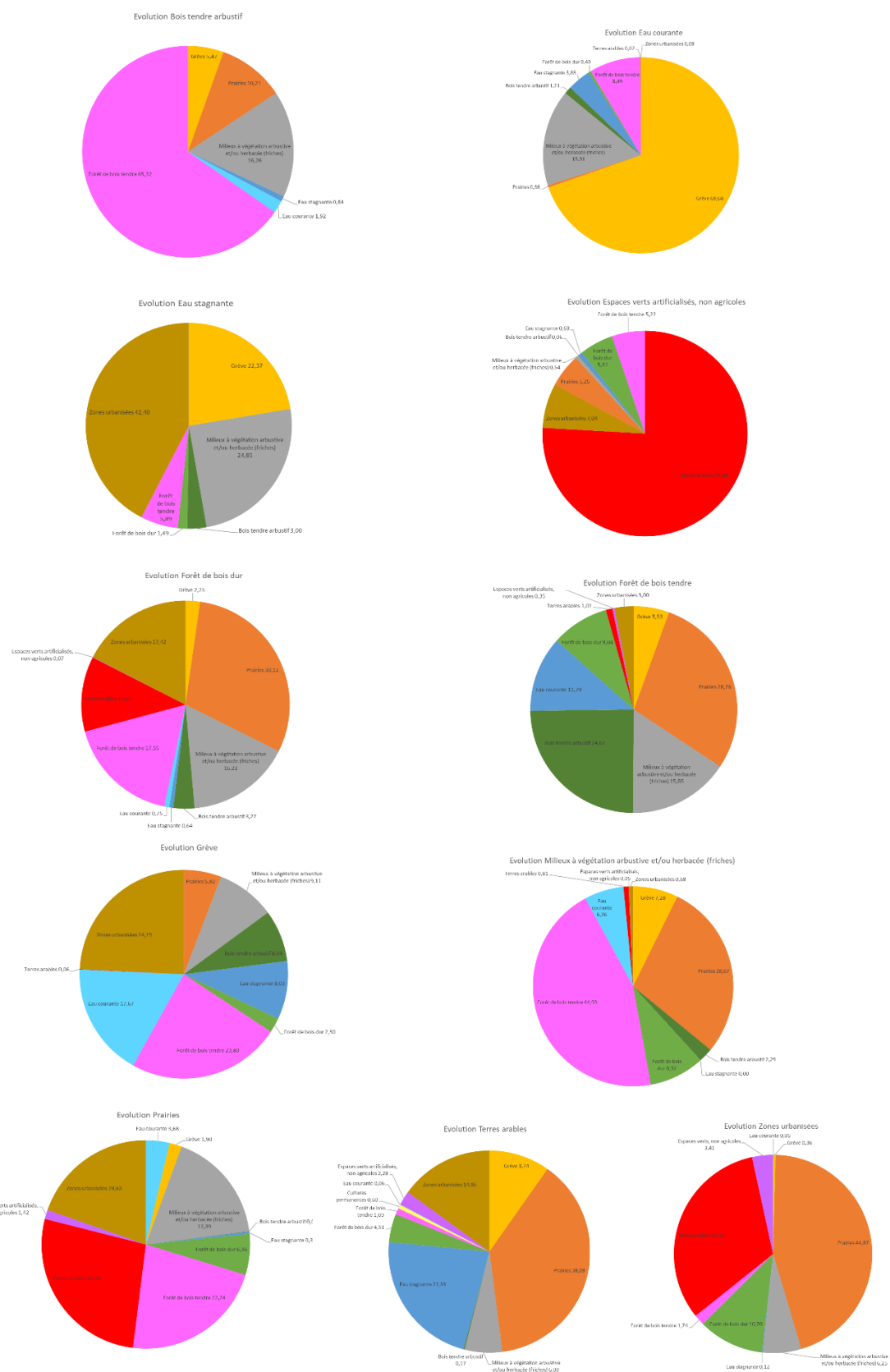
Annexe 4 : La typologie de Cornier correspondant à la typologie de 2000 (2^{ème} partie) (Greulich et al. 2011)

Habitat	1999		2005		2015	
	Surface totale (%)	Surface totale (m²)	Surface totale (%)	Surface totale (m²)	Surface totale (%)	Surface totale (m²)
Bois tendre arbustif	2,66	160096,28	1,98	118792,34	1,63	98280,00
Cultures permanentes	0,00	0,00	0,02	1385,70	0	0,00
Eau courante	23,74	1428145,35	21,26	1279479,15	22,39	1347117,96
Eau stagnante	2,09	170198,54	3,40	205156,36	4,52	272074,30
Espaces verts artificialisés, non agricoles	6,23	375192,36	0,82	49224,36	0,04	2726,49
Forêt de bois dur	5,18	311435,35	4,83	290140,11	5,59	336452,48
Forêt de bois tendre	12,27	737692,82	14,01	842907,01	15,5	932586,30
Grève	8,84	531710,38	7,59	456593,21	6,19	372391,07
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	3,17	190673,38	4,96	297783,55	13,002	782834,80
Prairies	19,54	1174785,83	20,66	1243397,86	8,28	498322,21
Terres arables	8,68	521896,74	11,84	712687,47	6,43	387160,90
Zones urbanisées	7,62	458028,54	8,64	520032,28	16,41	987632,90
Habitats anthropisés	42,07	2529903,47	41,98	2526727,68	31,16	1875842,50
Habitats naturels	57,93	3529952,12	58,02	3490851,74	68,84	4141736,90

