



HAL
open science

L'occupation du sol passée : influence sur la composition des communautés végétales aquatiques des lacs Aquitain du littoral

A. Queau

► To cite this version:

A. Queau. L'occupation du sol passée : influence sur la composition des communautés végétales aquatiques des lacs Aquitain du littoral. Sciences de l'environnement. 2016. hal-02605792

HAL Id: hal-02605792

<https://hal.inrae.fr/hal-02605792>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

QUEAU Audrey

Année 2015-2016

Rapport de stage Master Environnement Ecotoxicologie Ecosystèmes

Spécialité GEMAREC – parcours GEVAMAC – 2^{ème} année

L'occupation du sol passée : Influence sur la composition des communautés végétales aquatiques des lacs Aquitain du littoral

Réalisé du 13 mars 2016 au 26 août 2016

Au sein de L'IRSTEA Bordeaux, Unité EABX équipe CARMA

Sous la direction de :

- Monsieur Aurélien JAMONEAU (maître de stage)
- Monsieur Vincent ROBIN (tuteur universitaire)

Mémoire soutenu le 13 septembre 2016 devant le jury composé de :

- Monsieur Gérard MASSON
 - Monsieur Vincent ROBIN
 - Monsieur Aurélien JAMONEAU
-

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce stage au sein de l'IRSTEA Bordeaux et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, je remercie mon maître de stage, Aurélien JAMONEAU, chargé de Recherche de l'unité EABX de l'IRSTEA Bordeaux. Merci de m'avoir choisi pour ce stage, très enrichissant. Il m'a permis d'acquérir une solide expérience en écologie du paysage et avec les logiciels SIG, mais aussi de compléter mes connaissances sur l'étude des communautés grâce à cette approche historique. Merci pour ton encadrement, ta disponibilité, ton aide lors de la rédaction de ce rapport et d'avoir partagé ton bureau avec moi.

J'adresse également mes remerciements à toute l'équipe CARMA pour leur accueil chaleureux et leurs renseignements sur la région et les activités possibles. Et plus largement à tous les membres de l'unité EABX.

Merci aussi à Vincent BERTRIN ingénieur d'étude dans l'équipe CARMA pour m'avoir invité sur le terrain avec lui et initié à la détermination des macrophytes. Merci aussi à Alain DUTARTRE, ancien membre de l'IRSTEA présent lors de cette sortie, d'avoir partagé avec moi ces expériences et connaissances sur les lacs du littoral Aquitain.

J'adresse mes remerciements à Monsieur Vincent ROBIN, mon tuteur universitaire, pour son aide et sa disponibilité.

Je remercie aussi l'Agence de l'eau Adour Garonne, pour avoir financé ce stage.

Enfin je remercie tous les stagiaires de l'unité EABX qui ont été présents pendant la durée de mon stage. Merci à Jennifer de m'avoir appelée dès que tu trouvais une carte dans les archives. Merci à Marine de m'avoir réexpliqué les boucles dans R. A Marion d'avoir répondu aux petites questions qui me passaient par la tête ; à Armand pour ses recherches sur les mystères présents sur les photos historiques. Merci aussi à Alexandre, Aurélie, Coralie, Elise, Joanna, Julie, Marie-Ange, Maxime, Tom et Virginie. Et surtout merci à tous pour la superbe ambiance pendant ce stage, nos fous rires et nos sorties (mémorables pour certaines) dans la région.

Sommaire

Présentation de la structure d'accueil : l'IRSTEA	1
I. Introduction	1
II. Etude bibliographique	3
II.1. L'écologie du Paysage	3
II.1.1. Le paysage	3
II.1.2. L'Etude historique du paysage	4
II.2. Les macrophytes	5
II.2.1. Généralités	5
II.2.2. Influence du paysage sur les macrophytes	6
II.3. Les plans d'eau aquitains	7
II.3.1. Origines et formations	7
II.3.2. Le paysage aquitain et son histoire	7
III. Méthodologie.....	9
III.1. Zones d'études	9
III.1.1. Les lacs du littoral Aquitains	9
III.1.2. Les bassins versants de Lacanau et Hourtin-Carcans	10
III.1.3. Les bassins versants de Cazaux-Sanguinet, Petit-Biscarosse, Parentis-Biscarosse	11
III.1.4. Les bassins versants de Moliets, La Prade et Moïsan	12
III.2. Préparation des données de cartographie	13
III.2.1. Les images	13
III.2.1.1. Récupération des photos aériennes.....	13
III.2.1.2. Orthorectification des photos aériennes.....	14
III.2.2. Digitalisation de l'occupation du sol.....	15
III.3. Les relevés botaniques	16
III.4. Analyses statistiques	17
III.4.1. Les indices paysagers	17
III.4.2. Analyse de l'occupation du sol	18
III.4.2.1. Analyse en Composante Principale (ACP).....	18
III.4.2.2. Matrices de transition entre 1945 et 2000	18
III.4.3. Analyses de la composition floristique.....	19
III.4.3.1. Analyse des variables paysagères corrélées à la richesse spécifique.	19

III.4.3.2. Analyse des Redondances (RDA).....	19
IV. Résultats.....	20
IV.1. La Dynamique paysagère	20
IV.1.1. Variation temporelle globale du paysage.....	20
IV.1.1.1. Matrice de Transition de l'ODS entre 1945 et 2000	20
IV.1.1.2. Variation globale de la diversité paysagère	21
IV.1.1.3. Analyse en Composante principale (ACP).....	22
IV.1.2. Variation des principaux groupes de bassins versants.....	24
IV.1.2.1. Lacanau et Carcans.....	24
IV.1.2.2. Cazaux, Parentis-Biscarosse et Petit Bisacarosse	26
IV.1.2.3. Moliets, La Prade et Moïsan	29
IV.2. Influence de la dynamique paysagère sur la composition des communautés de macrophytes	31
IV.2.1. Corrélation de la Richesse spécifique avec les variables paysagères	31
IV.2.2. Etude de la composition taxonomique (RDA).....	33
V. Discussion.....	35
V.1. Les changements paysagers	35
V.2. L'influence des indices paysagers sur les communautés de macrophytes	37
V.2.1. Influence de l'urbanisation du bassin versant sur les communautés végétales	37
V.2.1. Influence des cultures du bassin versant sur les communautés végétales	38
V.2.2. Influence des prairies du bassin versant sur les communautés végétales	39
V.2.3. Influence des jardins du bassin versant sur les communautés végétales	39
V.3. Limites de l'étude	40
V.3.1. Géoréférencement des photos aériennes et photointerprétation....	40
V.3.2. Biais opérateur et analyses statistiques	42
VI. Conclusion	42
Références.....	44
Glossaire.....	i
Annexes	ii

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques physiques des lacs de Carcans et Lacanau (Dutartre, 1986a; Aquascop and Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013)	10
Tableau II : Caractéristiques physiques des lacs de Cazaux, Parentis et Petit Biscarosse (Castagnos and Dutartre, 2001; Aquascop and Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013)	12
Tableau III : Caractéristiques physiques des lacs de Moïsan, Moliets et La Prade (Castagnos and Dutartre, 2001; Aquascop and Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013)	13
Tableau IV : Informations regroupant les années de campagne d'échantillonnage de macrophytes et le nombre de secteurs pour chacun des 8 lacs étudiées.	16
Tableau V : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Carcans ...	26
Tableau VI : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Lacanau ..	26
Tableau VII : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Cazaux...	28
Tableau VIII : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Petit Biscarosse	29
Tableau IX : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Parentis...	29
Tableau X : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Moliets	30
Tableau XI : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de La Prade .	30
Tableau XII : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Moïsan ...	31

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de l'unité de recherche EABX du centre IRSTEA de Bordeaux	II
Figure 2 : Schéma de la morphologie des lacs du littoral aquitain (Dutartre, 1986a)..	7
Figure 3 : Localisation géographique des lacs de l'étude	9
Figure 4 : Représentation des bassins versants de Carcans et Lacanau.....	10
Figure 5 : Représentation des bassins versants de Parentis, Cazaux et Petit Biscarosse.....	11
Figure 6 : Représentation des bassins versants des lacs de Moliets, La Prade et Moisan.....	12
Figure 7 : Représentation de la différence entre hauteur de vol et altitude de vol (Louise PERCAILLE, 2015).....	14
Figure 8 : Illustration des liens et des erreurs résiduelles possibles ('ArcGIS Help 10.1 - Notions de Base Du Géoréférencement D'un Jeu de Données Raster' 2016)	15
Figure 9 : Diagramme de Chord illustrant la matrice de transition de l'occupation du sol entre 1945 et 2000, pour l'ensemble des bassins versants étudiés.	21
Figure 10 : Représentation de la dynamique temporelle de l'indice de diversité paysagère (Shannon) pour chaque lac étudié	22
Figure 11 : Représentation des axes 1 et 2 de l'ACP réalisée sur les variables paysagères. L'axe 1 représente 42,11% de la variation totale et l'axe 2 21,96% soit un total de 64,07%.....	23
Figure 12 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Carcans.....	24
Figure 13 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Lacanau	25
Figure 14 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Cazaux.....	27
Figure 15 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Petit Biscarosse	27
Figure 16 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Parentis.....	28
Figure 17 : Corrélations entre la richesse spécifique pondérée par le périmètre respectifs des lacs et les variables paysagères.....	32

Figure 18 : Représentation des relevés et des variables sur les 2 premiers axes de la RDA. L'axe 1 et l'axe 2 de RDA explique respectivement 47,63% et 20,80% de la variation totale. Les flèches bleues représentent les variables paysagères corrélées aux liste floristiques. Les points rouges représentent la position des espèces de macrophytes. 33

Figure 19 : Représentation des taxons sur les deux premiers axes de la RDA. 35

Figure 20 : Illustration de l'occultations dues aux devers de bâtiments et autres objets du sursol 41

Liste des annexes

Annexe A : Tableau récapitulatif des données disponibles pour chaque lac par année (Louise PERCAILLE, 2015)	ii
Annexe B : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Carcans en 1945 et 1965.....	iii
Annexe C : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Carcans en 1985 et 2000.....	iv
Annexe D : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 1945	v
Annexe E : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 1965	vi
Annexe F : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 1985.....	vii
Annexe G : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 2000	viii
Annexe H : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Cazaux en 1945 et 1965.....	ix
Annexe I : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Cazaux en 1985 et 2002.....	x
Annexe J : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Petit Biscarosse en 1945 et 1965.....	xi
Annexe K : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Petit Biscarosse en 1985 et 2002.....	xii
Annexe L : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 1945.....	xiii
Annexe M : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 1965.....	xiv
Annexe N : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 1985.....	xv
Annexe O : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 2002.....	xvi
Annexe P : Tableaux des pourcentages de recouvrement et de l'indice de dominance (LPI) pour chaque classe d'ODS en 1945, 1965, 1985 et 2000 pour chaque lac étudié.....	xvii
Annexe Q : Résultats et modélisation de l'occupation du sol pour Moliets, La Prade et Moisan réalisés par Louise PERCAILLE	xix
Annexe R : Diagrammes de Chord des matrices de transition de l'occupation du sol entre 1945 et 2000 pour chaque lac	xxiii
Annexe S : Exemple d'une photo aérienne de mauvaise qualité	xxiv

Liste des abréviations

BV : Bassin Versant

CARMA : Contaminants Anthropiques et Réponses des Milieux Aquatiques

DCE : directive cadre sur l'eau

EABX : Ecosystèmes aquatiques et changements globaux

EPST : Etablissement de recherche public à caractère scientifique et technologique

ETBX : Environnement, territoires et infrastructures

IBML : Indice Biologique Macrophytique Lac

IBMR : Indice Biologique Macrophytique Rivière

IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

ODS : Occupation du sol

SEN : Secteur d'Equilibre Naturel

STEP : Station d'épuration

UPA : Unité Principale d'Aménagement

ZH : Zones humides

Présentation de la structure d'accueil : l'IRSTEA

L'IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) est un établissement de recherche public à caractère scientifique et technologique (EPST), sous la double tutelle du Ministère chargé de la recherche et du Ministère en charge de l'agriculture, et titulaire d'une convention avec le Ministère en charge de l'Ecologie. Il a pour objectif de produire des solutions concrètes au bénéfice de la décision publique et débouchant sur l'action. Il offre une approche pluridisciplinaire sur les domaines de l'eau, des écotechnologies et des territoires.

IRSTEA est implanté sur 9 sites dans toute la France. Le centre IRSTEA de Bordeaux travaille sur trois domaines principaux :

- La dynamique des écosystèmes aquatiques ;
- L'environnement et les dynamiques territoriales ;
- La gestion patrimoniale des réseaux d'eau.

L'activité de recherche autour de ces thématiques s'organise au sein de deux unités de recherche : l'UR Environnement, territoires et infrastructures (ETBX) et l'UR Ecosystèmes aquatiques et changements globaux (EABX), dans laquelle ce stage a eu lieu.

L'unité EABX conduit des recherches qui visent à acquérir des connaissances, construire des méthodes et mettre au point les outils pour caractériser et comprendre l'état et la dynamique des écosystèmes aquatiques continentaux. Les réponses de ces écosystèmes ou des espèces aux pressions anthropiques comme la pêche, la fragmentation des habitats, l'eutrophisation, la contamination toxique et le changement climatique sont évaluées. L'objectif est d'évaluer la qualité des masses d'eau et de développer des indicateurs de leur état écologique, afin d'apporter les outils nécessaires à la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau (DCE – directive 2000/60) émise par la commission européenne en 2000. Un autre des objectifs de cette unité est la conservation d'espèces menacées, principalement les poissons migrateurs amphihalins comme l'esturgeon européen ou l'anguille, en améliorant la connaissance sur ses espèces et en aidant à la prise de décision publique dans le cadre des opérations de gestion proposée.

L'unité EABX est elle-même divisée en trois équipes de recherche (Figure 1).



MARS 2015

ORGANIGRAMME UNITÉ DE RECHERCHE Écosystèmes aquatiques et changements globaux

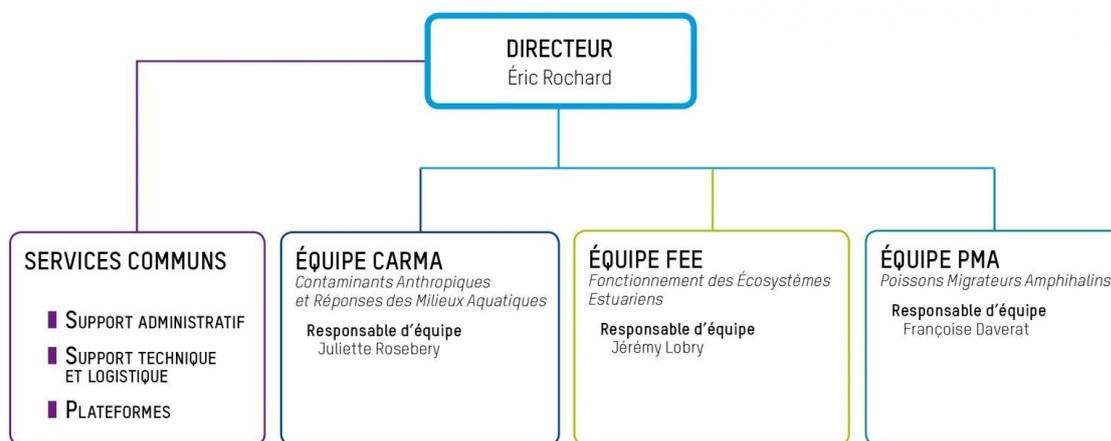


Figure 1 : Organigramme de l'unité de recherche EABX du centre IRSTEA de Bordeaux
Source : www.irstea.fr

Ce stage se déroule au sein de l'unité CARMA (Contaminants Anthropiques et Réponses des Milieux Aquatiques) qui cherche à caractériser l'effet des forçages abiotiques et biotiques sur les phytocénoses, et à produire des outils opérationnels pour le diagnostic écologique des écosystèmes aquatiques.

L'objectif de ce stage est d'étudier l'occupation du sol passé et son influence sur les communautés végétales aquatiques des lacs du littoral Aquitain. Il a été réalisé sous la tutelle d'Aurélien JAMONEAU, chargé de recherche. Il entre dans le cadre du projet de recherche DYLAQ, visant à étudier la dynamique temporelle des écosystèmes lacustres Aquitain (en synthétisant l'ensemble des connaissances passées et actuelles sur ces lacs), et de permettre une meilleure gestion des lacs. Ce projet est financé par l'Agence de l'eau Adour-Garonne et le LabEX COTE.

I. Introduction

Au cours des dernières décennies, et plus particulièrement depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les changements sociétaux (déprise agricole, développement d'une consommation de masse et du tourisme) ont amené à de profondes modifications des usages et par conséquent de l'occupation du sol. La fragmentation et l'autonomie locale diminue au profit d'une dépendance globale (Antrop, 2005). Cette nouvelle dynamique sociétale s'est accompagnée d'une détérioration des paysages anciens et de la création de nouveaux paysages, sans aucune transition entre les deux. Une fracture est visible dans la continuité paysagère temporelle (Antrop, 2005). Ces changements ont entraîné des transformations dans la structure et le fonctionnement des écosystèmes. La modification du paysage impacte, non seulement son aspect visuel, mais aussi la biodiversité (Marty, 2009).

L'écologie du paysage est une thématique importante pour évaluer l'impact des nouvelles pratiques sur les relations entre espèces et environnements, que ce soit qualitativement ou quantitativement (Burel and Baudry, 1999). Dans la littérature, les interactions entre le paysage et la biodiversité sont largement reconnues. Ainsi, la composition des communautés dépend à la fois du paysage actuel, mais aussi de ses états passés (Burel and Baudry, 1999).

La fragmentation et la disparition des habitats est la principale cause de perte de la biodiversité (Foley et al., 2005). La disparition des espèces peut être immédiate (Stouffer, Strong, and Naka, 2009) ou bien décalée dans le temps (Brooks, Tobias, and Balmford, 1999; Lindborg and Eriksson, 2004; Vellend et al., 2006). Ce phénomène est appelé dette d'extinction, c'est-à-dire « le nombre d'espèces existantes dont la disparition est prédite (Tilman et al., 1994) ». En parallèle on détermine le temps de relaxation qui correspond au temps nécessaire pour que la diversité spécifique retourne à son état d'équilibre (Diamond, 1972). A l'inverse, les changements paysagers peuvent permettre la création de nouveaux habitats favorables au développement de certaines espèces. Cependant, le temps nécessaire à ces espèces pour coloniser ces nouveaux habitats dépend de leurs traits biologiques. Les espèces ayant de faibles capacités de dispersion auront besoin d'un temps plus important pour coloniser ces nouveaux habitats, donnant localement lieu

à un « déficit » en espèce. C'est le concept de crédit d'immigration ou crédit de colonisation (Baeten et al., 2010; Jackson and Sax, 2010). Dans ce cadre, le paysage joue un rôle primordial.

L'une des méthodes pour mesurer la dette d'extinction et le crédit d'immigration est de tester l'influence de l'occupation du sol passé et présent sur la structure et la composition de la diversité (Lira et al., 2012). Dans le cas d'un délai de réponse des écosystèmes à une perturbation, la diversité spécifique d'une communauté actuelle est mieux expliquée par l'occupation passée du sol que par son occupation actuelle (Lira et al., 2012).

Des études historiques du paysage ont été menées sur les écosystèmes terrestres (Stouffer, Strong, and Naka, 2009; Baeten et al., 2010; Feld et al., 2016), souvent à une échelle très large remontant aux temps paléolithiques et quelques-unes à des échelles plus courtes. On trouve cependant très peu de références étudiant le rôle du paysage passé sur les milieux aquatiques, et aucune en France. Les études sur les communautés aquatiques ont toutes montré un impact significatif de la modification de l'occupation du sol sur la biodiversité des communautés des écosystèmes aquatiques continentaux (Cherovelil and Soranno, 2008; Akasaka et al., 2010; Tisseuil et al., 2013; Feld et al., 2016).

L'effet du paysage historique sur les communautés de macrophytes est également extrêmement méconnu. Seul Papastergiadou et al (2007 et 2009), ont mené des études similaires en Grèce. Ils ont montré qu'une baisse de l'hétérogénéité spatiale et l'augmentation des terres agricoles ont entraîné des changements dans les niveaux d'eau du lac étudié (à cause de l'irrigation) et une eutrophisation de celui-ci. Suite à ces changements, la diversité macrophytique a diminué. Ainsi, le paysage actuel et ancien, peut être considéré comme un « proxy » d'indicateur de pression diffuse et permet de tester cette influence sur le fonctionnement des métacommunautés.