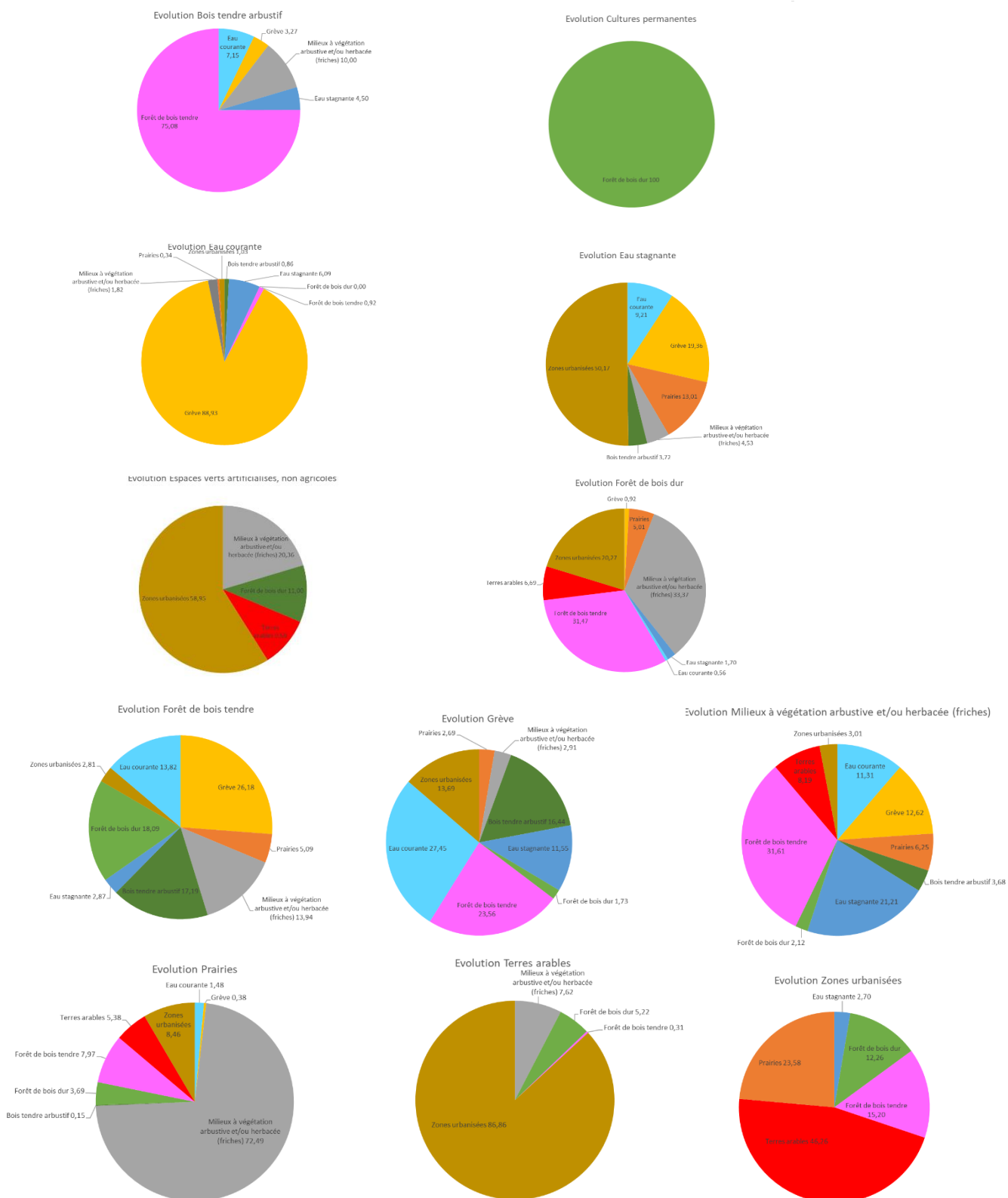
Annexe 5 : La surface en pourcentage et en m² des habitats en 1999, 2005, 2015

Habitat	1999-2005		2005-2015		1999-2015	
	Surface restée le même habitat (m²)	Surface restée le même habitat (%)	Surface restée le même habitat (m²)	Surface restée le même habitat (%)	Surface restée le même habitat (m²)	Surface restée le même habitat (%)
Bois tendre arbustif	15071,15	9,41	16439,10	13,84	20630,39	12,89
Cultures permanentes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eau courante	1166744,41	81,70	1212651,43	94,78	1167813,92	81,77
Eau stagnante	108781,55	87,02	186230,30	90,77	108931,10	87,14
Espaces verts artificialisés, non agricoles	32437,56	8,65	2726,48	5,54	2144,14	0,57
Forêt de bois dur	177779,92	57,08	227716,65	78,49	153362,48	49,24
Forêt de bois tendre	471700,25	63,94	644875,91	76,51	466026,56	63,17
Grève	206443,63	38,83	225433,62	49,37	141529,67	26,62
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches)	55023,14	28,86	98924,33	33,22	42775,63	22,43
Prairies	868184,63	73,90	450222,12	36,21	387051,40	32,95
Terres arables	292168,29	55,98	292942,84	41,10	292203,48	56,18
Zones urbanisées	281527,53	61,47	462508,39	88,94	334088,72	72,94

Annexe 6 : La proportion des surfaces restées le même habitat en pourcentage et en m² entre 1999-2005, entre 2005-2015 et entre 1999-2015

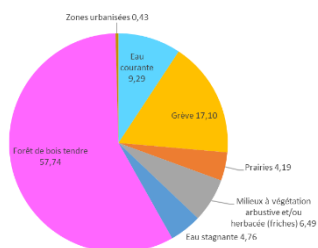


Annexe 7 : La destination des surfaces qui ont évolué pour chaque habitat entre 1999-2005 (%)

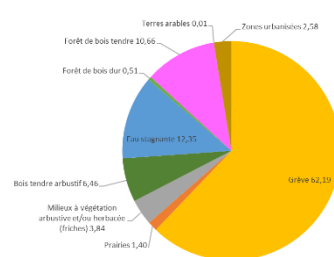


Annexe 8 : La destination des surfaces qui ont évolué pour chaque habitat entre 2005-2015

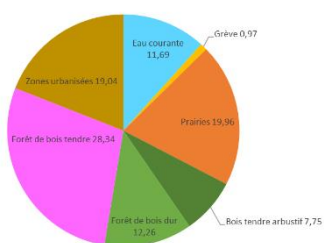
Evolution Bois tendre arbusatif



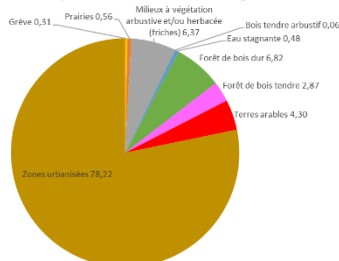
Evolution Eau courante



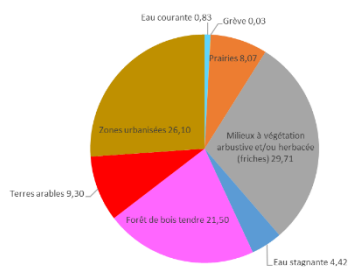
Evolution Eau stagnante



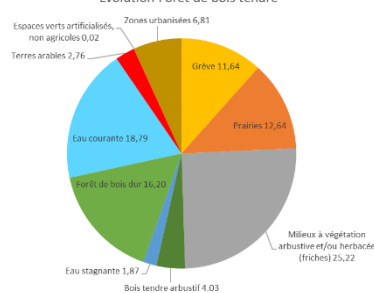
Evolution Espaces verts artificialisés, non agricoles



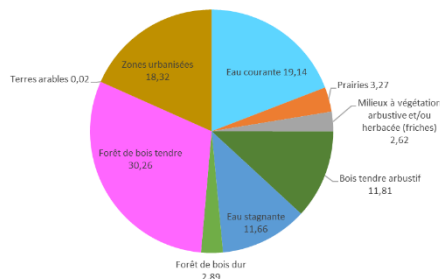
Evolution Forêt de bois dur



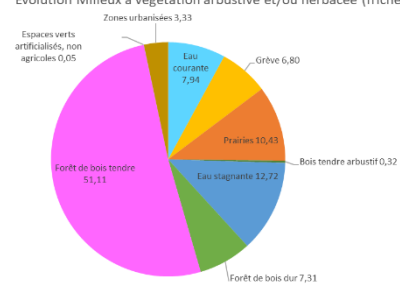
Evolution Forêt de bois tendre



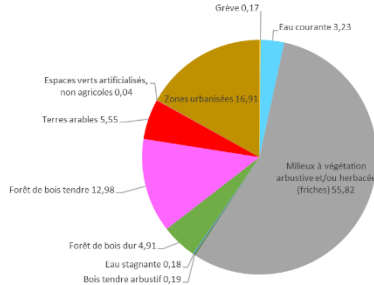
Evolution Grève



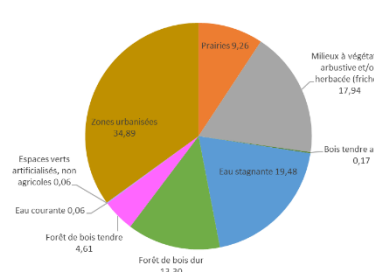
Evolution Milieux à végétation arbusive et/ou herbacée (friches)



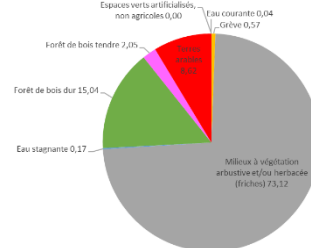
Evolution Prairies



Evolution Terres arables



Evolution Zones urbanisées



Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif	9,41	0	1,74	0,76	0	0	59,17	4,95	14,73	9,25	0	0
Cultures permanentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau courante	0,22	0	81,7	0,7	0	0,07	1,55	12,75	2,91	0,07	0,003	0,02
Eau stagnantes	0,39	0	0	87,02	0	0,19	0,76	2,9	3,22	0	0	5,5
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0,06	0	0	0,63	8,65	4,85	4,77	0	0,5	4,79	69,32	6,43
Forêt de bois dur	1,4	0	0,32	0,27	0,03	57,08	7,53	0,96	6,96	12,92	5,01	7,48
Forêt de bois tendre	8,9	0	4,25	0	0,13	3,26	63,94	2	5,72	10,37	0,36	1,08
Grève	4,92	0	10,81	5,52	0	1,4	14,56	38,83	5,57	3,56	0,03	14,8
Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	1,63	0	4,53	0,003	0,04	6,35	31,96	5,18	28,96	20,4	0,58	0,48
Prairies	0,02	0	0,96	0,09	0,37	1,66	5,8	0,5	4,54	73,9	7,64	5,12
Terres arables	0,07	0,27	0,03	9,83	1	1,99	0,45	4,29	2,64	16,77	55,98	6,58
Zones urbanisées	0	0	0,02	0,05	1,31	4,12	0,67	0,14	2,41	17,3	12,42	61,47

Annexe 10 : Tableau de données de l'évolution des habitats entre 1999-2005 (%)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif	0	0	2781,04	1212,81	0	0	94724,62	7927	23578,22	14801,72	0	0
Cultures permanentes	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau courante	3161,25	0	10000,55	0	1053,61	22183,08	26+05	41581,50	936,21	44,85	236,36	0
Eau stagnantes	486,42	0	0	10000,55	0	241,21	956,06	3629	4031,15	0	0	6877,44
Espaces verts artificialisés, non agricoles	207,32	0	0	2350,69	18188,51	17899,34	0	1867,73	17980,59	26000,57	24124,18	0
Forêt de bois dur	4364,05	0	99680	848,83	88,42	23462,70	3002	21677,59	40251,26	15600,72	23284,87	0
Forêt de bois tendre	65632,02	0	31350,18	0	933,42	24056,64	14720	42165,17	76486,87	2677,94	7968,19	0
Grève	26145,55	0	57469,20	29369,38	0	7465,63	77399,87	29602,60	18920,59	182,19	78681,73	0
Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	3108,98	0	8630,40	5,04	69,43	12104,12	60948,51	9876	38888,42	1098,51	920,70	0
Prairies	223,54	0	11275,79	1027,48	4364,97	19511,93	68187,06	5831	5331,120	82648,73	60187,07	0
Terres arables	388,81	1385,70	136,68	51291,10	5242,29	10362,45	2366,34	22387	13775,00	87505,44	34361,80	0
Zones urbanisées	0	0	94,65	208,94	6012,61	18885,28	3079,19	634,5	11038,73	79194,16	56866,46	0