Les connaissances de l'occupation du sol des bassins versants des lacs sont donc primordiales pour établir un diagnostic correct et comprendre leur fonctionnement. Le but de cette étude est de déterminer l'impact des changements paysagers sur la composition des communautés de macrophytes des lacs aquitains, et de tester la présence d'une éventuelle dette d'extinction ou d'un crédit d'immigration. Elle

s'articulera autour de quatre parties. Tout d'abord nous ferons un état des lieux des connaissances, puis nous exposerons la méthode appliquée dans cette étude. Ensuite nous exposerons nos résultats sur la dynamique du paysage entre 1945 et 2000, que nous mettrons ensuite en relation avec la diversité floristique. Pour finir nous discuterons ces résultats.

II. Etude bibliographique

II.1. L'écologie du Paysage

L'écologie du paysage est une discipline récente résultant des recherches menées en écologie au début du XXème siècle (Burel and Baudry, 1999). Elle définit le paysage selon différentes structures, les taches et les corridors. Les taches sont « des éléments du paysage définis par leur taille, leur forme et leur nature » (Burel and Baudry, 1999). Les corridors correspondent à des couloirs reliant les taches dans une matrice globale (Burel and Baudry, 1999). Ces outils permettent de modéliser et de décrire le paysage, notamment sa fragmentation ou son hétérogénéité. La multiplication des problèmes environnementaux ces dernières décennies, ont initié la création de l'écologie du paysage qui avait pour but, entre autres, de répondre aux différentes demandes sociétales. Il est cependant nécessaire de définir ce qu'est le paysage avant de pouvoir l'étudier.

II.1.1. Le paysage

La société et le milieu sont en perpétuelle confrontation, ce qui permet la création du paysage et son évolution. L'organisation du paysage actuel vient des dynamiques des sociétés passées et de leur interaction avec le milieu où elles se sont installées. Les pratiques ont évolué avec le temps pour s'adapter aux besoins et aux ressources. L'augmentation de la croissance démographique, l'industrialisation et le développement des technologies augmente l'impact de l'homme sur le milieu. Les paysages et écosystèmes sont influencés par son action de façon directe, urbanisation et déforestation, ou indirecte, changements globaux (Burel and Baudry, 1999).

Le paysage est donc un objet mouvant, avec différentes évolutions en fonction de l'échelle de temps choisie. Chaque échelle, qu'elle soit de l'ordre du millénaire (échelle géologique), de la décennie et du siècle (échelle historique) ou du jour, voire

de l'heure (échelle biologique), ont une influence sur des phénomènes reliés à l'état actuel du paysage (Burel and Baudry, 1999).

Sa perception varie en fonction des points de vue et des objectifs (Burel and Baudry, 1999). En effet, le paysage d'un agriculteur ne sera pas le même que celui d'un naturaliste. Le premier verrait plutôt des champs et des forêts supports de production, tandis que le second voit des haies qui permettent la nidification de certaines espèces par exemple. Les premiers à proposer une définition pour le paysage selon l'écologie sont Bertrand (1975) et Forman et Gordon (1986) (in Burel and Baudry, 1999). Pour le premier le « paysage est un média entre la nature et la société ayant pour base une portion d'espace matériel qui existe en tant que structure et système écologique, donc indépendant de la perception. » Forman et Gordon (1986) définissent un paysage comme « une portion de territoire hétérogène composée d'ensembles d'écosystèmes en interaction qui se répètent de façon similaire dans l'espace. » Burel et Baudry (1999) ont fusionné ces deux définitions et ont déterminé le paysage de l'écologue comme « un niveau d'organisation des systèmes écologiques, supérieur à l'écosystème ; il se caractérise essentiellement par son hétérogénéité et par sa dynamique gouvernée pour partie par les activités humaines. Il existe indépendamment de la perception. [...] » Dans leur ouvrage le paysage est « un espace de concernement des activités humaines, ce qui réduit la gamme d'échelles depuis quelques hectares jusqu'à quelques centaines de km². » Cette dernière définition étant la plus utilisée dans l'écologie du paysage ce sera donc celle retenue dans le reste de ce rapport.

II.1.2. L'Etude historique du paysage

Une fois le paysage décrit, il est possible d'étudier les relations entre le paysage et les processus écologiques (Burel and Baudry, 1999). Pour cela en plus de la dimension spatiale on ajoute une dimension historique.

La « biogéographie historique » apporte cette dimension. La biogéographie a pour but de décrire la distribution des taxons dans le monde pour, au mieux, en décrire l'histoire et essayer de prévenir leur évolution (Deleporte, 2002). La biogéographie historique se développe à partir des processus phytodynamiques à grande échelle et des séquences paysagères historiques, en parallèle d'une approche naturaliste de reconstitution de l'origine des patrons de distribution de la flore actuelle (Dubois,

1994). C'est une approche globale des paysages. En partant d'une cartographie spécifique de la couverture végétale, l'analyse historique permet la réinterprétation de la dynamique des formations végétales et la définition de modèles spatio-temporels, pouvant mettre en évidence des cas d'inertie ou d'hystérésis de certaines communautés (Dubois, 1994).

II.2. Les macrophytes

II.2.1. Généralités

Les macrophytes sont l'ensemble de végétaux aquatiques macroscopiques visibles à l'œil nu (Haury and Peltre, 1993). Ils regroupent des plantes vasculaires hydrophytes et héliophytes, des bryophytes aquatiques ou supra-aquatiques, et par extension, des algues filamenteuses.

Les macrophytes peuvent être classés par taxons ou selon leur type biologique. Les principaux facteurs de répartition de macrophytes varient selon la taille de l'hydrosystème, l'échelle envisagée et le type de milieu étudié. Néanmoins ceux ayant le plus d'impact sont l'hydrologie, la profondeur, la lumière/turbidité, le courant ainsi que la nature et la structure des sédiments (Bruneau, 2002).

La richesse spécifique en macrophytes peut diminuer suite à une baisse de la luminosité pour les espèces submergées (Sand-Jensen, 1997 in E. S. Papastergiadou et al., 2007; Scheffer, de Redelijkheid, and Noppert, 1992). Une augmentation de la turbidité va entraîner un recul des macrophytes submergés et un accroissement des macrophytes émergés ou à feuilles flottantes (Sand-Jensen, 1997; Van Den Berg et al., 1998 in E. S. Papastergiadou et al., 2007).

La végétation macrophytique joue un rôle important dans les écosystèmes. Elle entre dans le cycle des nutriments, produit de la matière organique mais la retient aussi (Castella-Müller, 2004), stabilise le substrat et augmente la transparence de l'eau en réduisant la mise en suspension de la matière organique (Takamura et al., 2003). Elle sert aussi de refuge pour de nombreuses espèces de la macrofaune benthique, des poissons, et des oiseaux d'eau (Demierre and Durand, 1999).

Les macrophytes sont de bons indicateurs de la qualité de l'eau et notamment de son niveau trophique (Kohler and Janauer, 1995 in Haury and Peltre, 1993; Carbiener et al., 1989). Ainsi ils sont utilisés dans l'indice IBMR (Indice Biologique

Macrophytique Rivière) standardisé par la Norme AFNOR NF T 90-395 d'octobre 2003 et l'indice IBML (Indice Biologique Macrophytique Lac ; Norme AFNOR XP T 90-328 janvier 2011).

II.2.2. Influence du paysage sur les macrophytes

Les changements d'usage du sol sont l'un des facteurs de dégradation des zones humides dans le monde.

Les changements d'occupation du sol peuvent modifier le niveau d'eau des milieux aquatiques, notamment avec le développement de l'agriculture intensive et de l'irrigation (Foley et al., 2005; E. S. Papastergiadou et al., 2007), mais aussi via l'utilisation de captage pour l'approvisionnement des villes en eau potable (Foley et al., 2005). La diminution du niveau d'eau et l'altération, par des activités humaines, du lit de la rivière pérenne qui alimente le lac, peut favoriser l'apparition de roselières (E. S. Papastergiadou et al., 2007). En parallèle les macrophytes immergés peuvent commencer à disparaître à cause de la perte en eau (E. Papastergiadou et al., 2009). Il y aura donc une modification des communautés de végétaux aquatiques.

La perte du couvert végétal naturel (en particulier de la forêt) augmente le ruissellement de surface et la charge des rivières. De plus l'utilisation de produits phytosanitaires, l'augmentation de l'érosion des sols et de l'apport en sédiments par l'agriculture, dégrade la qualité de l'eau et détruit la végétation aquatique et la structure de leur diversité (Foley et al., 2005; E. Papastergiadou et al., 2009). De même l'urbanisation et les rejets de station d'épuration associés est en partie responsable de l'enrichissement trophique des milieux. Cette dégradation peut entraîner une baisse du niveau d'oxygène dans les eaux et des blooms de cyanobactéries (Foley et al., 2005). Ainsi, l'urbanisation impacte négativement la diversité en macrophytes qu'ils soient émergents, immergés ou flottants (Akasaka et al., 2010). La présence et la densité des routes autour des lacs est l'un des principaux facteurs, avec celle de parcelles agricoles, expliquant la présence de macrophytes émergents ou à feuilles flottantes (Cheruvilil and Soranno, 2008).

Connaitre le paysage est donc important pour prédire les compositions actuelles de macrophytes dans les lacs (Cheruvilil and Soranno, 2008).

II.3. Les plans d'eau aquitains

II.3.1. Origines et formations

Les lacs aquitains se sont formés après la dernière glaciation, il y a environ 3500 ans (Tastet et al., 2008). Leur formation résulte d'une baisse du niveau de la mer d'environ 120m, associée à la faible couverture végétale caractéristique des conditions climatiques périglaciaires et aux vents dominants d'ouest. Puis le niveau de la mer remonte pendant l'Holocène et les vents dominants viennent du Nord-Ouest, ce qui érige des dunes continentales. Leur avancée est ralentie au Post-glaciaire par le couvert végétal, ce qui entraîne la création du cordon dunaire par accumulation (Dutartre, 1986a).

Ce cordon bouche les estuaires des fleuves côtiers. Les eaux douces provenant des terres ont continuées de s'écouler, mais retenues par le cordon dunaire, elles se sont accumulées dans des dépressions latérales (Dutartre, 1986b). Les plans d'eau ainsi créés ont une forte dimorphie Ouest-Est (Figure 2).

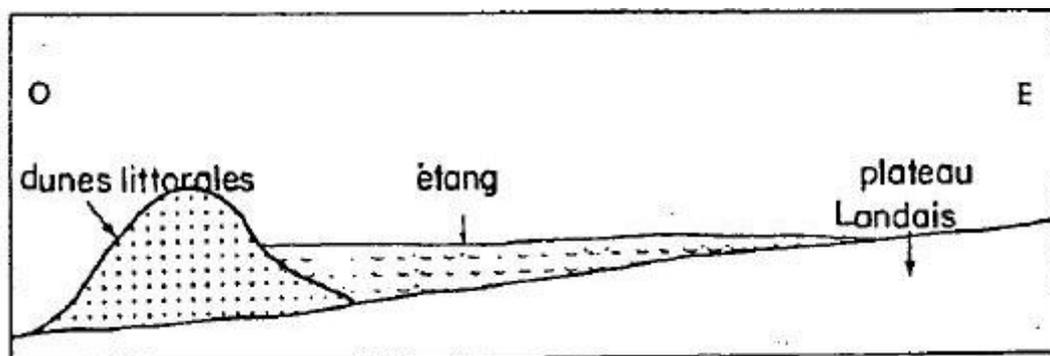


Figure 2 : Schéma de la morphologie des lacs du littoral aquitain (Dutartre, 1986a)

II.3.2. Le paysage aquitain et son histoire

Les landes aquitaines se trouvent à l'Ouest de la Garonne et de l'estuaire de la Gironde et sont délimitées dans leur partie Sud par l'Adour. Situé sur une plaine de sable, appelée Sable des Landes (Klingebiel and Legigan, 1985), avec peu de relief et des sols siliceux extrêmement pauvres, le réseau hydrographique est peu hiérarchisé ('Atlas Des Paysages de La Gironde | Les Évolutions Au Long Cours' 2016). La forêt cultivée de pins maritimes domine ces terres depuis le milieu du XIXe siècle environ, à cause de l'enrésinement des communaux dû à la loi de 1857 visant à assainir et à ensemençer les Landes de Gascogne. Elle remplace un paysage

auparavant constitué de grands marais, servant principalement à un système agropastoral d'élevage de moutons qui fournissaient le composte nécessaire aux cultures. Les zones humides ont été asséchées, au profit de la forêt de pins (*Pinus pinaster*). Le bois était cultivé comme source d'énergie, pour le gemmage (exploitation de la résine), pour faire de la pâte à papier, de l'aggloméré et du bois d'œuvre (Delerue, n.d.). En parallèle la forêt joue un rôle de stabilisateur des dunes du littoral.

Après la fin de la seconde guerre mondiale et le développement des produits dérivés du pétrole, l'une des principales raisons d'exploitation du bois (le gemmage) est perdue. De plus les incendies des années 1950 vont dévaster la forêt landaise. Suite à cela de nombreux sylviculteurs vont choisir de ne pas ensemer de nouveaux pins. A la place de grands champs voués à la maïsiculture ou autres cultures intensives vont s'implanter ('Atlas Des Paysages de La Gironde | Les Évolutions Au Long Cours' 2016).

Le développement du chemin de fer et la mode des bains-de-mer dans la seconde moitié du XIXe siècle va permettre le développement des stations balnéaires le long du littoral notamment celle d'Arcachon. L'apparition des congés payés et la démocratisation des loisirs vont augmenter l'intérêt touristique de la région et sa fréquentation. De plus la mise en vente du cordon dunaire du littoral possédé par l'Etat va permettre la création de nouvelles stations balnéaires au pied de l'océan. Pour encadrer ce développement la MIACA (Mission Interministérielle d'Aménagement de la Côte Aquitaine) est créée par décret en 1967 ('Littoral Aquitain' 2016). Elle va mettre en place une alternance entre Unités Principales d'Aménagement (UPA) et Secteurs d'Equilibre Naturel (SEN). Les UPA sont des zones où le développement urbain est concentré pour développer le tourisme. Les SEN sont des « coupures vertes » se trouvant entre les UPA. En parallèle le Parc Naturel Régional des Landes est créé et le développement se fait autour d'un triptyque océan/lacs/forêts. Simultanément, des équipements et des hébergements touristiques réfléchis pour circonscrire leur impact, un réseau routier reliant la plage et les lacs, et un plan de génie sanitaire sont conçus ('Atlas Des Paysages de La Gironde | Les Évolutions Au Long Cours' 2016).

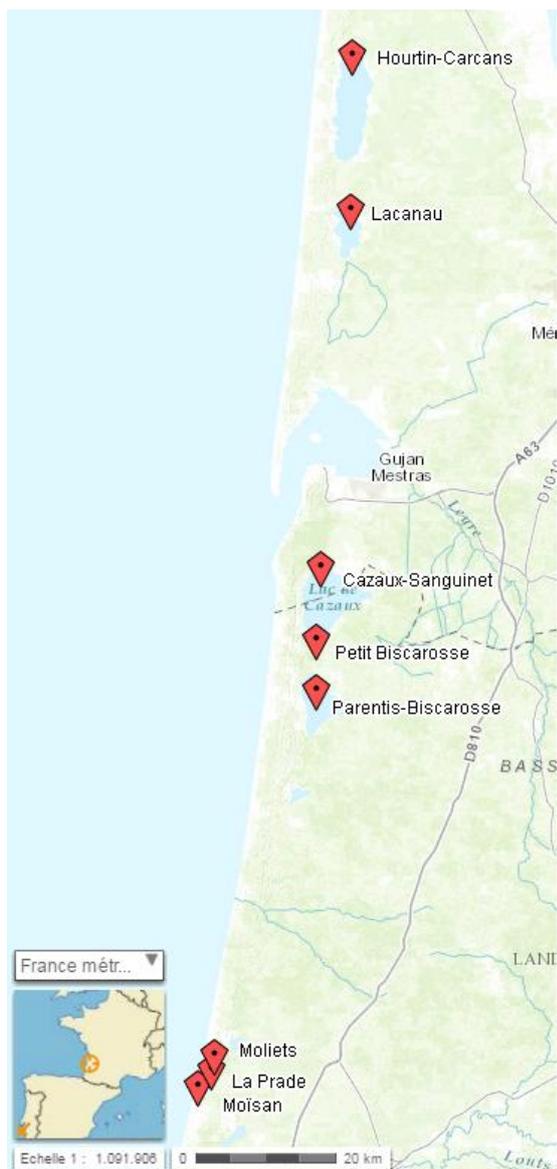


Figure 3 : Localisation géographique des lacs de l'étude

Source : Audrey QUEAU via Géoportail

Moïsan (Dutartre, 1986a). Leur bassin versant s'étend vers l'Est allant de plusieurs centaines de km² pour les grands lacs (Lacanau, Hourtin-Carcans, Parentis, Cazaux) à une dizaine de km² pour les plus petits (Moliets, La Prade, Moïsan). Le substrat géologique est essentiellement composé par le sable des landes. C'est un substrat particulièrement mobile, composé de grains de quartz d'un diamètre compris entre 0,2 et 0,6 mm, et résultant d'une éolisation. Ce sable peut se déplacer même avec des courants de faibles vitesse (de 10 à 20 cm/seconde) (Dutartre, 1986a). Le sol du bassin versant est principalement composé de podzol et/ou de sols sableux hydromorphes. Il y a une alternance entre des landes humides et des landes sèches qui sont caractérisées par la position de la nappe phréatique (Righi and Wilbert, 1984).

II. Méthodologie

III.1. Zones d'études

Les lacs et étangs aquitains sont répartis sur toute la façade Sud-Ouest de la France, le long de l'océan Atlantique. Ils se situent dans les départements de la Gironde (33) et des Landes (40) (Figure 3). Notre zone d'étude regroupe un ensemble de 8 masses d'eaux intégré dans 3 bassins versants. Dans ce rapport, toutes les masses d'eaux seront appelées « lac » pour plus de simplicité.

III.1.1. Les lacs du littoral Aquitains

Les 8 plans d'eau étudiés se situent à environ 5km de l'océan le long du cordon dunaire, sauf celui de Moïsan qui se trouve à 1km de la côte. Ils se situent au-dessus du niveau de la mer, de 12 à 15m (NGF) pour Lacanau et Hourtin-Carcans, de l'ordre de 20m pour Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarosse, et une altitude de 2m pour

Moliets, La Prade, Moïsan.

Tous les lacs ont le même profil Est-Ouest avec une cuvette plus profonde à l'ouest le long du cordon dunaire (Figure 2). Le fort charriage du sable entraîne un comblement rapide des lacs et masque leur profil. Il est à noter que les lacs aquitains sont encore très jeunes d'un point de vue géologique et sont toujours en pleine évolution.

III.1.2. Les bassins versants de Lacanau et Hourtin-Carcans

Situés en Gironde, au Nord du bassin d'Arcachon, les lacs de Lacanau et Hourtin-Carcans (ci-après nommé Carcans) ont respectivement une superficie de 18 et 58 km². Leurs bassins versants sont imbriqués (Figure 4) et les eaux de Carcans se déversent dans le lac de Lacanau par le canal des étangs.