Annexe 11 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2005 (m²)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif	0	0	1,92	0,84	0	0	65,32	5,47	16,26	10,21	0	0
Cultures permanentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau courante	1,21	0	3,85	0	0	0,4	8,49	69,68	15,91	0,36	0,02	0,09
Eau stagnantes	3	0	0	0	0	1,49	5,89	22,37	24,85	0	0	42,4
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0,06	0	0	0,69	0	5,31	5,22	0	0,54	5,25	75,88	7,04
Forêt de bois dur	3,27	0	0,75	0,64	0,07	17,55	2,25	16,22	30,12	11,67	17,42	0
Forêt de bois tendre	24,67	0	11,79	0	0,35	9,04	5,53	15,85	28,76	1,01	3	0
Grève	8,04	0	17,67	9,03	0	2,3	23,74	9,11	5,82	0,06	24,2	0
Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	2,29	0	6,36	0,004	0,05	8,92	44,93	7,28	28,67	0,81	0,68	0
Prairies	0,07	0	3,68	0,34	1,42	6,36	22,24	1,9	17,39	26,96	19,63	0
Terres arables	0,17	0,6	0,06	22,33	2,28	4,51	1,03	9,74	6	38,09	14,96	0
Zones urbanisées	0	0	0,05	0,12	3,41	10,7	1,74	0,36	6,25	44,87	32,22	0

Annexe 12 : Tableau de données de la destination des habitats qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2005 (%)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif	13,84	0	6,16	3,87	0	0	64,69	2,81	8,62	0	0	0
Cultures permanentes	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
Eau courante	0,05	0	94,78	0,32	0	0	0,05	4,65	0,09	0,02	0	0,05
Eau stagnantes	0,34	0	0,85	90,77	0	0	1,79	0,42	1,2	0	4,63	0
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0	0	0	0	5,54	10,39	0	0	18,23	0	9,15	55,68
Forêt de bois dur	0	0	0,12	0,37	0	78,49	6,77	0,2	7,18	1,08	1,44	4,36
Forêt de bois tendre	4,04	0	3,25	0,67	0	4,25	76,51	6,15	3,28	1,2	0	0,66
Grève	8,32	0	13,9	5,85	0	0,88	11,93	48,37	1,47	1,36	0	6,93
Milieux à végétations arbusives et/ou herbacée (friches)	2,46	0	7,55	14,16	0	1,42	21,11	8,43	33,22	4,17	5,47	2,01
Prairies	0,1	0	0,95	0	0	2,35	5,09	0,24	46,24	36,21	3,43	5,4
Terres arables	0	0	0	0	0	3,07	0,18	0	4,48	0	41,1	51,16
Zones urbanisées	0	0	0	0,3	0	1,36	1,68	0	0	2,61	5,12	88,94

Annexe 13 : Tableau de données de l'évolution des habitats entre 2005-2015 (%)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif		0	73 22,964 971	4601,672469	0	0	7 6849,87667	3343	10 235,450 1	0	0	0
Cultures permanentes	0		0	0	0	1385,7008	0	0	0	0	0	0
Eau courante	576,926791	0		4068,066744	0	3,242 523	617,317943	59432	12 14,939 289	225,891483	0	689,228 734
Eau stagnantes	703,637556	0	1743,066157		0	0	0	3664	85,8132687	2461,92041	0	9495,137 643
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0	0	0	0		5115,697	0	0	9466,6358	0	4506,031673	27409,50575
Forêt de bois dur	0	0	348,099363	1061,158917	0		19646,2875	577,3	20833,34709	3127,32835	4175,20816	12654,77651
Forêt de bois tendre	34043,22561	0	27367,15531	5687,324739	0	35816,84076		51850	27614,54764	10082,2074	0	5569,843315
Grève	37995,85737	0	63445,67464	26695,82559	0	3997,097688	54456,51488		6717,802941	6214,93886	0	31635,88162
Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	7313,820103	0	22486,65823	42175,95828	0	4222,643173	62866,30907	25101		12421,9822	16290,76113	5980,42948
Prairies	1267,48365	0	11752,90346	0	0	29233,28361	63240,83457	2990	575005,7192		42636,11589	67109,40029
Terres arables	0	0	0	0	0	21911,72999	1288,721685	0	31963,89604	0		364580,3046
Zones urbanisées	0	0	0	1553,995657	0	7048,595351	8744,531629	0	0	13565,8219	26609,94892	

Annexe 14 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 2005-2015 (m²)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif		0	7,15	4,5	0	0	75,08	3,27	10	0	0	0
Cultures permanentes	0		0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
Eau courante	0,86	0		6,09	0	0	0,92	88,93	1,82	0,34	0	1,03
Eau stagnantes	3,72	0	9,21		0	0	0	19,36	4,53	13,01	0	50,17
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0	0	0	0		11	0	0	20,36	0	9,69	58,95
Forêt de bois dur	0	0	0,56	1,7	0		31,47	0,92	33,37	5,01	6,69	20,27
Forêt de bois tendre	17,19	0	13,82	2,87	0	18,09		26,18	13,94	5,09	0	2,81
Grève	16,44	0	27,45	11,55	0	1,73	23,56		2,91	2,69	0	13,69
Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	3,68	0	11,31	21,21	0	2,12	31,61	12,62		6,25	8,19	3,01
Prairies	0,15	0	1,48	0	0	3,69	7,97	0,38	72,49		5,38	8,46
Terres arables	0	0	0	0	0	5,22	0,31	0	7,62	0		86,86
Zones urbanisées	0	0	0	2,7	0	12,26	15,2	0	0	23,58	46,26	