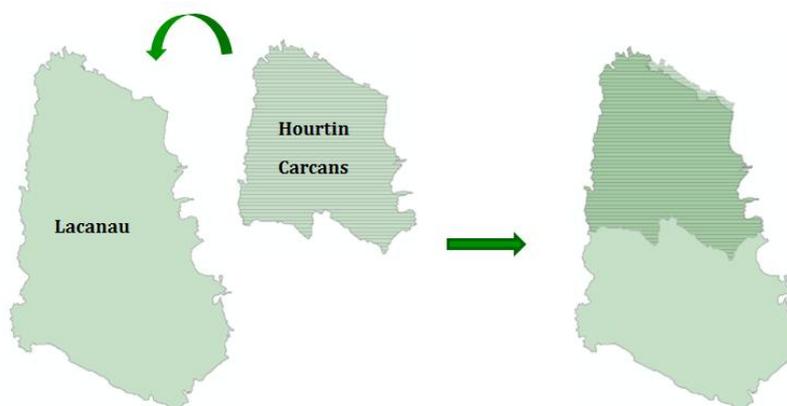


Figure 4 : Représentation des bassins versants de Carcans et Lacanau
Source : Louise PERCAILLE

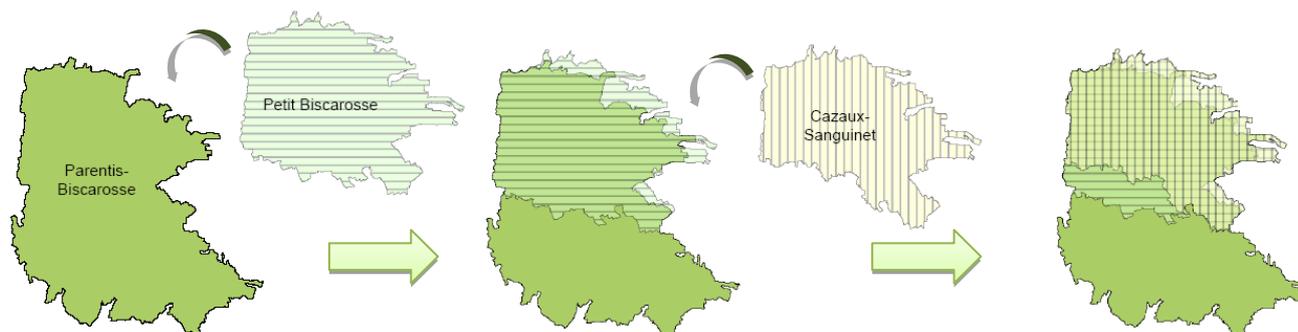
Ils sont alimentés par les précipitations qui s'écoulent dans des fossés d'origine artificielle construits pour assécher les marais il y a deux siècles. Actuellement leur utilisation est principalement d'ordre touristique et de loisir (sports nautiques, pêche, baignade etc...).

Tableau I : Caractéristiques physiques des lacs de Carcans et Lacanau (Dutartre, 1986a; Aquascop and Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013)

	commune	périmètre lac (km)	superficie lac (km ²)	superficie BV (km ²)	nombre de secteurs	profondeur maximale (en m)	profondeur moyenne (en m)	taux de renouvellement annuel	état écologique DCE (2009 à 2011)
Carcans	Hourtin, Carcans	72,12	57,83	332,30	560	10,00	3,4	0,56	moyen
Lacanau	Lacanau	49,51	18,09	710,79	352	8,00	-	-	bon

III.1.3. Les bassins versants de Cazaux-Sanguinet, Petit-Biscarosse, Parentis-Biscarosse

Présente dans les Landes au Sud du bassin d'Arcachon, cette unité géographique est composée de trois principaux plans d'eau qui communiquent entre eux : Cazaux-Sanguinet, Petit Biscarosse, et Parentis-Biscarosse. Les eaux s'écoulent vers le Sud jusqu'à l'Océan, en passant par l'étang d'Aureilhan.



auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Figure 5 : Représentation des bassins versants de Parentis, Cazaux et Petit Biscarosse

Le lac de Cazaux-Sanguinet (ci-après nommé Cazaux), est l'un des lacs aquitains ayant le meilleur état écologique. Classé à un niveau oligotrophe selon les diagrammes OCDE de 1982 (Castagnos and Dutartre, 2001), il sert d'habitat à plusieurs espèces de macrophytes protégées. Il est relié à l'étang de Parentis-Biscarosse (ci-après nommé Parentis) via le canal du littoral des Landes. Situé sur ce canal se trouve l'étang de Petit Biscarosse qui est une relique du temps où les deux lacs étaient réunis. Il est principalement alimenté par le lac de Cazaux, mais la construction d'un canal de navigation en 1971, le contournant par la rive Est, a fortement diminué ces apports (Castagnos and Dutartre, 2001). Ces eaux se jettent dans le lac de Parentis. D'une taille comparable à celle de Cazaux, Parentis se situe à un niveau trophique beaucoup plus élevé. Eutrophe à hypereutrophe, il a souffert dans le passé de nombreuses pollutions industrielles (Castagnos and Dutartre, 2001).

Les principales utilisations de ces plans d'eau sont touristiques et de loisirs. Le lac de Cazaux sert aussi de réserve d'eau potable et le lac de Parentis est largement exploité pour ses ressources pétrolières.

Tableau II : Caractéristiques physiques des lacs de Cazaux, Parentis et Petit Biscarosse (Castagnos and Dutartre, 2001; Aquascop and Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013)

	commune	périmètre lac (km)	surface lac (km ²)	surface BV (km ²)	nombre de secteurs	profondeur maximale (en m)	profondeur moyenne (en m)	taux de renouvellement annuel	état écologique DCE (2009 à 2011)
Cazaux	Cazaux, Sanguinet	40,84	55,84	306,63	240	26,00	8,60	0,23	bon
Parentis	Parentis, Biscarosse	35,15	31,79	604,82	257	20,00	6,70	1,02	moyen
Petit Biscarosse	Biscarosse	7,33	0,82	358,87	43	-	-	-	bon

III.1.4. Les bassins versants de Moliets, La Prade et Moïsan

Présents dans le sud des Landes, ces trois lacs ont une disposition particulière. En effet le bassin versant de Moliets se situe dans celui de La Prade qui se trouve lui-même dans le bassin versant de Moïsan. Chacun alimente l'étang suivant, via un ruisseau, celui de Barail d'abord puis celui de La Prade (Figure 6).

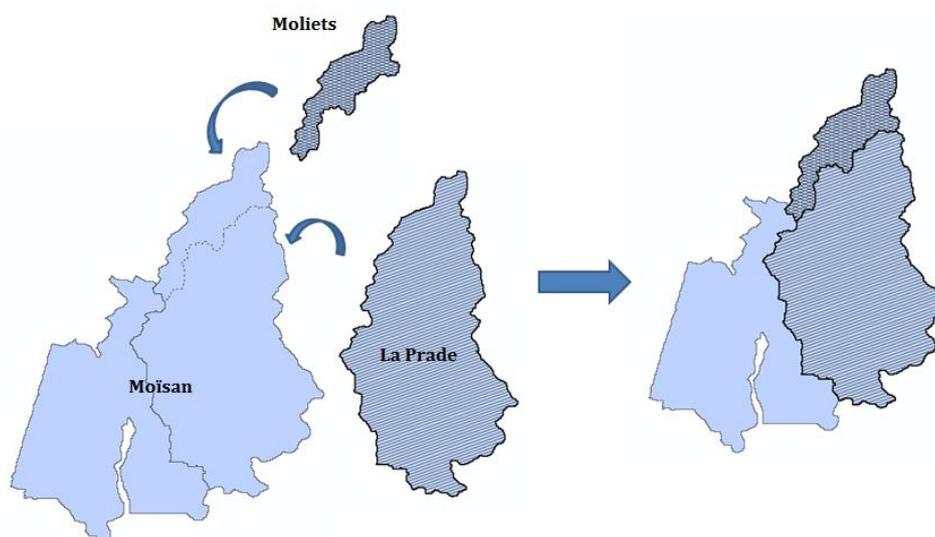


Figure 6 : Représentation des bassins versants des lacs de Moliets, La Prade et Moïsan
Source : Louise PERCAILLE

Ces trois lacs ont de petites superficies (Tableau III), avec pour seuls usages la pêche et la chasse du fait de leur faible accessibilité (Castagnos and Dutartre, 2001).

Tableau III : Caractéristiques physiques des lacs de Moisan, Moliets et La Prade (Castagnos and Dutartre, 2001; Aquascop and Agence de l'eau Adour-Garonne, 2013)

	commune	périmètre lac (km)	surface lac (km ²)	surface BV (km ²)	nombre de secteurs	profondeur max (en m)	profondeur moyenne (en m)	taux de renouvellement annuel	état écologique DCE (2009 à 2011)
Moisan	Messanges	1,61	0,06	30,54	27	-	1,50	25 à 30	non suivi
Moliets	Moliets-et-Mâa	1,71	0,09	2,87	29	0,31	4,30	8,20	non suivi
La Prade	Moliets-et-Mâa, Messanges	2,05	0,15	18,22	35	6,50	4,00	11,40	non suivi

III.2. Préparation des données de cartographie

Ce stage fait suite à celui réalisé par Louise PERCAILLE lors de sa troisième année d'ingénieur à l'ENSEGID de Bordeaux, d'Avril à Septembre 2015. Le protocole de numérisation de l'occupation du sol a donc été mis en place dans le cadre de celui-ci.

III.2.1. Les images

III.2.1.1. Récupération des photos aériennes

La détermination de l'occupation du sol se fait par photo-interprétation. Il est donc nécessaire de collecter des photos aériennes de chaque bassin versant.

Des photos historiques sont disponibles auprès du site Géoportail de l'IGN (Institut National de l'information Géographique et forestière). Elles sont librement réutilisables et classées par années et par mission.

Le référencement des photos disponibles, réalisé par Louise PERCAILLE, a permis d'établir le pas de temps de l'étude (Annexes

Annexe A). Ainsi les années d'études choisies sont 1945, 1965, 1985 et 2000.

Les photos aériennes historiques de l'IGN sont des prises de vues aériennes verticales. Elles sont réalisées par un avion survolant rectilignement la zone à une altitude correspondant à la distance verticale d'un aéronef au-dessus du niveau NGF (Nivèlement Général de la France). Ainsi l'altitude de vol est constante mais pas la hauteur de vol par rapport au relief (Figure 7).

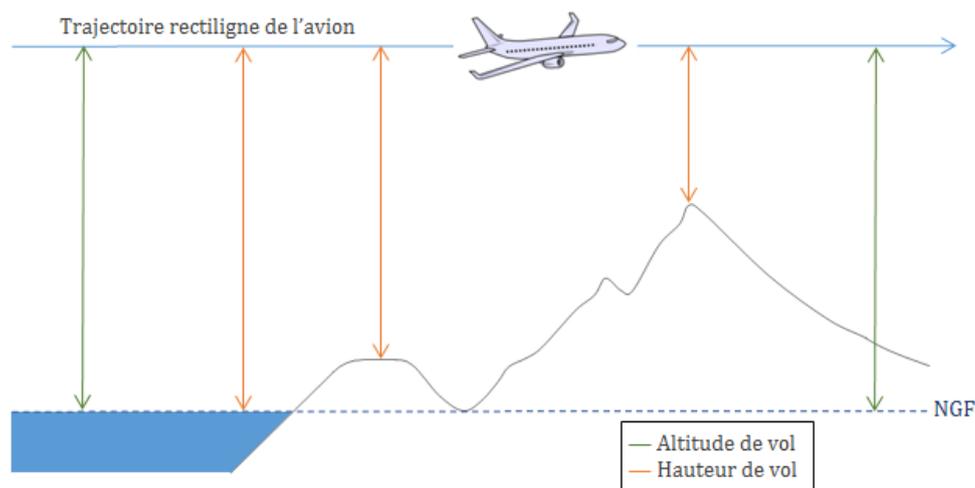


Figure 7 : Représentation de la différence entre hauteur de vol et altitude de vol (Louise PERCAILLE, 2015)

Pour limiter l'impact des inconvénients des photos aériennes (déformations, effet de l'objectif...), des Banques de Données de l'IGN sont utilisées dans la mesure du possible (disponibilité et coût), comme la BD Ortho pour le département des Landes datant de 2002. En effet les BD Ortho sont des ortho-photos, c'est-à-dire des prises de vues aériennes ayant reçues des traitements supprimant les distorsions et l'erreur de parallaxe lors de la visée, corrigeant l'inclinaison de la prise de vue et aplanissant le terrain.

La résolution utilisée est de 50 centimètres dans les deux dimensions. Toutes les photos sont référencées en Lambert 93, système géodésique RGF93.

III.2.1.2. Orthorectification des photos aériennes

L'orthorectification des photographies aériennes se fait en même temps que leur géoréférencement grâce à l'outil du même nom sous ArcGIS. Les images sont transformées dans le même système de référencement que la BD Ortho de l'IGN.

L'outil géoréférencement permet de créer des liens entre les photos aériennes et une couche déjà géoréférencée. Des points remarquables présents sur les deux couches, comme un bâtiment ou une intersection, sont utilisés comme base de ces liens et attribuent le géoréférencement de la couche de référence. La base d'orthophotographies de l'IGN de 2012 des départements de la Gironde et des Landes sert de référence. Les dalles ont une résolution de 50 centimètres.

Une transformation polynomiale va déplacer le jeu de données raster (photos aériennes) vers l'emplacement correct.

Les liens créés doivent être répartis sur la totalité du jeu de données raster dans la mesure du possible. Il faut au minimum quatre points de contrôle pour pouvoir estimer la transformation. Du fait de la complexité de la transformation à effectuer, il est nécessaire dans notre cas d'avoir plus de points. En fonction du nombre de points remarquables disponibles, il y a pour chaque image entre 10 et 15 liens.

Le calage étant manuel, des erreurs sont produites pour chaque image. La différence entre les véritables emplacements et les emplacements transformés des points de contrôle est appelée erreur résiduelle (Figure 8).

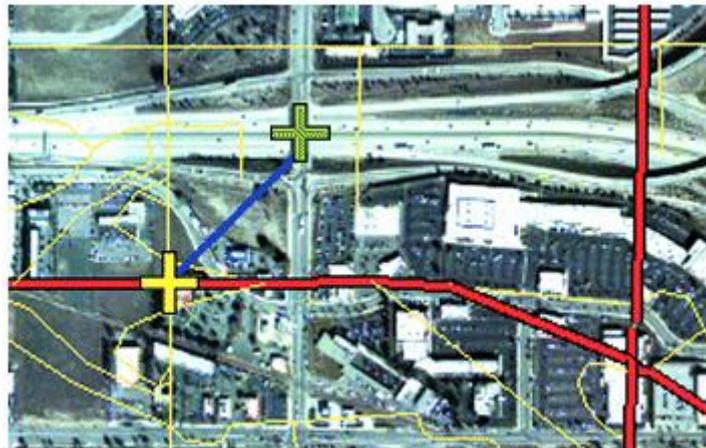


Figure 8 : Illustration des liens et des erreurs résiduelles possibles ('ArcGIS Help 10.1 - Notions de Base Du Géoréférencement D'un Jeu de Données Raster' 2016)

III.2.2. Digitalisation de l'occupation du sol

La digitalisation du paysage a été réalisée avec le logiciel ArcMap 10.3®. L'occupation du sol est définie par des entités polygonales auxquelles a été attribuée visuellement une classe typologique à partir des photos aériennes historiques (système de référence Lambert 93).

Les classes de typologie choisies sont les suivantes :

- Le(s) lac(s),
- La forêt,
- Les prairies et zones humides,
- Les champs,
- Les territoires artificialisés, qui comporte l'urbain, les routes et les chemins,
- Le sable, correspondant au cordon dunaire,
- Les terrains semis-naturels (jardins, zones naturelles anthropisées)
- La classe NA correspondant aux zones sans photos aériennes.

La saisie des entités est réalisée à une échelle de 1/5000^{ème}. Les routes et les chemins sont numérisés en premier, en tant que réseau linéaire. Ils sont ensuite épaissis par l'ajout d'une zone tampon de 6 mètres pour les routes et de 1 mètre pour les chemins. La détermination des bassins versants a été réalisée par Louise PERCAILLE. De même pour les cartes d'occupation du sol de Moliets, La Prade et Moisan pour les quatre années de l'étude et celles de Lacanau et Carcans de 1945 et 2000.

III.3. Les relevés botaniques

Le suivi des communautés de macrophytes des lacs aquitains est réalisé par l'IRSTEA depuis une dizaine d'année. Il suit un protocole réalisé par Alain DUTARTRE pour l'IRSTEA. Le périmètre des lacs est divisé en secteurs, chacun faisant en longueur 100 mètres de linéaire de rive et s'étalant en largeur jusqu'à la profondeur d'eau de 1 mètre (Tableau IV). Les macrophytes sont déterminés au niveau de l'espèce, et une note d'abondance comprise entre 1 et 5 leur est attribuée.

Tableau IV : Informations regroupant les années de campagne d'échantillonnage de macrophytes et le nombre de secteurs pour chacun des 8 lacs étudiées.

Lac	Année de la campagne de relevé floristique	Nombre de secteurs
Carcans	2011	560
Cazaux	2006	240
La Prade	2010	35
Lacanau	2011	352
Moisan	2010	27
Moliets	2010	29
Parentis	2006	257
Petit Biscarosse	2011	43

III.4. Analyses statistiques

III.4.1. Les indices paysagers

Les indices paysagers nous donnent des informations sur la mosaïque paysagère, sa composition et sa dynamique. Ceux calculés sont :

La composition du paysage qui correspond au pourcentage de recouvrement d'un type d'occupation du sol au sein du paysage. Il est calculé pour chaque classe, chaque année.

Soit $\%ODS_{class} = \frac{A_{class}}{A_{land}} * 100$ avec $\%ODS_{class}$ Pourcentage ODS de la classe

A_{class} Surface de la classe

A_{land} Surface du Bassin versant (=paysage)

L'hétérogénéité paysagère calculée avec l'indice de diversité de Shannon. Il combine la richesse et la régularité du paysage, ce qui intègre les notions de fragmentation et de connectivité du paysage.

Soit $SHDI = -\sum_{class=1}^S (P_{class} * \ln (P_{class}))$

avec S le nombre de classe du paysage

P_{class} la proportion du paysage occupée par la classe.

Le changement temporel de l'ODS pour une classe donnée. Dans cette étude, seuls les changements forestiers, urbains et la catégorie « artificiels », regroupant les classes urbain et routes, sont calculés.

$$CHT = \frac{1}{n} \sum \frac{(S_{t1} - S_{t0})^2}{\left(\frac{S_{t1} + S_{t0}}{2}\right)}$$

Avec : CHT : Changements temporels

n : le nombre d'année étudiée

S_{t1} et S_{t2} : les superficies aux temps t_1 et t_0

Les indices paysagers sont déterminés grâce au logiciel open source Fragstat®, à partir des couches d'occupation du sol. Il permet de mesurer différentes métriques paysagères à différentes échelles. Pour cette étude, afin d'être lisibles par le logiciel, les shapefiles d'occupation du sol ont été transformé en Raster puis en grid (format ASCII).

III.4.2. Analyse de l'occupation du sol

III.4.2.1. *Analyse en Composante Principale (ACP)*

L'Analyse en Composante Principale a pour but de comparer plusieurs variables quantitatives, puis de les représentés dans un espace de dimension réduite en déformant le moins possible la réalité.

Dans notre étude, une ACP réalisée sur les variables paysagères (pourcentage de recouvrement de chaque classe entre 1945 et 2000), va nous permettre d'établir quel type d'entité caractérise principalement les bassins versants des lacs aquitains du littoral. Elle permettra aussi de visualiser la dynamique temporelle de l'occupation du sol. La distance euclidienne dans l'espace définie par les deux premiers axes de l'ACP, mais aussi uniquement selon l'axe 1 et l'axe 2, est ensuite déterminée pour chaque lac. La distance totale (de 1945 à 2000) mais aussi la distance entre chaque année (ex : entre 1945 et 1965) a été calculée.

III.4.2.2. *Matrices de transition entre 1945 et 2000*

La détermination des intersections entre les couches ODS de 1945 et 2000, nous a permis de créer les matrices de transition pour chaque classe d'occupation du sol. Ces matrices, qui permettent de mettre en évidence les changements d'usage de chaque parcelle étudiée, quantifient la transformation géographique du paysage et le changement des pratiques. Elles permettent par exemple d'observer la nature des parcelles qui se sont urbanisées, ou le changement d'usage des parcelles boisées. Ces matrices peuvent être visuellement interprétées grâce à un diagramme de Chord.

III.4.3. Analyses de la composition floristique

III.4.3.1. *Analyse des variables paysagères corrélées à la richesse spécifique.*

Pour être plus juste et en raison de la relation aire-espèce (Gleason, 1922; Connor and McCoy, 1979; Gotelli and Colwell, 2001; Beisel and Lévêque, 2010), la richesse spécifique (S) est pondérée par le nombre de secteurs pour chaque lac. Des modèles linéaires sont ensuite appliqués pour voir si elle est corrélée aux variables paysagères mesurées précédemment, c'est-à-dire le pourcentage de recouvrement de chaque classe, l'hétérogénéité paysagère, le changement temporel, la distance selon les axes de l'ACP faite sur les classes paysagères, et la surface de transition de la classe à une autre entre 1945 et 2000. Pour mieux voir les effets de l'urbanisation, une classe « artificialisée » a été créée. Elle fusionne les chemins, les routes et l'urbain.

III.4.3.2. *Analyse des Redondances (RDA)*

L'influence des variables paysagères sur la composition floristique est quantifiée à l'aide d'une analyse des Redondances (RDA). Cette analyse multivariée permet de projeter chaque relevé dans un espace multidimensionnel en fonction de sa composition floristique en contraignant cette projection par les paramètres paysagers. On peut ainsi voir quelles variables influent sur quelles espèces et essayer de déterminer les pressions pouvant jouer sur la composition taxonomique.

Les variables paysagères analysées sont : le pourcentage d'ODS de chaque classe par année, l'hétérogénéité paysagère, les changements forestiers, urbains et artificiels, la distance selon les axes de l'ACP paysagères (III.4.2.1), et les valeurs des matrices de transition entre les classes pour chaque lac, plus la classe artificialisée créée précédemment. Cependant pour les matrices de transitions les classes sable, routes, chemins, urbain et NA sont supprimées car elles représentent des surfaces très minoritaires par rapport aux autres transitions de classe dans les bassins versants. L'abondance des espèces est transformée selon la distance de Hellinger.

L'analyse supprime automatiquement les variables trop redondantes.

L'ensemble des analyses a été effectué avec le logiciel R (R Core Team, 2014) et les librairies Ade4 (Dray, S. and Dufour, A.B., 2007, 4), Vegan (Oksanen et al., 2016), Circlize (Gu et al., 2014), labdsv (Roberts, 2016), et reshape (Wickham and Hadley, 2007).

IV. Résultats

IV.1. *La Dynamique paysagère*

IV.1.1. Variation temporelle globale du paysage

IV.1.1.1. *Matrice de Transition de l'ODS entre 1945 et 2000*

La forêt est la classe dominante dans les bassins versants, suivie par l'eau qui correspond à la surface des lacs (Figure 9). En 1945 il y avait aussi une forte proportion de prairies, mais elles ont fortement diminuées en 2000. La tendance inverse s'observe pour les champs et les jardins.

Sur la Figure 9, les ellipses entre les deux dates permettent de voir les changements de classes des parcelles. Ainsi on remarque que les classes caractérisant l'urbanisation (Jardins, Urbain, Routes, Chemins) ont augmenté en s'étendant sur les anciens champs ou une partie des forêts. Les anciens champs quant à eux sont soit redevenus des forêts, soit ont été phagocytés par l'expansion des villes. La majorité des champs de 2000 a été créée sur des parcelles forestières et sur quelques prairies. Les prairies de 1945 se sont quelquefois maintenues jusqu'en 2000 et seules quelques nouvelles prairies ont été créées en prenant des parcelles sur la forêt. Cela est cependant trop faible pour garder la même quantité de prairies entre les deux époques.

Le pourcentage de forêt quant à lui s'est maintenu entre 1945 et 2000. Les pertes de parcelles prises par l'urbanisation et la mise en culture ont été reprises par la fermeture des milieux ouverts que sont les prairies et champs.

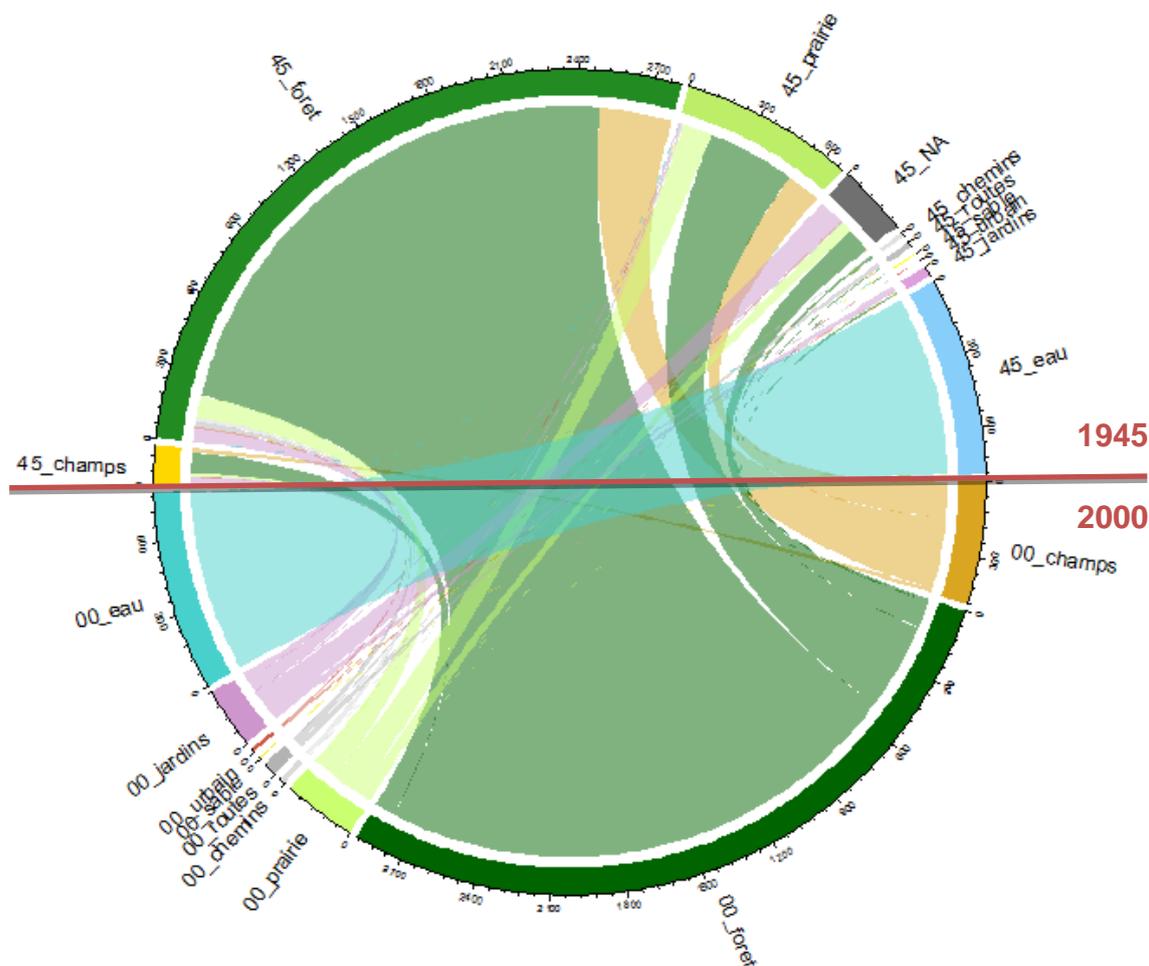


Figure 9 : Diagramme de Chord illustrant la matrice de transition de l'occupation du sol entre 1945 et 2000, pour l'ensemble des bassins versants étudiés.

IV.1.1.2. Variation globale de la diversité paysagère

Au cours du temps la diversité paysagère des bassins versants tend à augmenter d'une manière générale (Figure 10). Cela traduit une hétérogénéisation des bassins versants. Le seul lac ayant un bilan négatif d'hétérogénéisation est Moliets. Tous les lacs semblent avoir un état de départ similaire en 1945. Seul Cazaux avait une diversité plus faible (0,6) que les autres bassins versants (environ 1) en 1945.

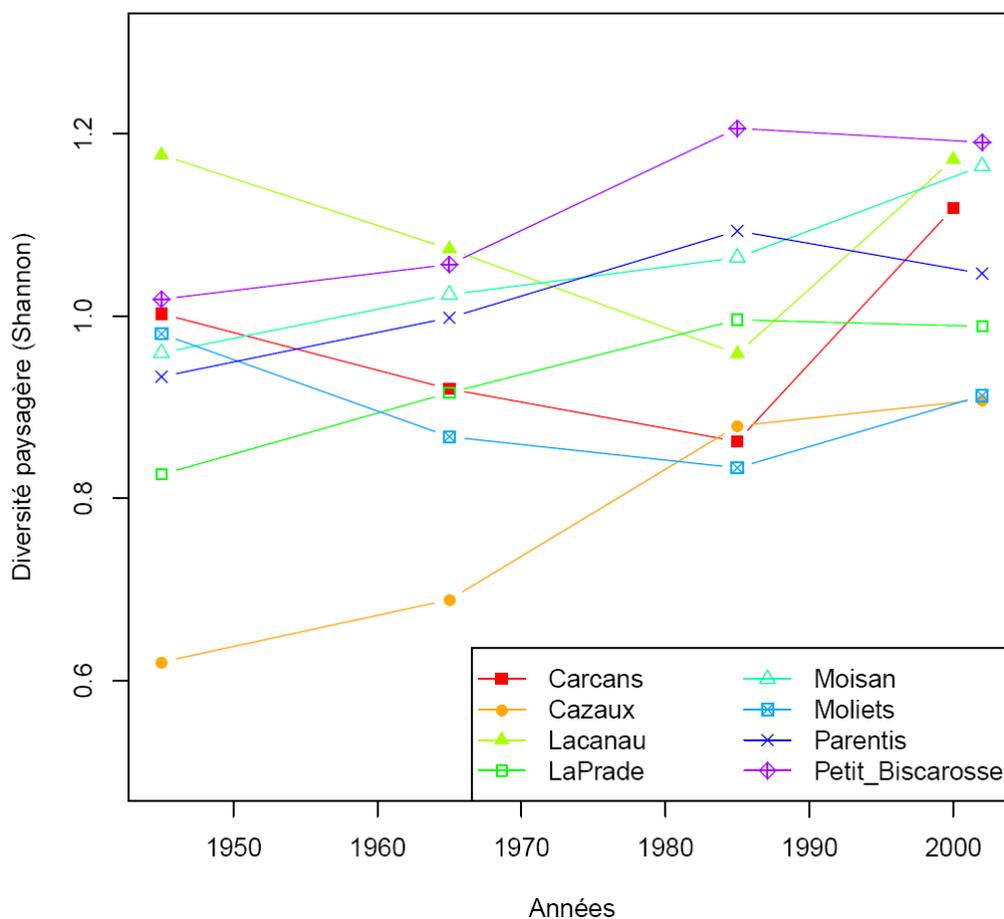


Figure 10 : Représentation de la dynamique temporelle de l'indice de diversité paysagère (Shannon) pour chaque lac étudié

IV.1.1.3. Analyse en Composante principale (ACP)

L'analyse en Composante principale nous permet de voir la dynamique temporelle des bassins versants en fonction du pourcentage de recouvrement des différentes classes d'ODS (Figure 11).

Les champs, chemins, jardins, routes et l'urbain expliquent principalement l'axe 1 de l'ACP. L'occupation du sol représenté par la forêt et l'eau est principalement définie le long des valeurs positives de l'axe 2 et s'oppose à la classe des prairies, représentée par des valeurs négatives.

L'axe 1 correspond donc plus à l'artificialisation des bassins versants tandis que l'axe 2 donne des informations sur le type de végétation que l'on trouve. Tous les lacs ont une trajectoire temporelle qui tend vers l'artificialisation de leur bassin versant. Cependant, on peut relever que les bassins versants des lacs de Lacanau et

Carcans se caractérisent par une forte augmentation de leur surface forestière entre 1945 et 1985 (Fig. 11).

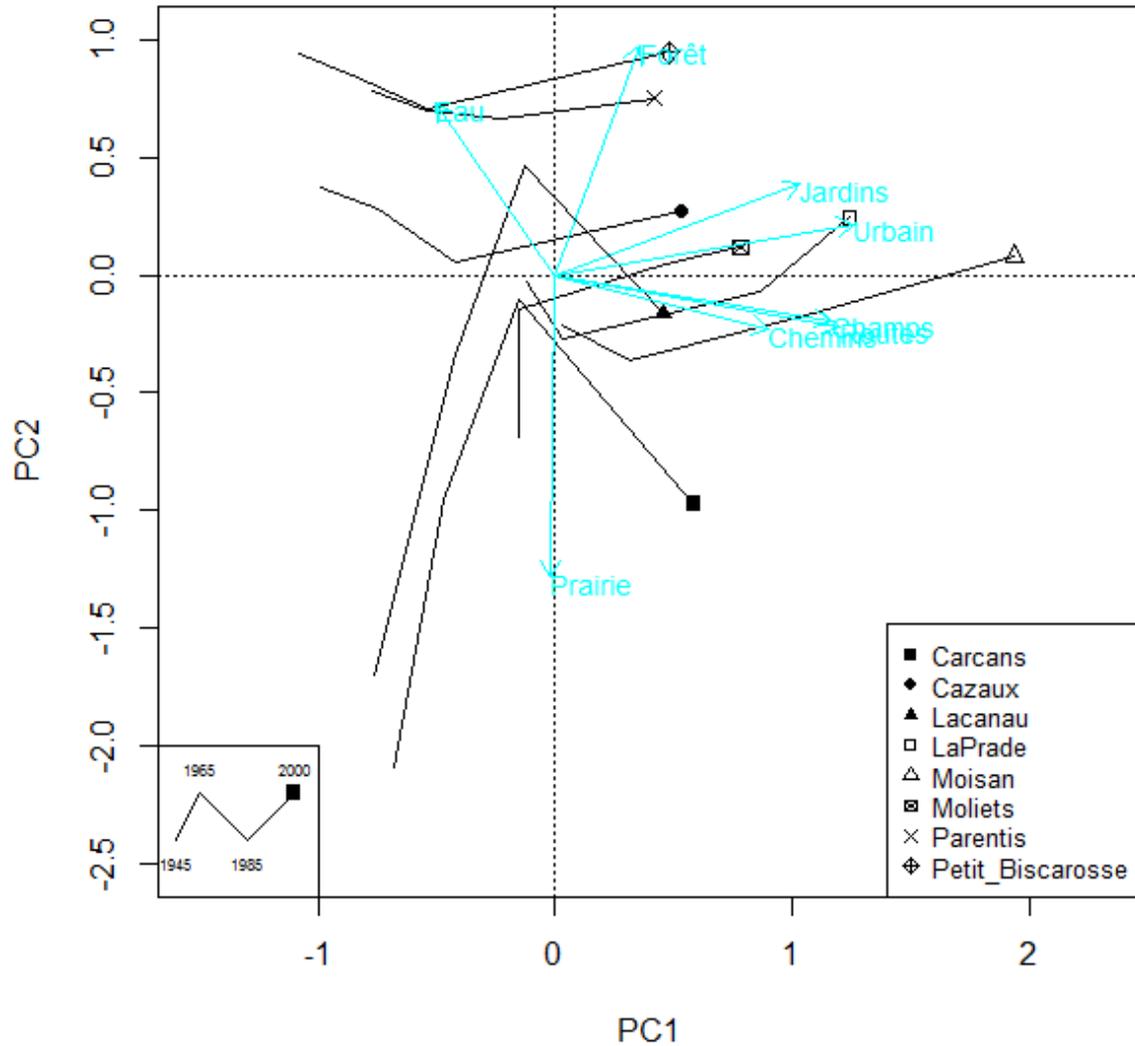


Figure 11 : Représentation des axes 1 et 2 de l'ACP réalisée sur les variables paysagères. L'axe 1 représente 42,11% de la variation totale et l'axe 2 21,96% soit un total de 64,07%.

IV.1.2. Variation des principaux groupes de bassins versants

IV.1.2.1. *Lacanau et Carcans*

La digitalisation de l'occupation du sol a donné les cartes disponibles en annexe (Annexe B, Annexe C, Annexe D, Annexe E, Annexe F et Annexe G).

Sur Carcans le bassin versant est principalement forestier, avec de nombreuses prairies (Figure 12). On remarque une forte diminution des prairies jusqu'en 1985, période à partir de laquelle elles commencent à se maintenir, voire à augmenter légèrement. Cette évolution se fait majoritairement au profit des forêts (Tableau V, Figure 11). Le pourcentage de champs augmente à partir de 1965, jusqu'à atteindre 15% du paysage en 2000. En parallèle, on observe un léger développement des jardins entre 1965 et 1985, même si, comme la classe urbaine, ils représentent un faible recouvrement par rapport à la taille du bassin versant.

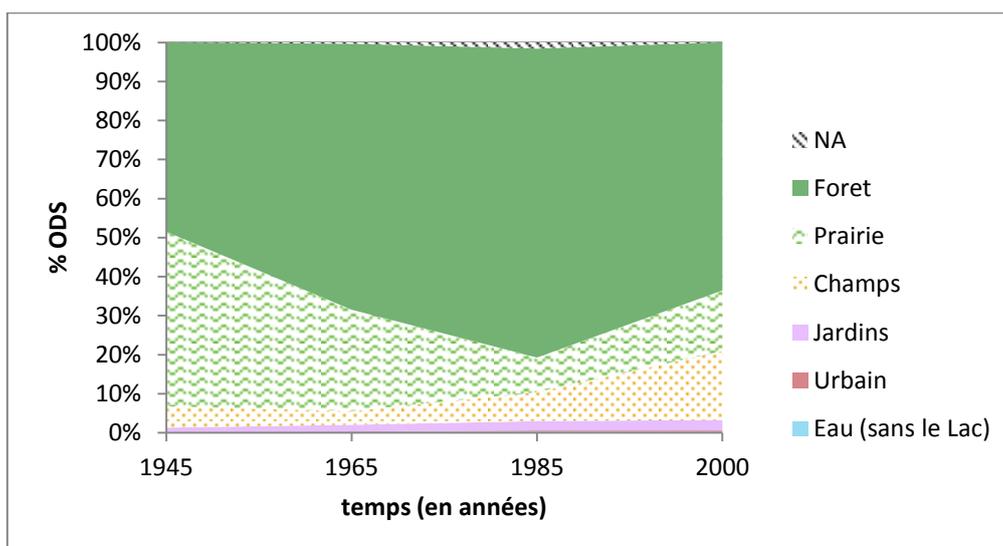


Figure 12 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Carcans

La dynamique temporelle de Lacanau est similaire (Figure 13), avec un peu plus de forêt (jusqu'à 73% en 1985) sur sa partie qu'il n'a pas en commun avec Carcans et un peu moins de champs.

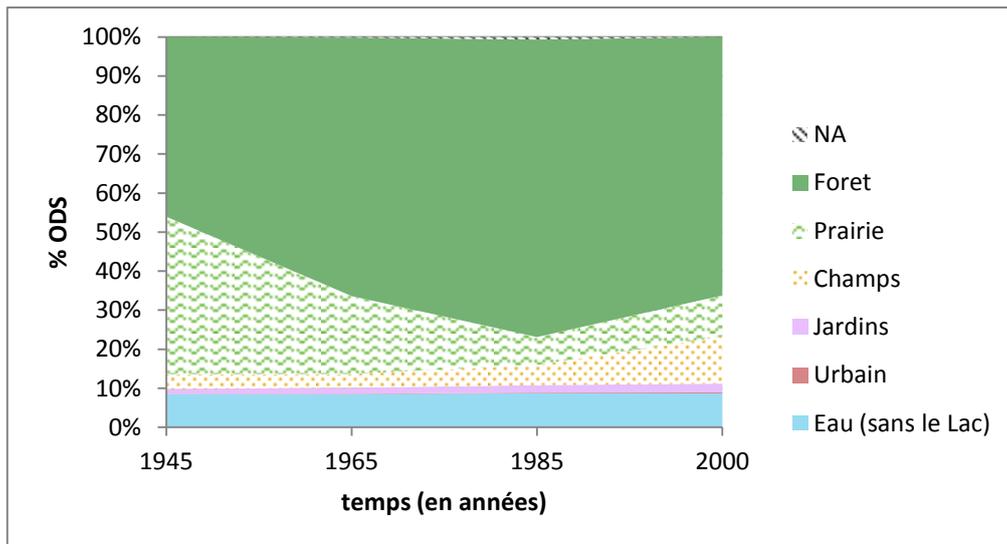


Figure 13 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Lacanau

Au final cette diminution des prairies jusqu'en 1985 se traduit par une homogénéisation des bassins versants visible sur la Figure 10 avec une perte de 0,25 points pour Lacanau et de 0,15 points pour Carcans. Puis on remarque une forte augmentation de la diversité paysagère (+0,2 points). Au final entre 1945 et 2000 la diversité paysagère de Lacanau n'a pas augmentée (score de 1,2 environ), contrairement à Carcans. Les deux bassins versants, qui sont emboîtés, ont un indice d'hétérogénéité très proche.