Annexe 15 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 2005-2015 (%)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif	12,89	0	8,09	4,15	0	0	50,3	14,89	5,65	3,65	0	0,37
Cultures permanentes	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau courante	1,18	0	81,77	2,25	0	0,09	1,94	11,34	0,7	0,26	0	0,47
Eau stagnantes	1	0	1,5	87,14	0	1,58	3,64	0,12	0	2,57	0	2,45
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0,06	0	0	0,47	0,57	6,78	2,86	0,31	6,33	0,55	4,27	77,77
Forêt de bois dur	0	0	0,42	2,34	0	49,24	10,91	0,01	15,08	4,1	4,72	13,25
Forêt de bois tendre	1,49	0	6,92	0,69	0,01	5,97	63,17	4,39	9,29	4,66	1,02	2,51
Grève	8,67	0	14,05	8,56	0	2,12	22,21	26,62	1,93	2,4	0,01	13,45
Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	0,25	0	6,16	9,87	0,04	5,67	39,64	5,28	22,43	8,09	0	2,58
Prairies	0,13	0	2,17	0,12	0,03	3,29	8,71	0,11	37,43	32,95	3,72	11,34
Terres arables	0,07	0	0,03	8,54	0,03	5,83	2,02	0	7,86	4,06	56,18	15,29
Zones urbanisées	0	0	0,01	0,05	0	4,07	0,56	0,15	19,79	0	2,33	72,94

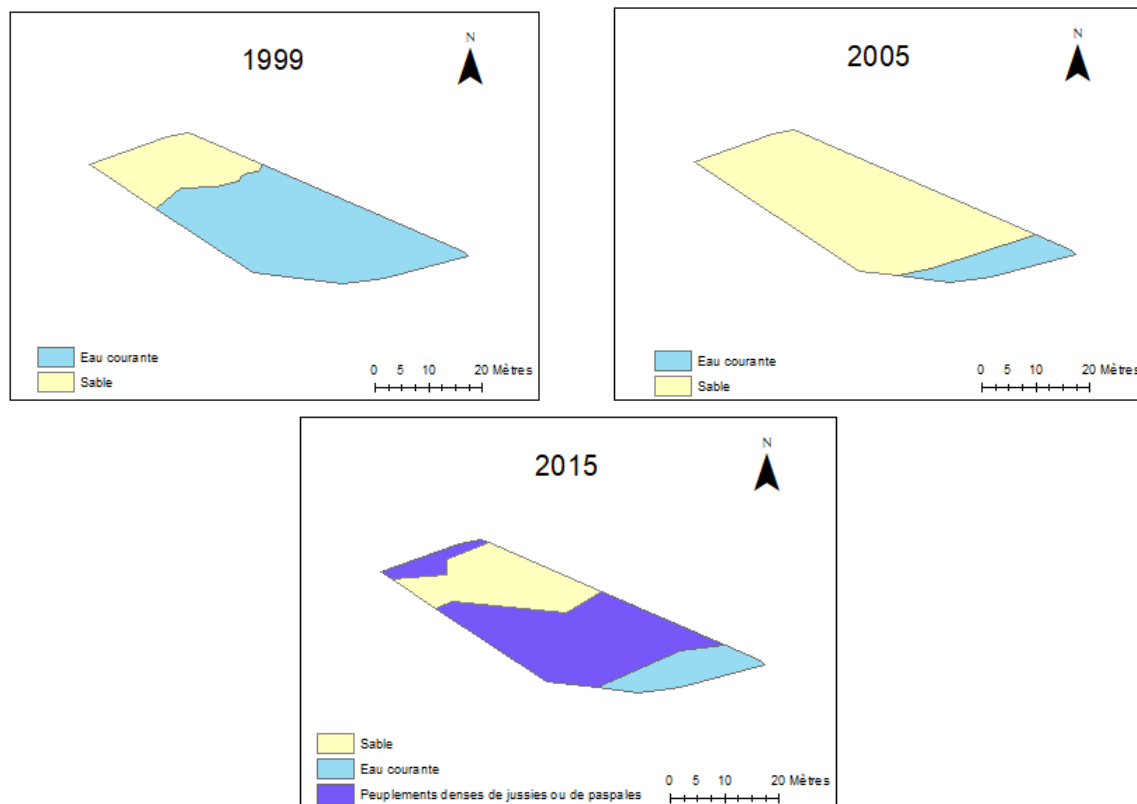
Annexe 16 : Tableau de données de l'évolution des habitats entre 1999 et 2015 (%)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif		0	12957,50434	6641,36124	0	0	80529,99146	23842	9049,408187	5846,47184	0	599282758
Cultures permanentes	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau courante	16810,25254	0		32153,3545	0	1319,871571	27740,62192	26405	9991,736817	3656,11413	27,862862	6726,974944
Eau stagnantes	1245,467197	0	1878,815988		0	1970,194715	4554,767565	155,2	0	3207,09537	0	3060,102042
Espaces verts artificialisés, non agricoles	207,317832	0	0	1779,673432		25424,24052	10715,75422	1171	23761,15061	2080,77208	16034,02212	291803,7077
Forêt de bois dur	0	0	1307,441369	6979,824726	0		33992,06263	46,7	46958,18233	12759,86	14699,26864	41251,56872
Forêt de bois tendre	10958,11541	0	51057,71134	5080,324663	54,697869	44008,23651		31630	68526,24137	34342,4561	7495,710392	18510,42754
Grève	46085,11365	0	74698,28894	45495,55886	0	11276,10247	118084,1729		10236,83459	12754,8282	61,253364	71488,56307
Milieux à végétations arbustives et/ou herbacée (friches)	470,199583	0	11744,2261	18814,88012	69,432313	10805,19224	75586,1439	10061		15420,8953	0	4925,990131
Prairies	1481,088764	0	25478,42798	1432,394042	320,352745	38693,36749	102279,5424	1348	439723,3508		43757,50526	133187,8948
Terres arables	388,805558	0	136,676265	44556,88507	133,171449	30415,68643	10534,18905	0	41029,62863	21174,5073		79797,54633
Zones urbanisées	0	0	44,95549	208,9366	4,692424	18646,34273	2542,495892	703,4	90624,57349	0	10677,97172	