La dynamique des prairies et la reforestation jusqu'en 1985 sont les phénomènes caractérisant le plus les bassins versants de Lacanau et Carcans (Figure 11). Ils sont très visibles via les matrices de transition (Tableau V et Tableau VI). En effet environ le tiers des prairies présentes en 1945 se sont refermées vers un état forêt (18,75% sur un total de 39,51% des prairies sont devenues des forêts pour Carcans (Tableau V). Pour Lacanau il s'agit de 24,96% sur un total de 38,83 de prairies (Tableau VI).

Tableau V : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Carcans

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	0,76	3,62	9,71	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	14,21
00 forêt	2,28	29,56	18,75	0,00	0,26	0,14	0,00	0,02	0,20	0,00	51,20
00 prairies	0,78	4,50	7,11	0,00	0,06	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	12,52
00 chemins	0,02	0,30	0,19	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,57
00 routes	0,04	0,41	0,43	0,00	0,02	0,50	0,00	0,00	0,03	0,00	1,44
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,04	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,00	0,28
00 jardins	0,51	0,93	0,20	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,46	0,00	2,17
00 eau	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	17,48	17,61
% Total en 1945	4,44	39,51	36,44	0,00	0,44	0,72	0,00	0,08	0,89	17,48	100,00

Tableau VI : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Lacanau

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	0,67	3,46	7,27	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	11,52
00 forêt	1,88	35,57	24,96	0,00	0,30	0,12	0,00	0,02	0,26	0,00	63,10
00 prairies	0,63	3,60	5,67	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	10,03
00 chemins	0,02	0,36	0,25	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,67
00 routes	0,03	0,36	0,40	0,00	0,03	0,54	0,00	0,00	0,02	0,00	1,38
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,04	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,00	0,24
00 jardins	0,42	0,80	0,23	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,63	0,02	2,16
00 eau	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	10,76	10,89
% Total en 1945	3,68	44,29	38,83	0,00	0,47	0,71	0,00	0,08	1,15	10,79	100,00

IV.1.2.2. Cazaux, Parentis-Biscarosse et Petit Biscarosse

Les cartes par bassin versant sont disponibles en annexe (Annexe H, Annexe I, Annexe J, Annexe K, Annexe L, Annexe M, Annexe N, Annexe O).

Parentis et Petit Biscarosse sont majoritairement forestiers, tandis que Cazaux semble plus mixte. On remarque sur ces trois lacs une diminution des forêts jusqu'en 1985, qui s'inverse après cette date (Figure 11).

A partir de 1965, le bassin versant de Cazaux, Parentis et Petit Biscarosse voit une augmentation de son activité agricole (Figure 14, Figure 15, Figure 16). Les terres arables qui étaient présentes autour des villes se sont urbanisées et on voit l'apparition entre 1965 et 1985 de grands champs plus éloignés des villes. Les

prairies humides autour des lacs diminuent, en particulier autour de Parentis et de Petit Biscarosse.

L'augmentation visible des prairies et des jardins en 2002, correspond principalement à la digitalisation de la base militaire au nord de Cazaux et celle d'essai nucléaire des landes présente sur la façade ouest des lacs Petit Biscarosse et Parentis (Tableau VII, Tableau VIII,

Tableau IX). Les supports photographiques de ces zones militaires n'étaient en effet disponibles que pour les années 2000.

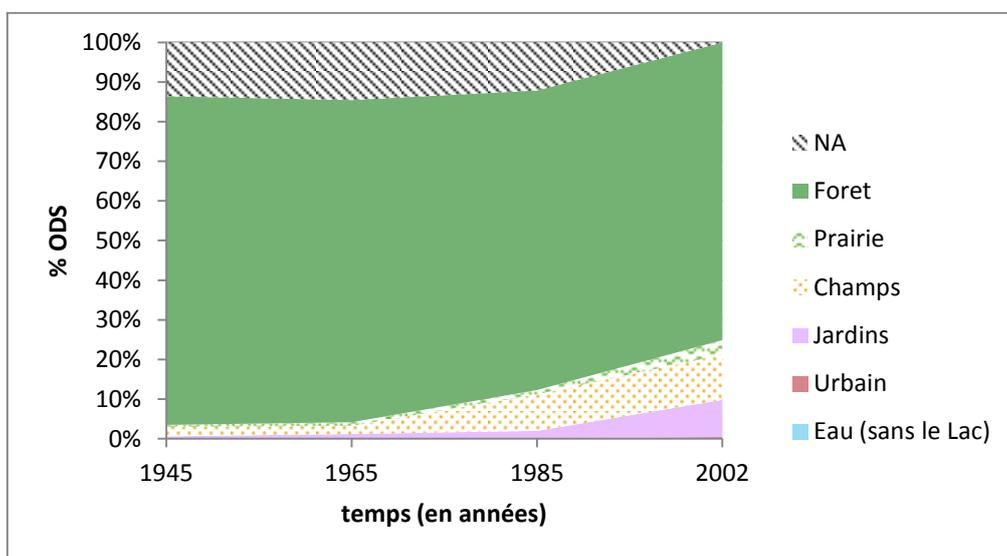


Figure 14 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Cazaux

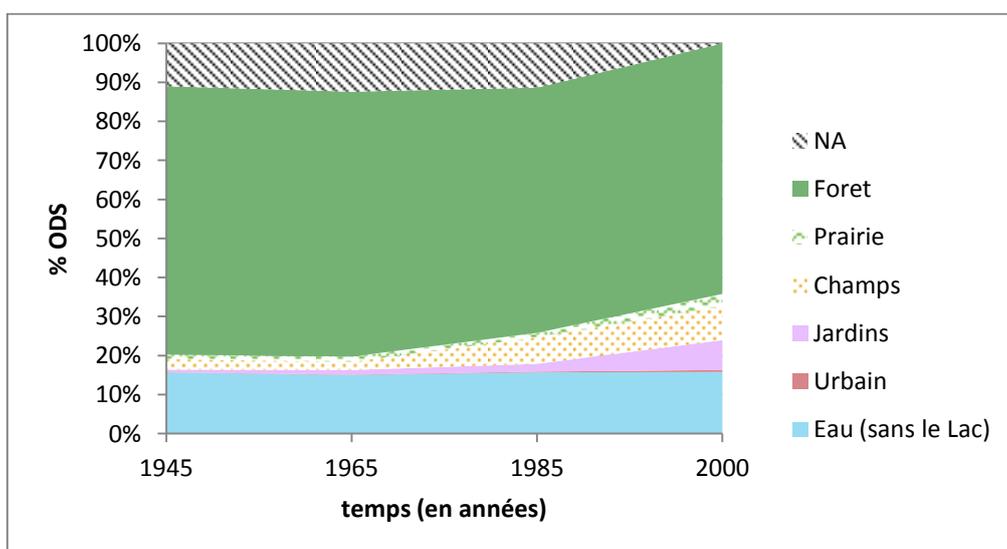


Figure 15 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Petit Biscarosse

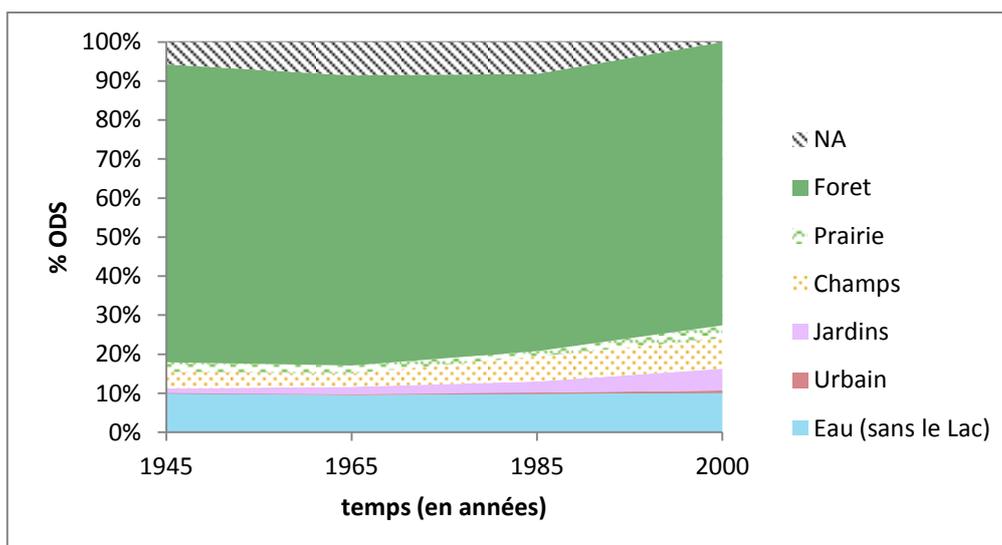


Figure 16 : Variation du pourcentage de recouvrement des classes d'ODS au cours du temps sur le bassin versant de Parentis

Cette urbanisation va entraîner une modification de la diversité paysagère. Celle de Cazaux augmente tout au long de la période étudiée de 0,6 à 0,9 environ, avec une intensification entre 1965 et 1985 (Figure 10). Petit Biscarosse suit la même trajectoire avec une augmentation moins forte sur la période étudiée (de 1,0 à 1,2 environ) et une très faible diminution entre 1985 et 2002. Le profil de Parentis est similaire à celui de Petit Biscarosse. L'augmentation de 1945 à 1985 est cependant plus constante, et la diminution de la diversité paysagère entre 1985 et 2002 est plus forte (-0,1 environ). Cazaux a un bassin versant beaucoup plus homogène que Parentis et Petit Biscarosse, et Parentis un bassin versant plus homogène que Petit Biscarosse. On peut donc supposer que l'hétérogénéité paysagère se trouve principalement dans la zone entre les lacs de Cazaux et Parentis.

Tableau VII : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Cazaux

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	0,07	8,91	0,03	0,11	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	9,20
00 forêt	1,24	55,49	0,06	3,26	0,20	0,09	0,00	0,00	0,08	0,04	60,46
00 prairies	0,05	0,74	0,22	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	2,92
00 chemins	0,00	0,36	0,00	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
00 routes	0,03	0,42	0,01	0,20	0,01	0,13	0,00	0,00	0,05	0,00	0,86
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,03	0,11	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,37
00 jardins	0,47	1,22	0,11	5,36	0,01	0,05	0,00	0,02	0,30	0,01	7,55
00 eau	0,00	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,08	18,20
% Total en 1945	1,89	67,33	0,47	11,03	0,29	0,29	0,00	0,04	0,47	18,19	100,00

Tableau VIII : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Petit Biscarosse

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	0,07	8,29	0,03	0,09	0,06	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	8,55
00 forêt	1,64	56,53	0,26	4,24	0,21	0,09	0,00	0,01	0,09	0,04	63,10
00 prairies	0,04	0,71	0,69	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	3,08
00 chemins	0,00	0,37	0,00	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
00 routes	0,06	0,49	0,02	0,18	0,01	0,20	0,00	0,00	0,06	0,00	1,03
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,08	0,17	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,00	0,49
00 jardins	0,76	1,45	0,13	4,58	0,01	0,06	0,00	0,04	0,44	0,01	7,48
00 eau	0,00	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,69	15,81
% Total en 1945	2,67	68,06	1,18	10,90	0,30	0,37	0,00	0,07	0,67	15,78	100,00

Tableau IX : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Parentis

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	0,36	6,83	0,02	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	7,29
00 forêt	2,35	61,05	0,96	2,67	0,24	0,10	0,00	0,01	0,19	0,04	67,60
00 prairies	0,13	1,01	0,91	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	3,05
00 chemins	0,01	0,39	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,48
00 routes	0,10	0,52	0,04	0,07	0,01	0,31	0,00	0,00	0,08	0,00	1,11
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,12	0,22	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,00	0,55
00 jardins	0,90	1,61	0,25	1,59	0,01	0,07	0,00	0,05	0,73	0,00	5,20
00 eau	0,00	0,05	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,52	14,72
% Total en 1945	3,96	71,66	2,34	5,38	0,32	0,49	0,00	0,10	1,14	14,61	100,00

IV.1.2.3. Moliets, La Prade et Moïsan

Les résultats d'occupation du sol de Moliets, La Prade et Moïsan ont été réalisés précédemment par Louise PERCAILLE et son disponible en Annexe Q. Les bassins versants étaient principalement forestiers et ils ont subi une forte urbanisation.

Les matrices de transition montrent une forte diminution des forêts au profit des chemins (Tableau X, Tableau XI, Tableau XII). On remarque une augmentation du pourcentage de forêt pour Moliets, contrairement au bassin versant des deux autres lacs, qui se fait au dépend des chemins. Il y a aussi une légère diminution des champs. Pour les trois lacs, il y a une petite augmentation de zone urbaine, mais surtout une augmentation des jardins sur la forêt.

Ces modifications ont des conséquences sur la diversité paysagère (Figure 10). L'indice de Moliets diminue (de 1,0 à 0,8 environ) jusqu'en 1985, puis il commence à croître. La Prade a une trajectoire inverse avec une augmentation jusqu'en 1985 et à partir de cette date une légère diminution (-0,05). Moisan devient de plus en plus hétérogène au cours du temps, avec une accélération de la tendance à partir de 1985.

Les bassins versants de Moliets, La Prade et Moisan ont subi une forte artificialisation de 1985 à 2000 (Figure 11). On remarque cependant que l'occupation du sol de ces trois bassins imbriqués est différente. Moisan avait beaucoup plus de prairies en 1945, qui ont diminuées en passant de 15% du bassin versant en 1945 à 10% en 2000 (Tableau XII). La Prade et Moliets ont eu quand à eux un maintien de leurs prairies.

Tableau X : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Moliets

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	3,39	2,79	0,00	0,00	0,75	0,04	0,00	0,00	0,00	0,08	7,06
00 forêt	2,59	52,65	0,00	0,00	15,83	0,28	0,00	0,00	0,03	0,60	71,98
00 prairies	0,00	0,00	3,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03
00 chemins	1,70	5,76	0,00	0,00	3,76	0,05	0,00	0,00	0,00	0,18	11,45
00 routes	0,11	0,49	0,00	0,00	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,85
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,67
00 jardins	0,10	0,22	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,08	0,10	0,76
00 eau	0,69	1,44	0,00	0,00	0,87	0,03	0,00	0,00	0,04	1,13	4,20
% Total en 1945	8,57	63,36	3,03	0,00	21,62	0,45	0,00	0,67	0,15	2,14	100,00

Tableau XI : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de La Prade

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	1,65	5,39	0,00	0,00	2,71	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	9,83
00 forêt	2,47	61,10	0,00	0,00	7,95	0,24	0,00	0,05	0,02	0,35	72,18
00 prairies	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28
00 chemins	0,58	5,14	0,00	0,00	2,94	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	8,73
00 routes	0,03	0,38	0,00	0,00	0,09	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,55
00 sable	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00 urbain	0,02	0,48	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	1,17	0,00	0,02	1,76
00 jardins	0,07	0,48	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,14	0,08	0,91
00 eau	0,60	2,28	0,00	0,00	0,96	0,03	0,00	0,01	0,03	0,85	4,76
% Total en 1945	5,43	75,26	1,28	0,00	14,84	0,37	0,00	1,25	0,19	1,39	100,00

Tableau XII : Matrice de transition en % de l'ODS entre 1945 et 2000 de Moisan

	45 champs	45 forêt	45 prairies	45 NA	45 chemins	45 routes	45 sable	45 urbain	45 jardins	45 eau	% Total en 2000
00 champs	3,99	4,83	1,95	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	10,85
00 forêt	2,31	55,28	8,67	0,00	0,28	0,05	0,20	0,00	0,01	0,27	67,08
00 prairies	0,70	5,88	3,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	9,70
00 chemins	0,09	0,46	0,09	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,71
00 routes	0,06	0,79	0,10	0,00	0,01	1,13	0,01	0,00	0,00	0,01	2,11
00 sable	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,98
00 urbain	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,97
00 jardins	0,10	0,79	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,08	1,28
00 eau	0,78	3,71	0,92	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,84	6,31
% Total en 1945	8,04	71,76	14,94	0,00	0,44	1,21	1,19	0,95	0,19	1,28	100,00

IV.2. *Influence de la dynamique paysagère sur la composition des communautés de macrophytes*

IV.2.1. Corrélation de la Richesse spécifique avec les variables paysagères

La richesse spécifique est négativement corrélée à l'urbain en 45, aux champs en 85, aux prairies en 85, à la distance par rapport à l'axe 1 de l'ACP des variables paysagères entre 1965 et 1985, et aux champs qui sont restés des champs jusqu'en 2000. Elle est aussi corrélée positivement avec la transformation des forêts en jardins entre 1945 et 2000, et celle des champs en jardins ; ainsi que des jardins en 1945 qui restent des jardins en 2000 (Figure 17).

D'autres variables sont aussi significativement corrélées avec la richesse spécifique pondérée mais la distribution des points montre que ces régressions sont sensibles à la présence de points extrêmes. En outre, les variables concernées sont des variables extrêmement peu représentées à l'échelle du bassin versant. Elles ne seront pas prises en compte dans l'interprétation des résultats. Par exemple, la transition de champs en 1945 en eau en 2000, est corrélée à la richesse, mais en étant tirée par chaque extrémité. De plus, cette classe de transition correspond à la création de mares de quelques dizaines à quelques centaines de mètres carrés.

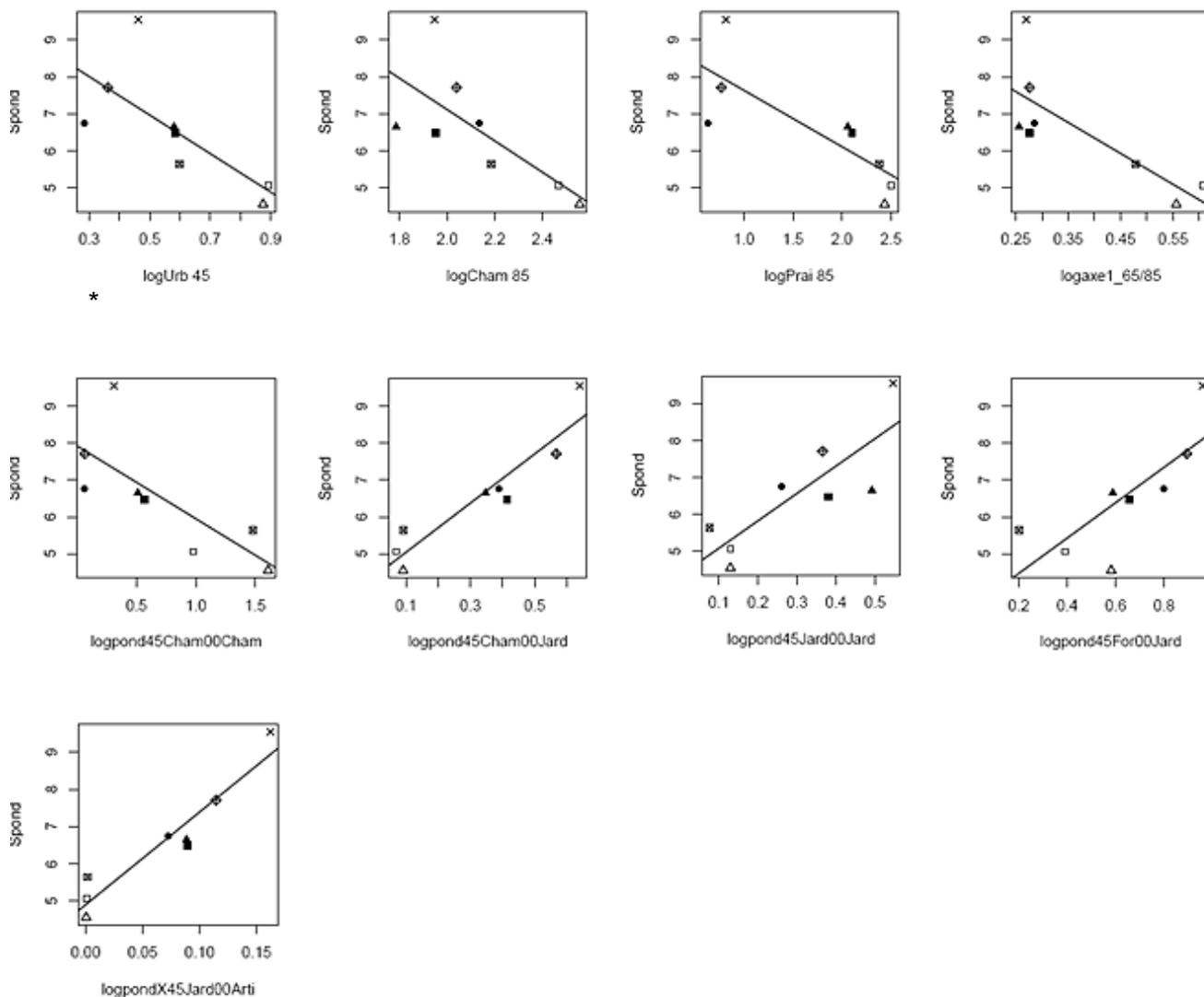


Figure 17 : Corrélations entre la richesse spécifique pondérée par le périmètre respectifs des lacs et les variables paysagères.

IV.2.2. Etude de la composition taxonomique (RDA)

La composition taxonomique de chaque lac par secteurs est mise en relation avec les variables environnementales déterminées précédemment, par une RDA (Figure 18).

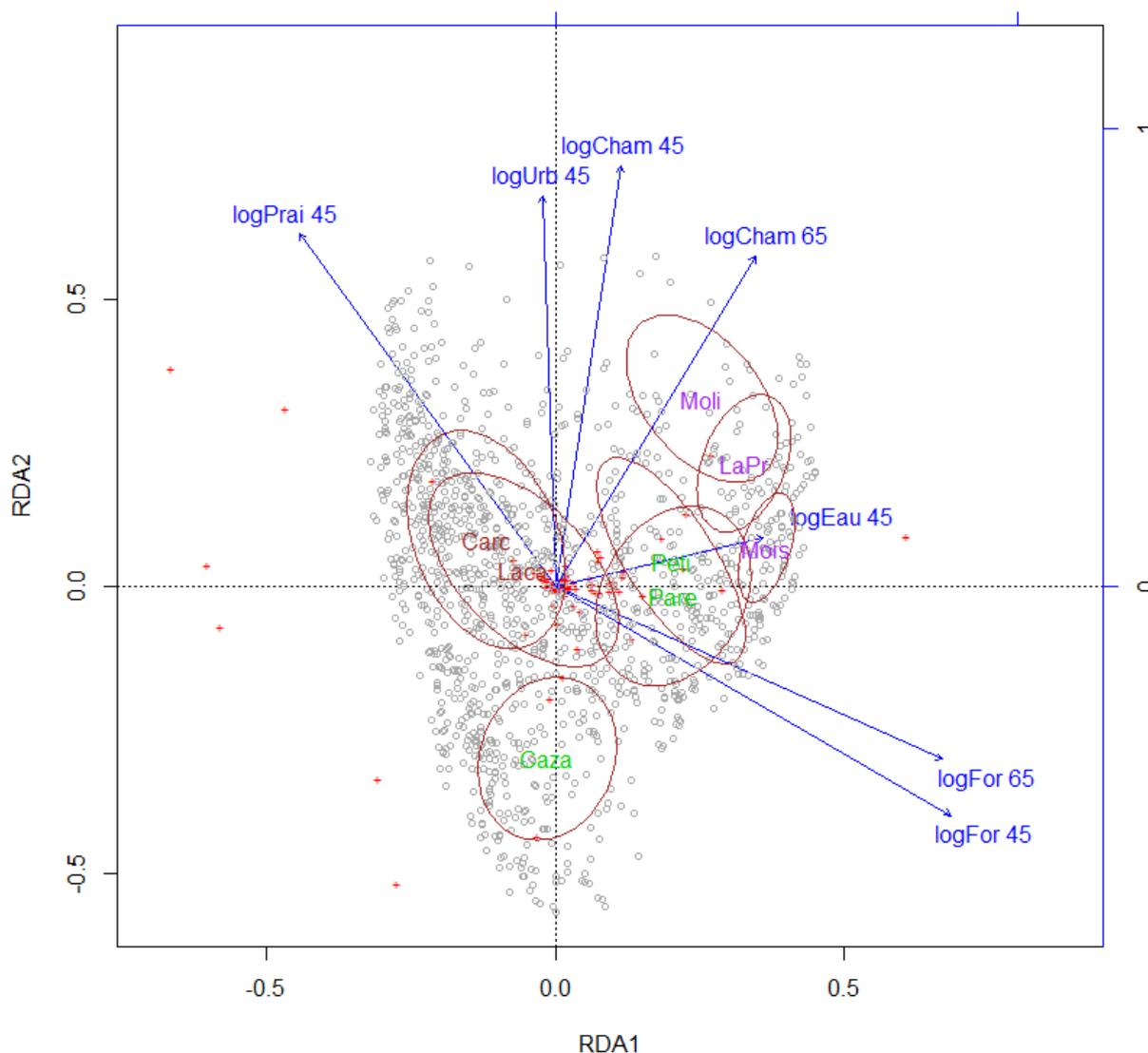


Figure 18 : Représentation des relevés et des variables sur les 2 premiers axes de la RDA. L'axe 1 et l'axe 2 de RDA explique respectivement 47,63% et 20,80% de la variation totale. Les flèches bleues représentent les variables paysagères corrélées aux liste floristiques. Les points rouges représentent la position des espèces de macrophytes.

Les seules variables ayant eu une corrélation assez fortes sont le pourcentage de recouvrement des prairies de 1945, des champs de 1945 et 1965, de l'urbain de 1945, de l'eau de 1945, et des forêts de 1945 et 1965. L'axe 1 de la RDA est expliqué positivement par l'eau de 1945 et les forêts en 1945 et 1965. L'axe 2 de la RDA est corrélé positivement avec les champs et l'urbain de 1945.

On remarque sur la Figure 18 une bonne séparation des bassins versants. La composition floristique des bassins versants de Lacanau et de Carcans (respectivement « Laca » et « Carc » sur la Figure 18) est principalement expliquée par le pourcentage de recouvrement des prairies en 1945. Les espèces caractéristiques sont essentiellement des héliophytes (*Cladium mariscus*, *Eléocharis multicaulis*, *Juncus bulbosus*) (Figure 19). Ces espèces vivent dans un milieu plutôt méso-oligotrophe.

Les relevés des lacs de Moliets (Moli), La Prade (LaPr) et Moisan (Mois) sont représentés par des valeurs positives le long de l'axe 1 et 2. La composition floristique de Moliets est essentiellement corrélée à la présence de champs en 1965. La composition floristique de Moisan est davantage associée à la surface en eau en 1945. La Prade occupe une position intermédiaire entre ces deux lacs, mais avec une composition plus proche de celle de Moliets. Les espèces correspondant à ces zones sont *Iris pseudacorus* et *Carex pseudocyperus* (Figure 19).

Les bassins versants de Parentis (Pare) et de Petit Biscarosse (Peti) ont des compositions floristiques qui se recoupent beaucoup. Celles-ci semblent être légèrement définies par le pourcentage de forêts en 1945 et 1965, ainsi que par celui de l'eau en 1945. Les relevés de Petit Biscarosse semblent, dans une moindre mesure, associés aux champs en 1965.

Seul le bassin versant de Cazaux (Caza) montre une composition floristique différente en étant inversement corrélé à l'urbain et aux champs de 1945. Il est défini par des espèces telles que *Phragmites australis*, *Lobelia dortmanna* et *Littorella uniflora* (Figure 19). Les deux dernières plantes citées sont des espèces protégées en régression depuis quelques années sur les lacs Aquitains. Ces espèces sont plutôt oligotrophes et caractéristiques d'un milieu peu perturbé.

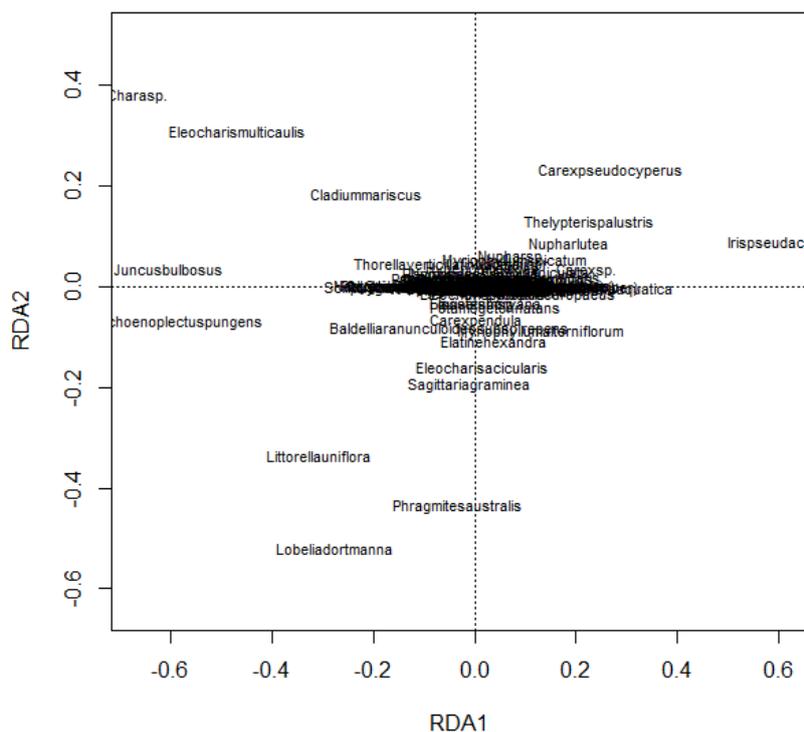


Figure 19 : Réprésentation des taxons sur les deux premiers axes de la RDA.

V. Discussion

V.1. Les changements paysagers

Le paysage a subi une transformation rapide et brutale après la seconde guerre mondiale (Antrop, 2005). L'Europe est l'une des régions du monde ayant le moins de paysages « sauvages ». Plus de 80% de son territoire fait l'objet d'un contrôle par l'homme que ce soit par la présence d'infrastructures ou d'habitations, ou bien pour la production de produits, comme l'agriculture et la sylviculture ('Land Use — European Environment Agency' 2016). L'analyse des photos aériennes a permis d'établir l'occupation du sol entre 1945 et 2000. Ces cartes donnent des informations sur la dynamique temporelle du paysage et son intensité. L'attractivité de la région, que ce soit touristique ou en termes de cadre de vie et d'habitation sont une des causes de cette forte mutation (Lee and Slak, 2007).

L'urbanisation du territoire s'est intensifiée au cours du dernier demi-siècle, au détriment des prairies et terres agricoles proches des zones urbaines (Figure 9). Cette augmentation est expliquée par la hausse de la démographie dans la région. Cette croissance se situe notamment dans les villes du littoral ('ARS - Agences

Régionales de Santé: Contexte Géographique et Démographique' 2016). De plus le développement du tourisme autour des lacs engendre la création de nombreuses infrastructures telles que des campings ou des villes balnéaires. Le développement des villes s'est fait à partir des anciens villages, les anciens champs se transformant en terrains artificialisés. Ces tendances observées par notre étude sont en accord avec Lee and Slak (2007), qui établissent que la région Aquitaine a subi une artificialisation particulièrement forte entre 1992 et 2000 (38,4% des grilles composant la région ont une augmentation de l'artificialisation). Il est à noter que les autres départements composant la région subissent une fermeture des paysages due à une déprise agricole (Lee and Slak, 2007) contrairement à notre secteur d'étude.

Les terres agricoles sont déportées plus loin des côtes et des villes, et se caractérisent par des parcelles plus grandes et plus homogènes. Le changement des pratiques agricoles est la conséquence des politiques publiques développées après la seconde guerre mondiale pour stimuler la production agricole et de la modernisation des modèles de production (Flamant, 2010).

Globalement notre territoire d'étude reste dominé par la forêt. La perte de forêt dû à l'artificialisation est compensée par la fermeture des prairies et par la déprise agricole (Lee and Slak, 2007). Ces prairies, localisées à l'Est des lacs et souvent sur leur pourtour, étaient très probablement des zones humides marécageuses (ZH). Ces habitats remarquables jouent de nombreux rôles dans les écosystèmes, tels que la régulation du niveau des eaux, la filtration des pollutions etc... ('Zones Humides' 2016). Ces milieux sont considérés comme vulnérables, car plus de la moitié des ZH ont disparues en France entre 1940 et 1990 (Bernard, 1994) et ont fortement régressé en particulier sur les bassins versant des lacs de Carcans et Lacanau (Figure 12 et Figure 13).

V.2.L'influence des indices paysagers sur les communautés de macrophytes

L'étude du rôle des variables paysagères sur la composition floristique (Figure 18), a montré que c'est surtout l'ODS passée qui détermine la composition des communautés des lacs aquitains. En effet les variables corrélées avec les indices de diversité datent toutes d'avant 2000. L'hypothèse d'un délai de réponse des phytocénoses face aux changements d'usages du sol semble donc se confirmer.

La mise en relation de la richesse spécifique avec les variables paysagères, appuie dans ce sens. Elle a démontré que :

- L'urbanisation, les champs et les prairies ont un effet retard négatif sur la richesse spécifique d'environ 60ans pour l'urbain et 30ans pour les deux dernières classes.
- La présence de jardins, ainsi que la transition de champs et de forêts entre 1945 et 2000 en jardins ont un effet positif sur la richesse spécifique.

Les changements paysagers ayant eu lieu dans le passé ont donc un effet sur les communautés végétales actuelles des lacs du littoral alors que l'influence du paysage actuel reste extrêmement limitée.

V.2.1. Influence de l'urbanisation du bassin versant sur les communautés végétales

L'urbanisation a un effet négatif sur la qualité du milieu et sur sa diversité. En effet, en 1945, les stations d'épuration (STEP) étaient très peu répandues. Les eaux usagées se retrouvaient donc directement dans le milieu. Les apports en polluants et en matière organique, dans les milieux aquatiques, majoritairement dû à l'urbanisation et l'agriculture, ont fortement augmenté au cours des dernières décennies et ont dégradé la qualité de l'eau (Carpenter et al., 1998). Ces apports se traduisent par une eutrophisation du milieu, qui peut entraîner une diminution du taux d'oxygène dans l'eau et donc la mort de certains organismes vivants (poissons, macroinvertébrés...), et des blooms de cyanobactéries (Foley et al., 2005). Cet enrichissement en nutriments diminue la diversité en macrophytes (Carpenter et al., 1998), en particulier celle des macrophytes submergés (Akasaka et al., 2010). En

effet les communautés de macrophytes sont fortement corrélées au niveau trophique du milieu aquatique (Carbiener et al., 1989). Dans notre étude seule l'urbanisation de 1945 à un effet sur les communautés macrophytiques. On observe donc toujours aujourd'hui l'effet du manque de structures pour la gestion des eaux usées en 1945. Depuis le traitement des eaux a fortement progressé, mais il est possible que l'influence des rejets actuels ait un effet significatif sur les communautés végétales des prochaines décennies. De plus la poursuite de l'urbanisation pourrait apporter plus d'espèces généralistes caractéristiques de forte concentration en matière organique.

V.2.1. Influence des cultures du bassin versant sur les communautés végétales

Dans notre étude nous avons montré que les cultures ont une influence négative la diversité (Figure 17). Les activités agricoles augmente l'érosion du sol, la charge en sédiments et lessive les nutriments, diminue la qualité des eaux par infiltration des produits phytosanitaires et engrais utilisés (Foley et al., 2005; E. S. Papastergiadou et al., 2007). Ces activités tendent donc à augmenter le niveau trophique des eaux, ce qui modifie les communautés macrophytique, comme pour l'urbanisation.

La composition de communautés de végétaux aquatiques semble réagir avec un délai de réponse aux perturbations engendrées par l'agriculture (Figure 18). Les espèces caractéristiques des bassins versants à forte propension agricole sont des espèces généralistes appréciant les milieux méso-eutrophes. Or durant les dernières décennies les pratiques agricoles ont beaucoup changé. A partir de 1985 les parcelles sont plus grandes, moins nombreuses et sont éloignées des villes. Ces nouvelles pratiques agricoles dites « modernes » augmentent fortement les imports de par l'usage des pesticides et l'irrigation (*Mid-Decade Review of Food and Agriculture* 1986). Dans ces systèmes il y a plus de nutriments apportés par la fertilisation que de nutriments produits par les plantations (Carpenter et al., 1998), ce qui amène des risques d'eutrophisation des systèmes aquatiques qui peuvent affecter négativement les populations d'espèces vulnérables (E. S. Papastergiadou et al., 2007).

V.2.2. Influence des prairies du bassin versant sur les communautés végétales

En 1985, le recul des prairies est bien entamé avec une expansion des cultures et du couvert forestier. Nos résultats montrent une perte des prairies, probablement des prairies humides, jusqu'en 1985. Les effets de cette agression ont aujourd'hui toujours un effet, négatif, sur la richesse spécifique des macrophytes des lacs aquitains (Figure 17).

La prise de conscience politique sur le rôle des ZH est relativement récent et les prairies humides ont subi de nombreuses perturbations, notamment leur assèchement pour la mise en culture (Bernard, 1994).

Or les zones humides, et en particulier les prairies humides, jouent un rôle important dans les bassins versants. Elles servent à réguler les flux d'eau, en écrétant les crues ou en renforçant les débits d'étiage grâce à leur capacité de stockage de l'eau. Elles participent également à l'auto-épuration de l'eau et à la protection de la qualité des eaux, en retenant, filtrant et stimulant les processus de dégradation des intrants. La production végétale et animale permet notamment de fixer et de transformer les éléments nutritifs responsables des phénomènes d'eutrophisation. Ce sont aussi des habitats ayant une forte biodiversité et accueillant des espèces rares, ou servant de zone de repos sur les trajets migratoire (Bernard, 1994). Les prairies ont donc un rôle fonctionnel important influençant directement la qualité des milieux aquatiques. Ce rôle va donc directement influencer sur les communautés présentes, dont les communautés végétales aquatiques.

V.2.3. Influence des jardins du bassin versant sur les communautés végétales

Les jardins sont souvent des milieux assez petits mais entretenus, comportant de nombreuses espèces horticoles apportées par l'homme. De plus les jardins et les espaces verts aménagés dans les villes produisent de nouvelles combinaisons des facteurs environnementaux (Pickett, 1989 in Catterall, 2009; Pickett et al., 1997). Or les champs et les forêts sont des matrices homogènes (Lee and Slak, 2007) ce qui diminue la diversité. De plus les espaces verts sont beaucoup moins soumis à l'utilisation de pesticides que les champs cultivés, et leur surface est moins importante, ce qui peut limiter leur impact. Ils servent aussi de zone refuge pour des

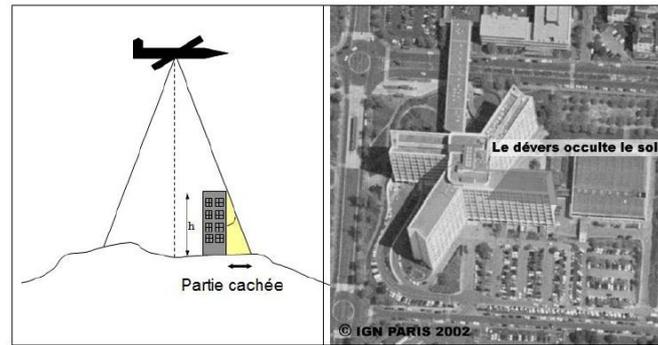
espèces végétales et animales (Catterall, 2009; van Heezik et al., 2016). La transition des champs et de la forêt en jardins peut donc avoir un effet positif sur la richesse spécifique.

De plus dans notre secteur d'étude les villes, et donc les espaces verts, se trouvent principalement autour des points d'eau que sont les lacs. Cela est notamment dû aux nombreux services que ceux-ci fournissent. On peut supposer que la présence des jardins produit une meilleure barrière autour des lacs contre les pollutions, notamment par ruissellement, que les cultures et la forêt landaise. Il est possible qu'ils jouent un rôle plus ou moins équivalent à celui des prairies. En effet les jardins sont principalement recouverts par de la pelouse qui peut limiter le ruissellement de manière plus importante que la forêt landaise, poussant sur un substrat sableux très perméable, et que les champs fréquemment labourés. Or les eaux de ruissellement sont l'un des principaux apports des contaminations dans les milieux aquatiques (Carpenter et al., 1998). Les jardins pourraient par conséquent retenir les pollutions pendant un certain temps et favoriser la biodiversité.