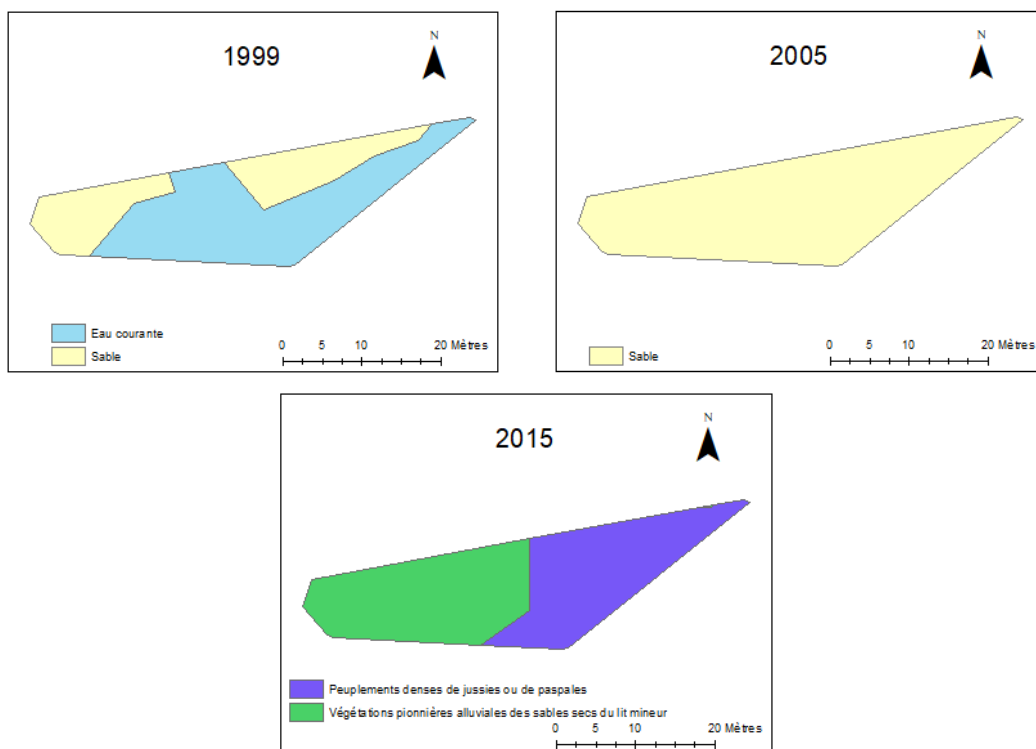
Annexe 17 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2015 (m²)

Initial \ Devenu	Bois tendre arbusitif	Cultures permanentes	Eau courante	Eau stagnantes	Espaces verts artificialisés, non agricoles	Forêt de bois dur	Forêt de bois tendre	Grève	Milieux à végétations arbusitives et/ou herbacée (friches)	Prairies	Terres arables	Zones urbanisées
Bois tendre arbusitif		0	9,29	4,76	0	0	57,74	17,1	6,49	4,19	0	0,43
Cultures permanentes	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau courante	6,46	0		12,35	0	0,51	10,06	62,19	3,84	1,4	0,01	2,58
Eau stagnantes	7,75	0	11,69		0	12,26	28,34	0,97	0	19,96	0	19,04
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0,06	0	0	0,48		6,82	2,87	0,31	6,37	0,56	4,3	78,22
Forêt de bois dur	0	0	0,83	4,42			21,5	0,03	29,71	8,07	9,3	26,1
Forêt de bois tendre	4,03	0	18,79	1,87	0,02	16,2		11,64	25,22	12,64	2,76	6,81
Grève	11,81	0	19,14	11,66	0	2,89	30,26		2,62	3,27	0,02	18,32
Milieux à végétations arbusitives et/ou herbacée (friches)	0,32	0	7,94	12,72	0,05	7,31	51,11	6,8		10,43	0	3,33
Prairies	0,19	0	3,23	0,18	0,04	4,91	12,98	0,17	55,82		5,55	16,91
Terres arables	0,17	0	0,06	19,48	0,06	13,3	4,61	0	17,94	9,26		34,89
Zones urbanisées	0	0	0,04	0,17	0	15,04	2,05	0,57	73,12	0	8,62	

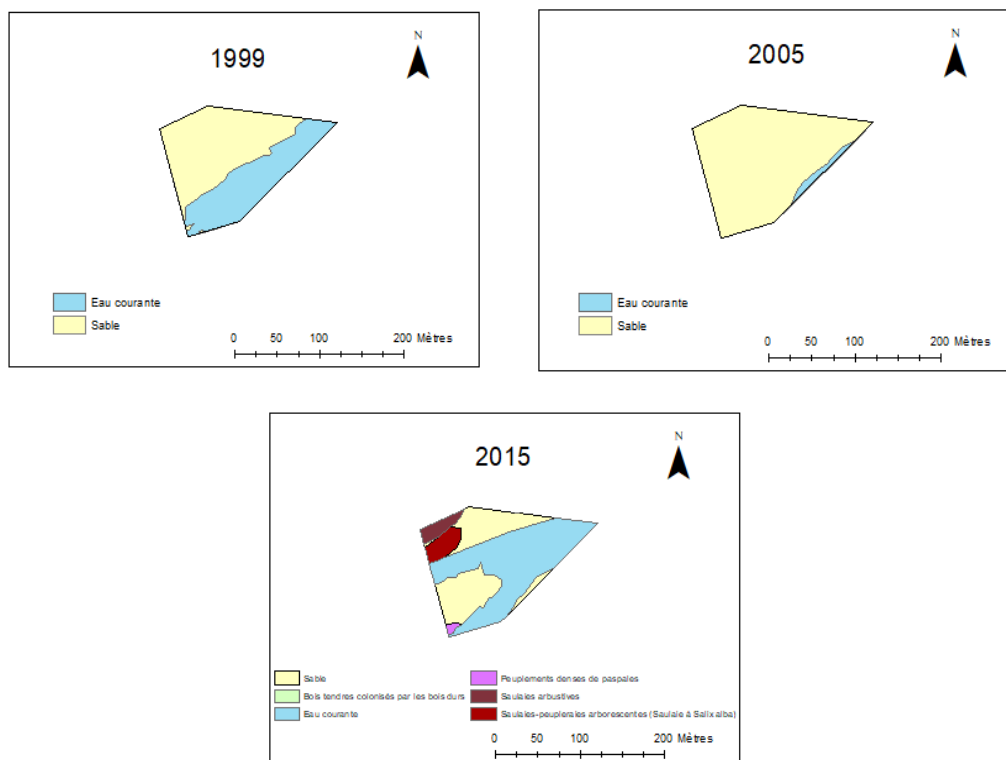
Annexe 18 : Tableau de données de la destination des surfaces qui ont évolué en un autre habitat pour chaque habitat entre 1999-2015 (%)