V.3.Limites de l'étude

V.3.1. Géoréférencement des photos aériennes et photointerprétation

La prise de photos aériennes est une méthode qui amène de nombreux inconvénients. La distance par rapport au sol n'étant pas identique tout au long de la prise de vue, l'échelle peut être faussée. En effet deux bâtiments identiques se trouvant pour l'un dans une plaine et pour l'autre en haut d'une colline n'auront pas la même taille sur la photographie. Cela s'ajoute au fait que l'aéronef ne pourra jamais être précisément à l'horizontal lors de la prise du cliché et sur toute sa trajectoire. La prise de photos à la verticale crée aussi des dévers, c'est-à-dire des bâtiments ou infrastructures qui ne sont pas d'aplomb par rapport à l'objectif. Cela produit des zones où le sursol est occulté.



* La prise de vues est réalisée avec une focale 152 mm à l'échelle du 1 : 25 000*.

Figure 20 : Illustration de l'occultations dues aux dévers de bâtiments et autres objets du sursol
Source : BD Ortho® Historique – Version 1.0 – Descriptif de contenu, IGN

L'objectif apporte aussi des déformations optiques plus ou moins grandes en fonction de sa qualité. De plus la distance entre le centre de la photographie et l'objectif est plus courte que celle entre les bords de la photographie et l'objectif. Cela apporte aussi des modifications d'échelle.

Certains défauts peuvent aussi être constatés comme des taches, rayures, empreintes digitales, bordures noires (bords de clichés) dû à l'ancienneté des clichés. La photointerprétation, peut ainsi être rendu difficile selon la qualité du cliché. La présence de zones militaires autour de certains lacs a rendu la récupération de données impossibles sur certains secteurs. De plus la qualité des clichés n'est pas la même pour toutes les années. Les clichés en noir et blanc de 1945, 1965 et 1985 parfois, sont plus difficilement interprétables que les clichés en couleurs haute définition de 2000 ou les clichés infrarouges de 1985. Un exemple de photo noir et blanc de mauvaise qualité est disponible en Annexe S. Il est aussi à noter que le faible nombre de photos disponibles a rendu l'orthorectification des clichés difficile.

L'opérateur peut aussi introduire un biais dans la numérisation des cartes. En effet la distinction entre certaines classes n'est pas toujours évidente, notamment entre les routes et chemins ou entre les prairies et les coupes rases. Il y a donc une certaine subjectivité propre à l'opérateur. De plus la date de prise des clichés n'est pas toujours la même, il peut donc y avoir entre temps des changements dans le paysage.

V.3.2. Biais opérateur et analyses statistiques

La méthode de relevés des macrophytes amène aussi un biais opérateur. En effet tous les relevés utilisés pour cette étude n'ont pas été réalisés la même année, ni par la même personne. Cela peut donc sous-estimer ou surestimer l'abondance de certaines espèces.

De par le temps que demande la numérisation de l'ODS, le nombre de lacs étudiés est limité. L'analyse des résultats ne se fait donc que sur huit bassins versants. La puissance de certains tests, notamment des corrélations, reste à confirmer. Il aurait notamment été intéressant de faire un modèle linéaire mixte pour pouvoir regrouper les lacs dont les bassins versants sont imbriqués. C'est encore une fois le manque de réplicats qui a rendu cette analyse impossible.

Il faut aussi noter que cette étude n'est pas encore terminée et que d'autres lacs tels que Souston, Noir, Blanc et Aureilhan, entre autres, restent à numériser et analyser.

VI. **Conclusion**

Cette étude a permis de déterminer l'occupation du sol passé des bassins versants des lacs aquitain du littoral et de mieux appréhender les changements qui ont eu lieu. On a pu ainsi mettre en avant un phénomène croissant d'urbanisation et une hétérogénéisation des paysages.

L'évaluation du rôle de cette matrice historique dans la composition des communautés végétales aquatiques a établi que les communautés de macrophytes réagissent avec un délai de réponse aux modifications d'ODS, en particulier à l'urbanisation et aux changements des pratiques agricoles. On peut donc supposer que la composition macrophytique des lacs aquitains va encore changer dans le futur à cause des modifications de l'ODS des deux dernières décennies.

Avec un taux de croissance démographique de 11,0% de 1999 à 2010 (Région Aquitaine and CCIR Aquitaine, 2011), la région Aquitaine et les lacs de son littoral, ont dû subir encore de nombreuses modifications d'ODS. Cette croissance démographique et les changements d'usages associés auront potentiellement une influence sur les communautés de macrophytes. Selon l'INSEE cette tendance se poursuivra dans le futur. Il faudra donc adopter un développement raisonné de

l'occupation du sol des bassins versants, pour pouvoir garder un patrimoine naturel de qualité.

Cette étude se poursuivra avec le projet DYLAQ, qui va associer en plus des variables paysagères, des variables environnementales. Ce projet a pour but d'établir l'état des lieux général de tous les lacs du littoral de la région Aquitaine.

Pour pousser encore plus loin et mieux comprendre les origines des perturbations, il faudrait s'intéresser aux usages historiques liés aux classes des cartes, c'est-à-dire aux pratiques sociétales.

Références

- Akasaka, Munemitsu, Noriko Takamura, Hiromune Mitsuhashi, and Yasuro Kadono. 2010. 'Effects of Land Use on Aquatic Macrophyte Diversity and Water Quality of Ponds'. *Freshwater Biology* 55 (4): 909–22. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02334.x.
- Antrop, Marc. 2005. 'Why Landscapes of the Past Are Important for the Future'. *Landscape and Urban Planning, Rural Landscapes: past processes and future strategies*, 70 (1–2): 21–34. doi:10.1016/j.landurbplan.2003.10.002.
- Aquascop, and Agence de l'eau Adour-Garonne. 2013. 'Qualité Des Plans D'eau : Bilan Des Suivis 2009 À 2011'. October 17.
- 'ArcGIS Help 10.1 - Notions de Base Du Géoréférencement D'un Jeu de Données Raster'. 2016. Accessed August 8. <http://resources.arcgis.com/fr/help/main/10.1/index.html#//009t000000mn000000>.
- 'ARS - Agences Régionales de Santé: Contexte Géographique et Démographique'. 2016. Accessed August 4. <http://www.ars.aquitaine.sante.fr/Contexte-geographique-et-demog.128517.0.html>.
- 'Atlas Des Paysages de La Gironde | Les Évolutions Au Long Cours'. 2016. Accessed July 25. <http://atlas-paysages.gironde.fr/les-evolutions-au-long-cours.html#nb1>.
- Baeten, Lander, Martin Hermy, Sander Van Daele, and Kris Verheyen. 2010. 'Unexpected Understorey Community Development after 30 Years in Ancient and Post-Agricultural Forests'. *Journal of Ecology* 98 (6): 1447–53. doi:10.1111/j.1365-2745.2010.01711.x.
- Beisel, Jean-Nicolas, and Christian Lévêque. 2010. *Introduction d'espèces dans les milieux aquatiques: Faut-il avoir peur des invasions biologiques?* Editions Quae.
- Bernard, Paul. 1994. *Les Zones Humides: Rapport de L'instance D'évaluation*. Paris: La Documentation française.
- Brooks, Thomas, Joe Tobias, and Andrew Balmford. 1999. 'Deforestation and Bird Extinctions in the Atlantic Forest'. *Animal Conservation* 2 (3): 211–22. doi:10.1111/j.1469-1795.1999.tb00067.x.
- Bruneau, P. 2002. 'Population Dynamic of Aquatic Weeds of Large Streams and Perception by Public Actors: Application to Garonne and Dordogne'. DEA Environnement: Milieux, Techniques, Sociétés. Option 'Systèmes naturels et systèmes sociaux: développement durable et gestion conservatoire', INAPG Paris. <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00011903>.
- Burel, Françoise, and Jacques Baudry. 1999. *ÉCOLOGIE DU PAYSAGE. Concepts, méthodes et applications*. Paris: Tec & Doc Lavoisier.
- Carbiener, R., M. Trémolières, J. L. Mercier, and A. Ortscheit. 1989. 'Aquatic Macrophyte Communities as Bioindicators of Eutrophication in Calcareous Oligosaprobe Stream Waters (Upper Rhine Plain, Alsace)'. *Vegetatio* 86 (1): 71–88. doi:10.1007/BF00045135.
- Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, and V. H. Smith. 1998. 'Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen'. *Ecological Applications* 8 (3): 559–68. doi:10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2.
- Castagnos, Emily, and Alain Dutartre. 2001. 'Evolutions Récentes Des Peuplements de Plantes Aquatiques Exotiques Dans Les Lacs et Les Étangs Landais

- (Landes, France)'. Étude 66. Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Etude.
- Castella-Müller, J. 2004. 'Végétation Aquatique et Gradients Environnementaux En Zone Alluviale Pré-Lacustre (Lac de Neuchâtel, Suisse)'. Genève: Université de Genève.
- Catterall, Carla. 2009. *Responses of Faunal Assemblages to Urbanisation: Global Research Paradigms and an Avian Case Study*. Cambridge University Press. <http://www98.griffith.edu.au/dspace/handle/10072/29445>.
- Cheruvellil, Kendra Spence, and Patricia A. Soranno. 2008. 'Relationships between Lake Macrophyte Cover and Lake and Landscape Features'. *Aquatic Botany* 88 (3): 219–27. doi:10.1016/j.aquabot.2007.10.005.
- Connor, Edward F., and Earl D. McCoy. 1979. 'The Statistics and Biology of the Species-Area Relationship'. *The American Naturalist* 113 (6): 791–833.
- Deleporte, Pierre. 2002. 'Biogéographie et Systématique, Problèmes et Méthodes'. *Systématique et Biogéographie, Systématique et Biogéographie*, 20: 3–5.
- Delerue, Florian. n.d. 'Les Écosystèmes Forestiers: La Forêt Cultivée de Pins Maritimes'. Cours magistral, ENSEGID.
- Demierre, Alain, and Patrick Durand. 1999. 'La Végétation Macrophytique Du Léman, Campagne 1997 et 1998'. Rapp. Comm. int. prot.eaux Léman contre pollut., Campagne 1998. http://www.cipel.org/wp-content/uploads/2012/08/Camp98_12_Vegetation-macrophytique.pdf.
- Diamond, Jared M. 1972. 'Biogeographic Kinetics: Estimation of Relaxation Times for Avifaunas of Southwest Pacific Islands'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 69 (11): 3199–3203.
- Dray, S., and Dufour, A.B. 2007. 'The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists.' *Journal of Statistical Software* 22 (4): 1–20.
- Dubois, Jean-Jacques. 1994. 'La Place de L'histoire Dans L'interprétation Des Paysages Végétaux'. In *Mélanges de La Casa de Velasquez*, 30–1:231–51. http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/casa_0076-230X_1994_num_30_1_2691.
- Dutartre, Alain. 1986a. 'Les Plans D'eau Du Littoral Aquitain: Origine et Caractéristiques'. Communication à un congrès presented at the Colloque sur les zones humides littorales en Aquitaine, septembre 1985, Le Teich.
- . 1986b. 'Qualité Des Plans D'eau Du Littoral Landais'. Étude scientifique 28. CEMAGREF.
- Feld, Christian K., Sebastian Birk, David Eme, Michael Gerisch, Daniel Hering, Martin Kernan, Kairi Maileht, et al. 2016. 'Disentangling the Effects of Land Use and Geo-Climatic Factors on Diversity in European Freshwater Ecosystems'. *Ecological Indicators* 60 (January): 71–83. doi:10.1016/j.ecolind.2015.06.024.
- Flamant, Jean-Claude. 2010. 'Une Brève Histoire Des Transformations de L'agriculture Au 20è Siècle'. <http://www.agrobiosciences.org/img/pdf/Flamant-Ensat.pdf>.
- Foley, Jonathan A., Ruth DeFries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, et al. 2005. 'Global Consequences of Land Use'. *Science* 309 (5734): 570–74. doi:10.1126/science.1111772.
- Gleason, Henry Allan. 1922. 'On the Relation Between Species and Area'. *Ecology* 3 (2): 158–62. doi:10.2307/1929150.
- Gotelli, Nicholas J., and Robert K. Colwell. 2001. 'Quantifying Biodiversity: Procedures and Pitfalls in the Measurement and Comparison of Species

- Richness'. *Ecology Letters* 4 (4): 379–91. doi:10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x.
- Gu, Zuguang, Lei Gu, Roland Eils, Matthias Schlesner, and Benedikt Brors. 2014. 'Circlize Implements and Enhances Circular Visualization in R'. *Bioinformatics* 30 (19): 2811–12.
- Hauray, J., and M.-C. Peltre. 1993. 'Intérêts et Limites Des « Indices Macrophytes » Pour Qualifier La Mésologie et La Physico-Chimie Des Cours D'eau : Exemples Armoricaux, Picards et Lorrains'. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 29 (3): 239–53. doi:10.1051/limn/1993020.
- Jackson, S.T., and D.F. Sax. 2010. 'Balancing Biodiversity in a Changing Environment: Extinction Debt, Immigration Credit and Species Turnover'. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (3): 153–60. doi:10.1016/j.tree.2009.10.001.
- Klingebiel, André, and Philippe Legigan. 1985. 'Histoire Géologique de La Grande Lande'. Actes de colloque presented at the La Grande Lande, histoire naturelle et géographie historique, Sabres. <http://www.archeolandes.com/documents/hisgeol40.pdf>.
- Kohler, A., and G.A. Janauer. 1995. 'Zur Methodik Der Untersuchung von Aquatischen Makrophyten in Fließgewässern'. In *Handbuch Angewandte Limnologie*, Steinberg, Ch., H. Bernhardt & H. Klapper, VIII:1–22. Ecomed-Verlag.
- 'Land Use — European Environment Agency'. 2016. Page. Accessed March 16. <http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/intro>.
- Lee, Alexandre, and Marie-Françoise Slak. 2007. 'Les Paysages Français Changent Entre 1992 et 2002 : Artificialisation et Fermeture Des Paysages Aux Dépens Du Mitage Ou de La Déprise Des Zones Agricoles'. *Agreste*, no. 3: 19–40.
- Lindborg, Regina, and Ove Eriksson. 2004. 'Historical Landscape Connectivity Affects Present Plant Species Diversity'. *Ecology* 85 (7): 1840–45. doi:10.1890/04-0367.
- Lira, Paula K., Robert M. Ewers, Cristina Banks-Leite, Renata Pardini, and Jean Paul Metzger. 2012. 'Evaluating the Legacy of Landscape History: Extinction Debt and Species Credit in Bird and Small Mammal Assemblages in the Brazilian Atlantic Forest'. *Journal of Applied Ecology* 49 (6): 1325–33. doi:10.1111/j.1365-2664.2012.02214.x.
- 'Littoral Aquitain'. 2016. *Littoral Aquitain*. Accessed July 22. <http://www.littoral-aquitain.fr/>.
- Marty, Pascal. 2009. 'Paysage et Biodiversité : Évaluation Participative de La Durabilité Des Stratégies de Gestion'. CNRS.
- Mid-Decade Review of Food and Agriculture*. 1986. The State of Food and Agriculture 1985. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Oksanen, Jari, F. Guillaume Blanchet, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens, and Helene Wagner. 2016. *Vegan: Community Ecology Package*. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Papastergiadou, E., I. Kagalou, K. Stefanidis, A. Retalis, and I. Leonardos. 2009. 'Effects of Anthropogenic Influences on the Trophic State, Land Uses and Aquatic Vegetation in a Shallow Mediterranean Lake: Implications for Restoration'. *Water Resources Management* 24 (3): 415–35. doi:10.1007/s11269-009-9453-y.

- Papastergiadou, E. S., A. Retalis, P. Kalliris, and Th Georgiadis. 2007. 'Land Use Changes and Associated Environmental Impacts on the Mediterranean Shallow Lake Stymfalia, Greece'. *Hydrobiologia* 584 (1): 361–372.
- Pickett, Steward T. A. 1989. 'Space-for-Time Substitution as an Alternative to Long-Term Studies'. In *Long-Term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives*, edited by Gene E. Likens, 110–35. New York, NY: Springer New York. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-7358-6_5.
- Pickett, Steward T. A., William R. Burch, Shawn E. Dalton, Timothy W. Foresman, J. Morgan Grove, and Rowan Rowntree. 1997. 'A Conceptual Framework for the Study of Human Ecosystems in Urban Areas'. *Urban Ecosystems* 1 (4): 185–99. doi:10.1023/A:1018531712889.
- R Core Team. 2014. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.
- Région Aquitaine, and CCIR Aquitaine. 2011. 'L'Aquitaine En Chiffres, Portrait Économique'.
- Righi, D, and J Wilbert. 1984. 'Les Sols Sableux Podzolisés Des Landes de Gascogne (France) : Répartition et Caractères Principaux'. *Science Du Sol* 22 (4): 253–64.
- Roberts, David W. 2016. *Labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology*. <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- Sand-Jensen, Kaj. 1997. 'Eutrophication and Plant Communities in Lake Fure'. *Freshwater Biology. Priorities and Development in Danish Research*, 26–38.
- Scheffer, Marten, Marco R. de Redelijkheid, and Frank Noppert. 1992. 'Distribution and Dynamics of Submerged Vegetation in a Chain of Shallow Eutrophic Lakes'. *Aquatic Botany* 42 (3): 199–216. doi:10.1016/0304-3770(92)90022-B.
- Stouffer, P.C., C. Strong, and L.N. Naka. 2009. 'Twenty Years of Understorey Bird Extinctions from Amazonian Rain Forest Fragments: Consistent Trends and Landscape-Mediated Dynamics'. *Diversity and Distributions* 15: 88–97.
- Takamura, Noriko, Yasuro Kadono, Michio Fukushima, Megumi Nakagawa, and Baik-H. O. Kim. 2003. 'Effects of Aquatic Macrophytes on Water Quality and Phytoplankton Communities in Shallow Lakes'. *Ecological Research* 18 (4): 381–95. doi:10.1046/j.1440-1703.2003.00563.x.
- Tastet, Jean-Pierre, René Lalanne, Bernard Maurin, and Bernard Dubos. 2008. 'Geological and Archaeological Chronology of a Late Holocene Coastal Enclosure: The Sanguinet Lake (SW France)'. *Geoarchaeology* 23 (1): 131–49. doi:10.1002/gea.20207.
- Tilman, David, Robert M. May, Clarence L. Lehman, and Martin A. Nowak. 1994. 'Habitat Destruction and the Extinction Debt'. *Nature* 371 (6492): 65–66. doi:10.1038/371065a0.
- Tisseuil, C., J.-F. Cornu, O. Beauchard, S. Brosse, W. Darwall, R. Holland, B. Hugueny, P.A. Tedesco, and T. Oberdorff. 2013. 'Global Diversity Patterns and Cross-Taxa Convergence in Freshwater Systems'. *Journal of Animal Ecology* 82 (2): 365–76. doi:10.1111/1365-2656.12018.
- Van Den Berg, M. S, Marten Scheffer, H. Coops, and J. Simons. 1998. 'The Role of Characean Algae in the Management of Eutrophic Shallow Lakes'. *Journal of Phycology* 34: 750–56.
- van Heezik, Y., K. J. M. Dickinson, C. Freeman, S. Porter, J. Wing, and B. I. P. Barratt. 2016. 'To What Extent Does Vegetation Composition and Structure Influence Beetle Communities and Species Richness in Private Gardens in

- New Zealand?' *Landscape and Urban Planning* 151 (July): 79–88. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.02.013.
- Vellend, Mark, Kris Verheyen, Hans Jacquemyn, Annette Kolb, Hans Van Calster, George Peterken, and Martin Hermy. 2006. 'Extinction Debt of Forest Plants Persists for More Than a Century Following Habitat Fragmentation'. *Ecology* 87 (3): 542–48. doi:10.1890/05-1182.
- Wickham, and Hadley. 2007. 'Reshaping Data with the Reshape Package'. *Journal of Statistical Software* 21 (12). <http://www.jstatsoft.org/v21/i12/paper>.
- 'Zones Humides'. 2016. Accessed August 4. <http://www.zones-humides.eaufrance.fr/>.