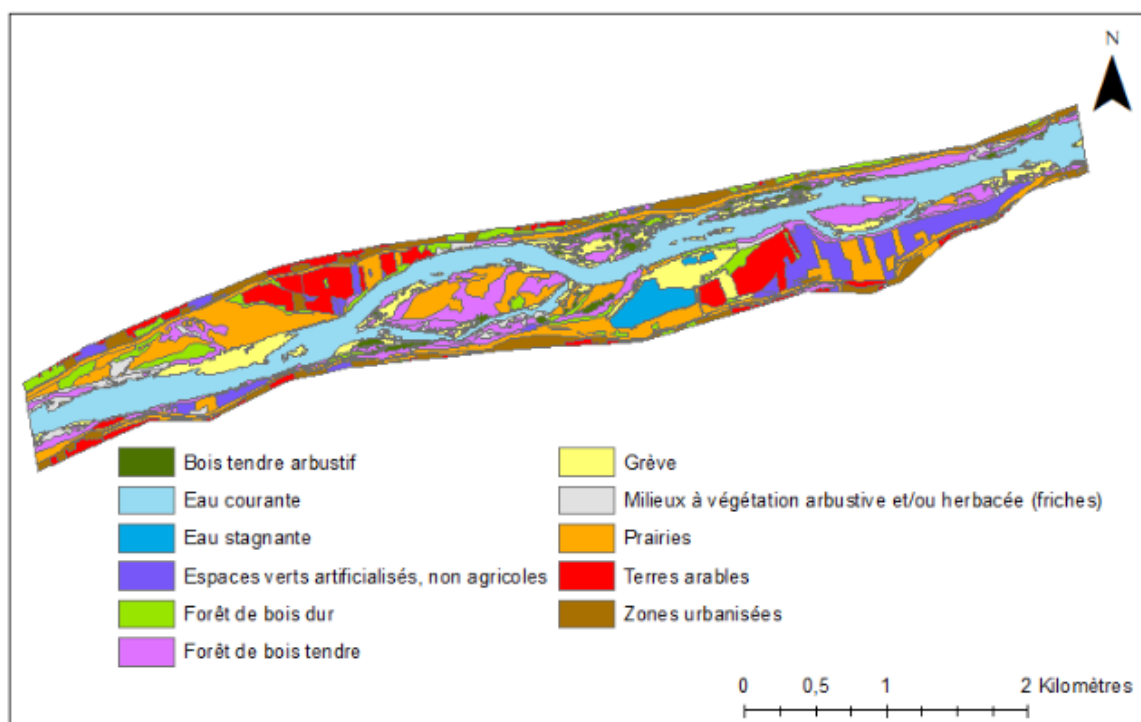
Annexe 19 : Les occupations du sol de « Amont Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (SIEL)



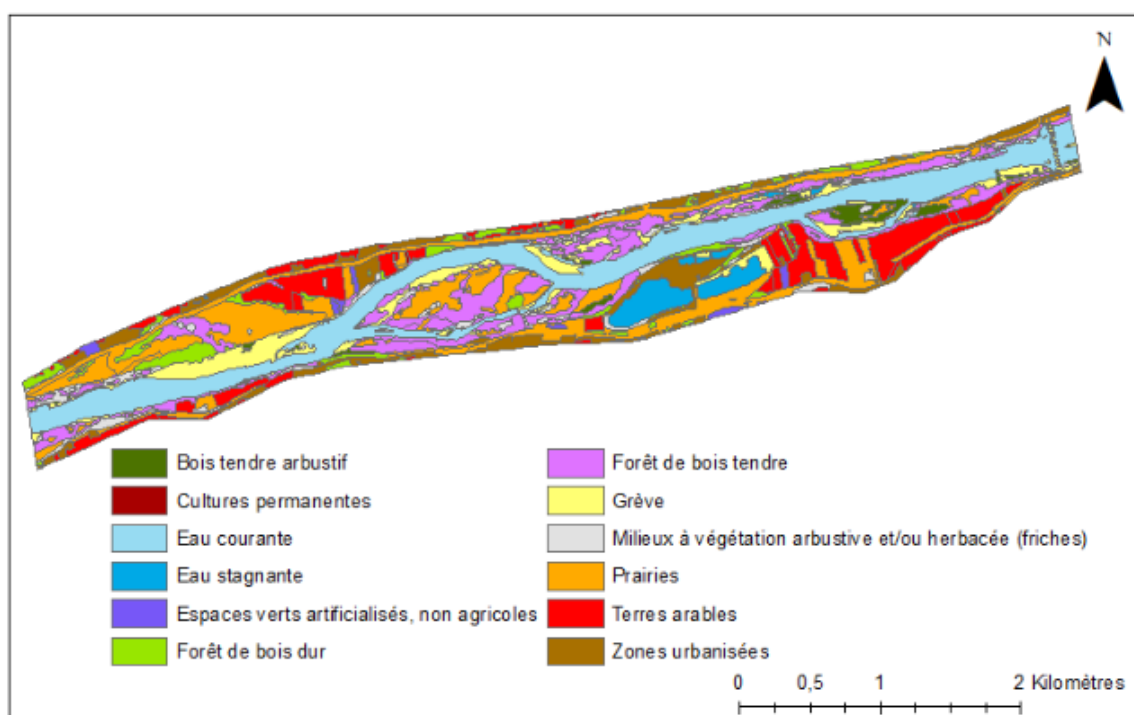
Annexe 20 : Les occupations du sol de « Aval Zone Amont » en 1999, 2005 et 2015 (SIEL)



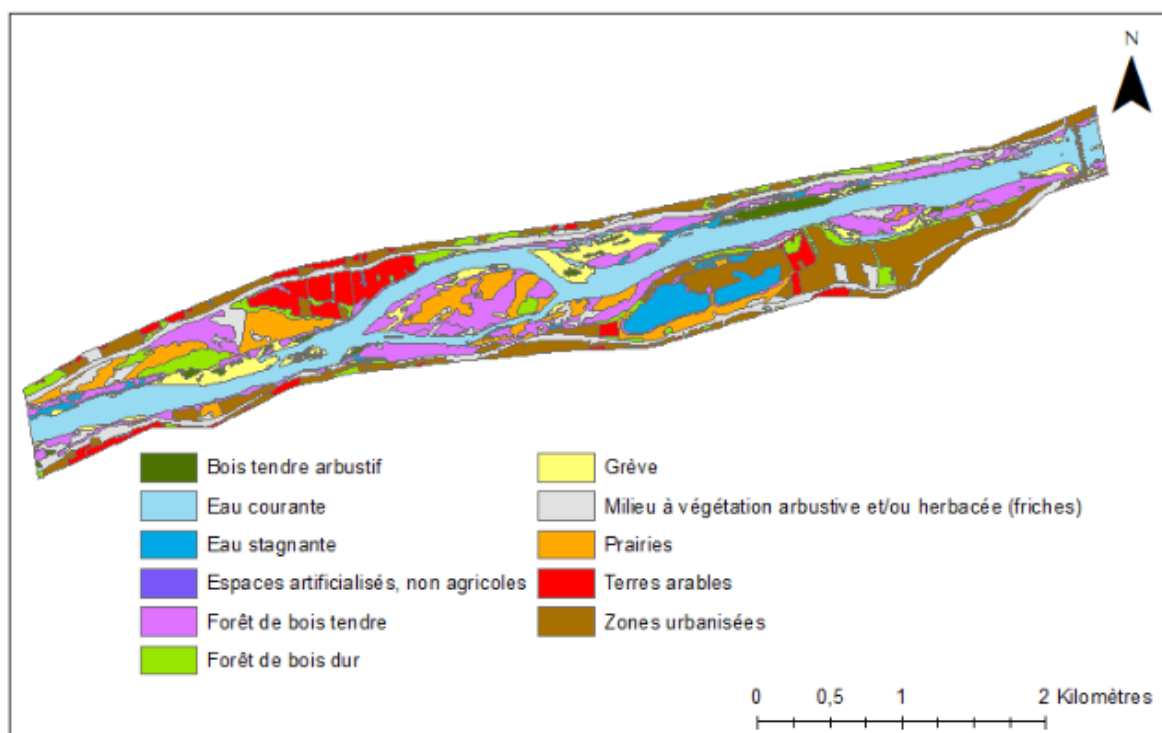
Annexe 21 : Les occupations du sol de « Zone Aval » en 1999, 2005 et 2015 (SIEL)



Annexe 22 : Les habitats du tronçon en 1999 (SIEL)



Annexe 23 : Les habitats du tronçon en 2005 (SIEL)



Annexe 24 : Les habitats du tronçon en 2015 (SIEL)

Directeur de recherche :

Sabine Greulich

Adrien Parais

PFE/DAE5

DAE/IMA

2020-2021

Etude des changements paysagers d'un tronçon de la Loire moyenne au cours d'une décennie

Résumé : Les paysages des milieux alluviaux et fluviaux sont soumis actuellement à de nombreux changements et évolutions. Les paysages de la Loire et notamment de la Loire moyenne n'échappent pas à ce phénomène. Ce fleuve est également reconnu comme étant un fleuve sauvage grâce notamment à l'absence de grands ouvrages et l'existence d'un paysage riche et diversifié qui évolue au cours du temps. Cette évolution est ainsi analysée dans ce présent rapport au niveau des communes de Luynes et Fondettes, à l'aval de Tours, suivant 2 échelles, une petite délimitée par des placettes et une plus grande à l'échelle d'un tronçon. L'étude est réalisée à partir d'un traitement SIG des données de la végétation provenant du SIEL. Les résultats montrent, au niveau de la petite échelle, une grande évolution progressive vis-à-vis de la succession écologique pour passer d'un milieu vierge de végétation à un milieu colonisé par de la végétation herbacée, arbustive ou encore arborescente en fonction des zones. À plus large échelle, l'évolution s'inscrit dans une dynamique observable sur l'ensemble de la Loire moyenne avec une part non négligeable d'habitats anthropisées dans le lit endigué de la Loire, faisant relativiser le terme sauvage, ainsi qu'une évolution s'inscrivant dans le cadre de la succession écologique avec les habitats pionniers globalement plus instables et évoluant dans le sens progressif de la succession écologique et inversement pour les stades terminaux de la succession. Enfin, l'échelle des placettes et du tronçon indique la même dynamique de changement du paysage avec une prolifération relativement conséquente des espèces exotiques envahissantes.

Mots Clés : Paysage, Habitat, Succession écologique, Rajeunissement, Stabilité, Bois tendre arbustif, Cultures permanentes, Eau courante, Eau stagnante, Espaces verts artificialisées, non agricoles, Forêt de bois dur, Forêt de bois tendre, Grève, Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (friches), Prairies, Terres arables, Zones Urbanisées, Végétation pionnière, Espèces invasives