Glossaire

Dévers : effet de perspective par rapport au sol (IGN)

Sursol : Relief du terrain situé au-dessus du sol, constitué de la végétation, des bâtiments et des ouvrages d'art. (Wikitionnaire)

Annexes

Annexe A : Tableau récapitulatif des données disponibles pour chaque lac par année (Louise PERCAILLE, 2015)

Lacs	Années																																									
	1929	1937	1945	1947	1948	1950	1954	1957	1958	1959	1962	1963	1964	1965	1967	1968	1969	1971	1972	1973	1974	1976	1977	1979	1981	1982	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	2000	2002	
Hourtin	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	
Lacanau	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	
Cazaux-Saint-Juliet	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
Petit Biscarosse	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Parentis-Biscarosse	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aurehlan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ychoux	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Leon	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Moliets	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
La Prade	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Moisan	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soustons	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hardy	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blanc	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Noir	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oix	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turc	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Garros	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

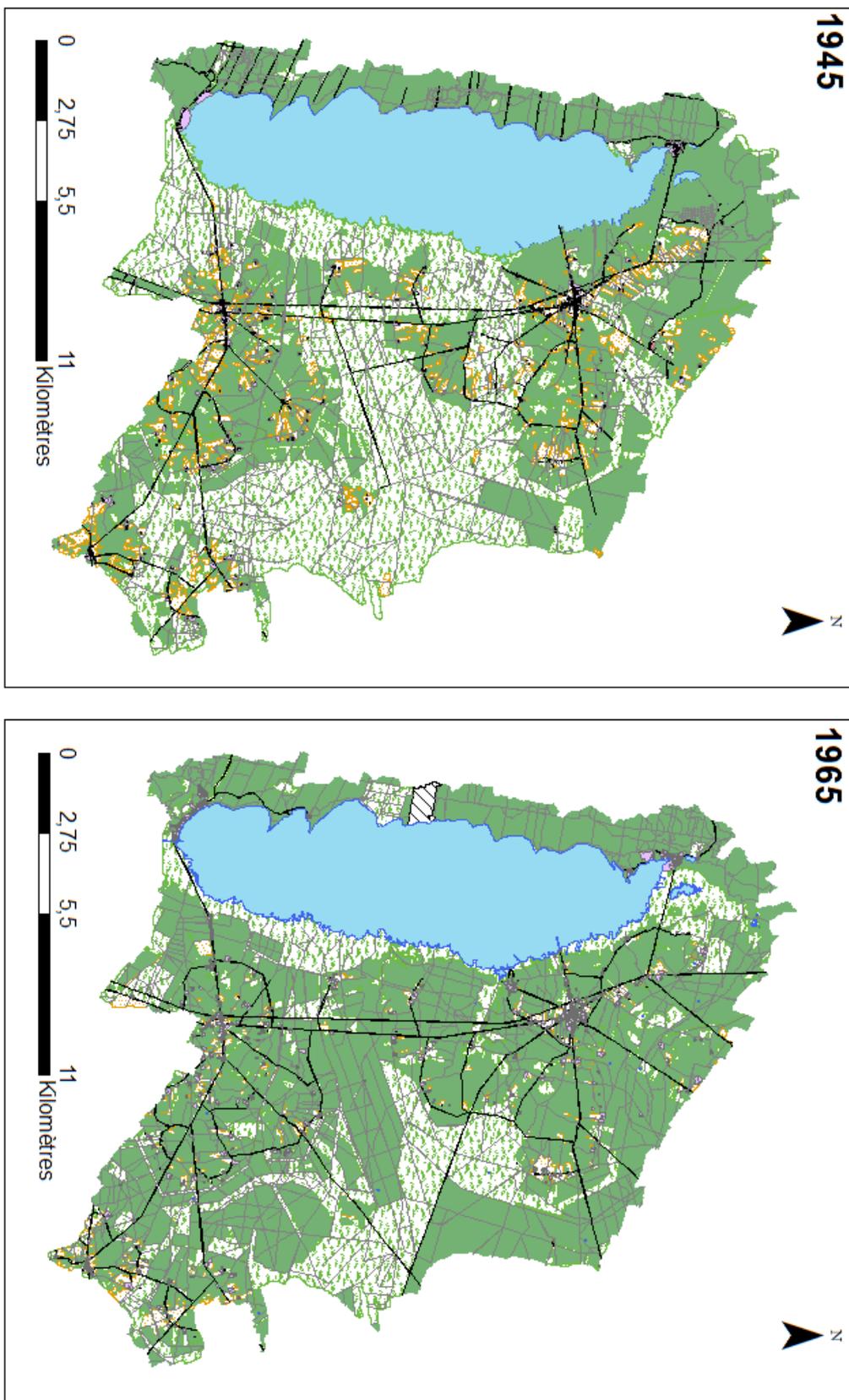
0
1

Données absentes
Données disponibles

Quatre périodes ont été sélectionnées aux alentours des années suivantes : 1945, 1965, 1985 et 2000. Néanmoins par manque de temps, seul les années 1945 et 2000 seront traitées pour les lacs de Lacanau et de Hourtin-Carcans.

Annexe B : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Carcans en 1945 et 1965

Hourtin-Carcans



auteur : Louise PERCALLE - IRSTEA 2015

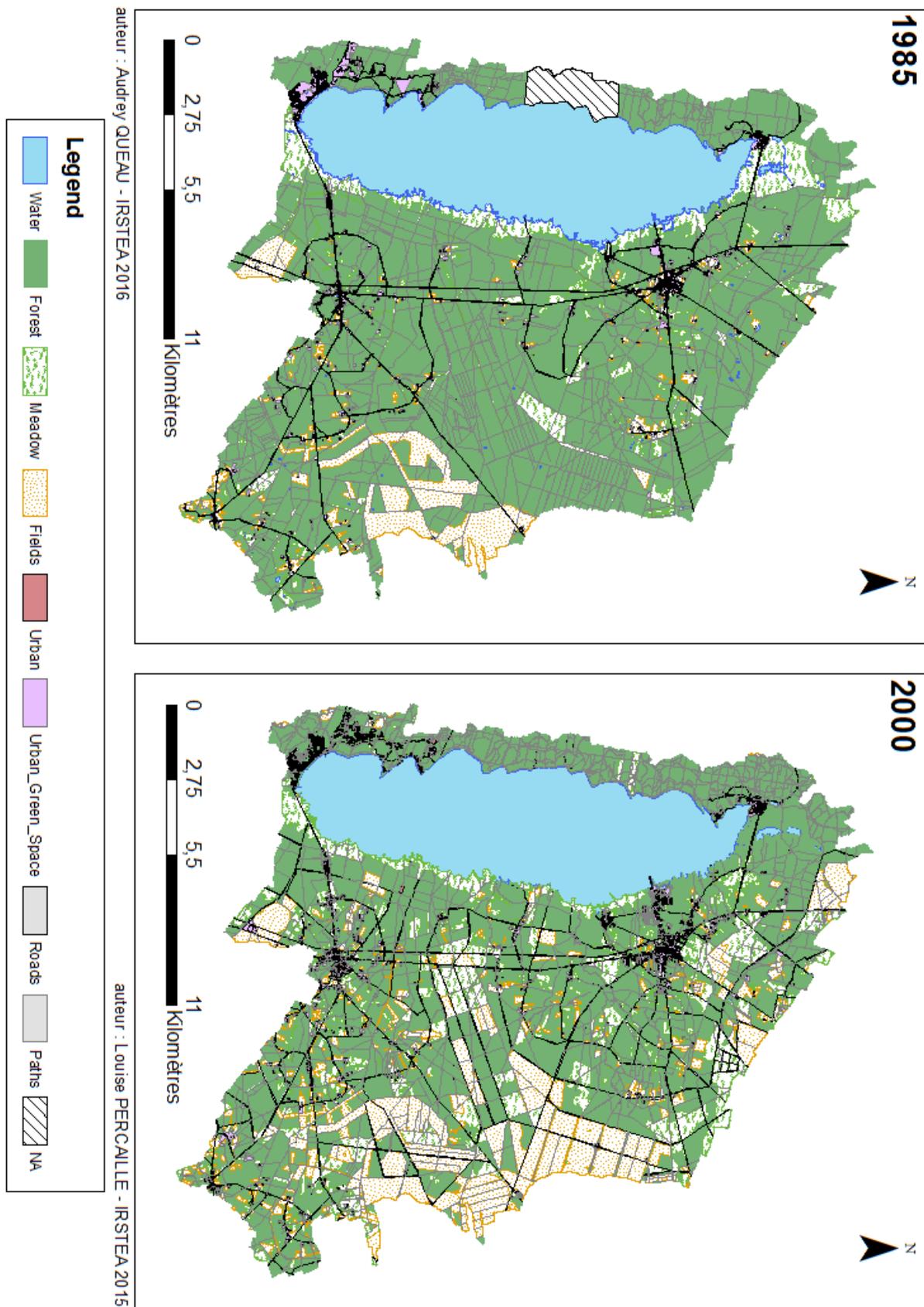
auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Legend

- Water
- Forest
- Meadow
- Fields
- Urban
- Urban_Green_Space
- Roads
- Paths
- NA

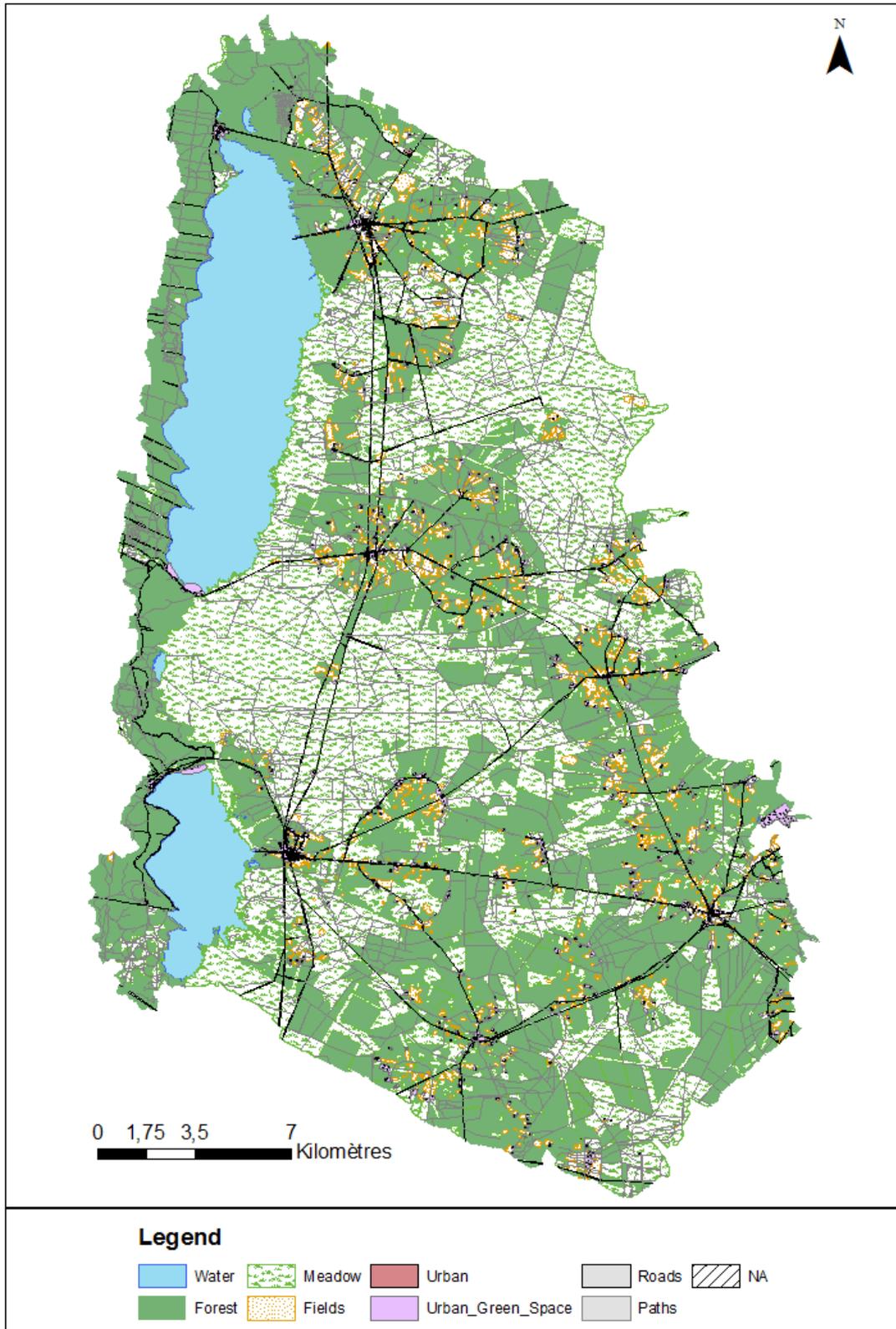
Annexe C : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Carcans en 1985 et 2000

Hourtin-Carcans



Annexe D : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 1945

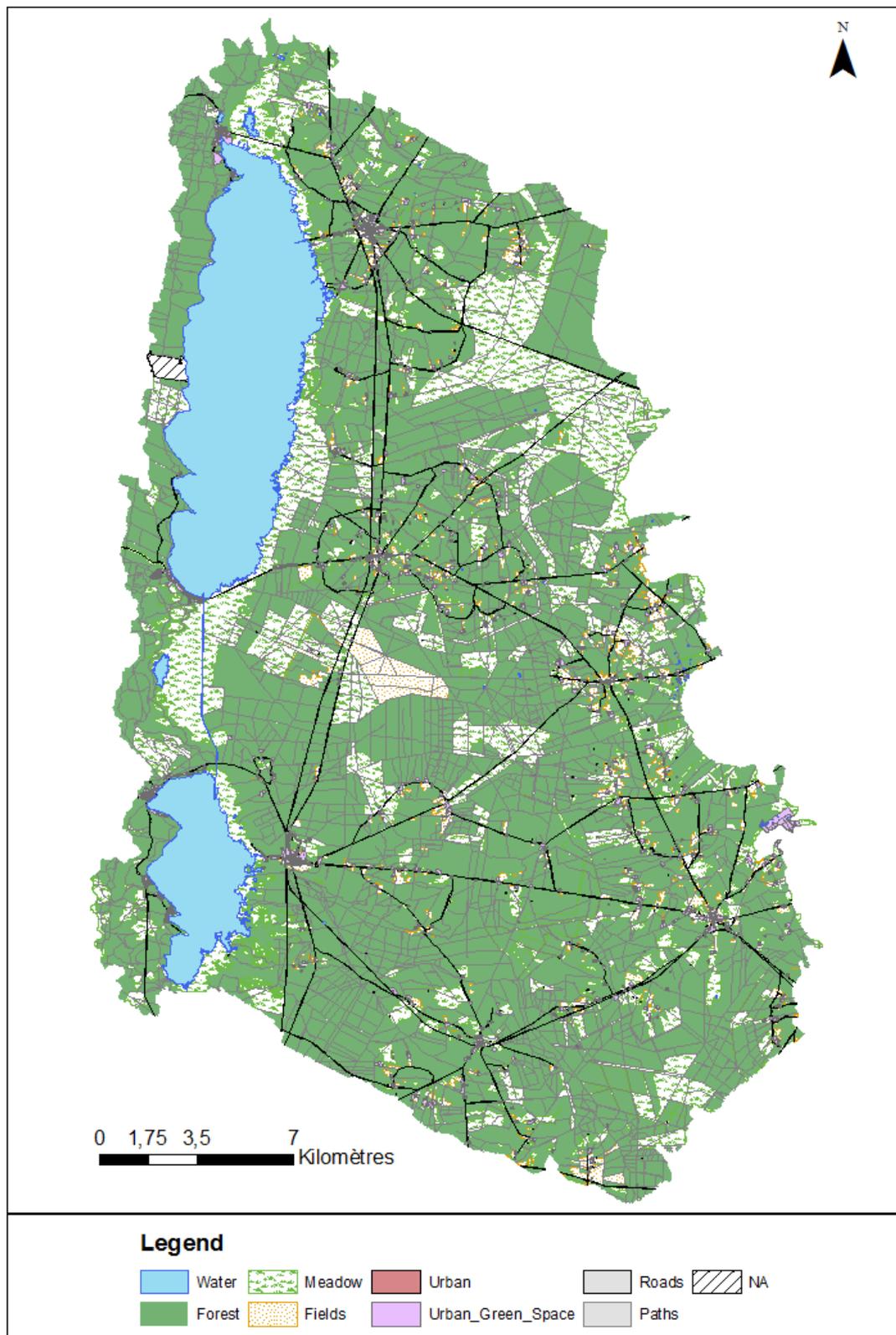
Lacanau 1945



auteur : Louise PERCALLE - IRSTEA 2015

Annexe E : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 1965

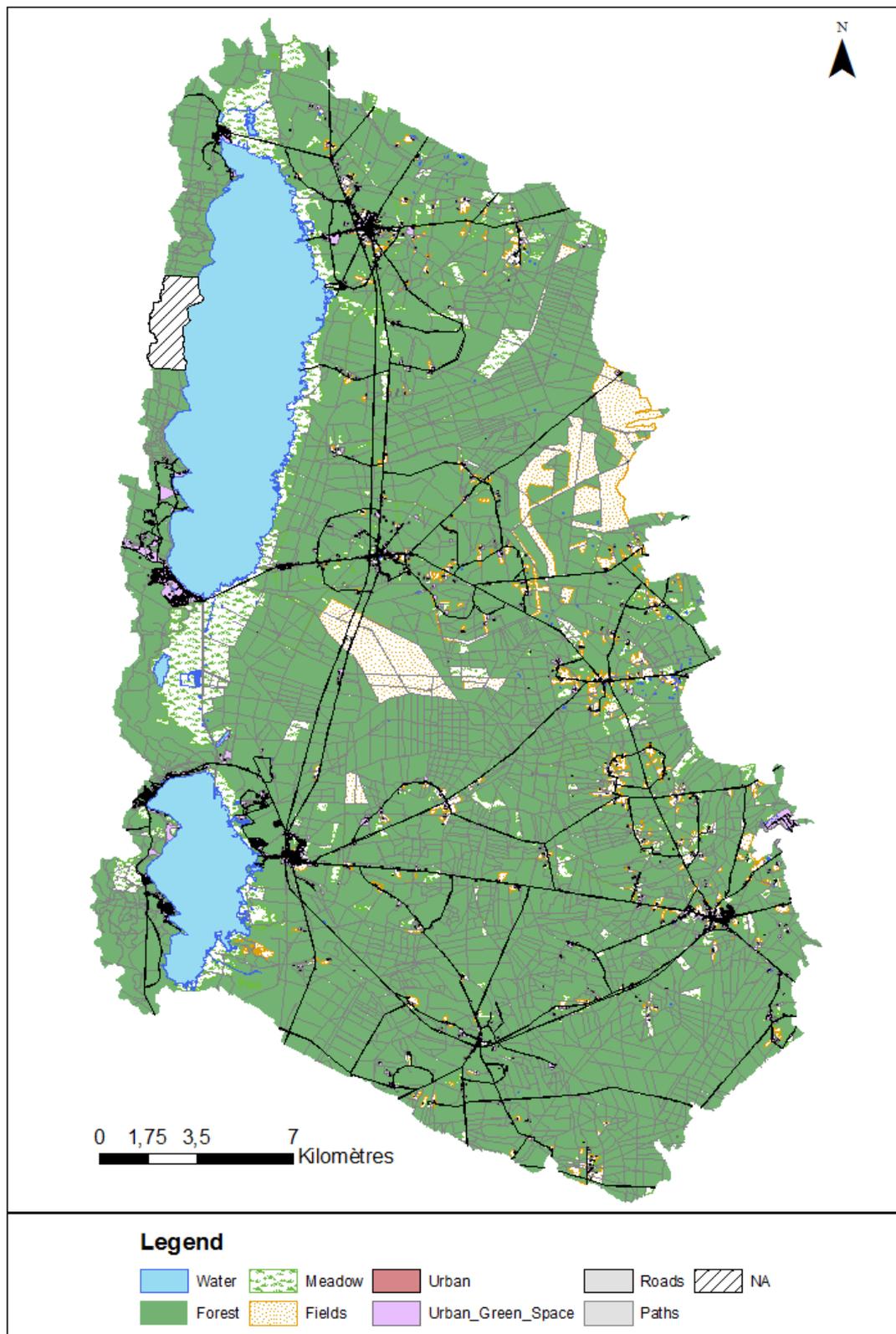
Lacanau 1965



auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Annexe F : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 1985

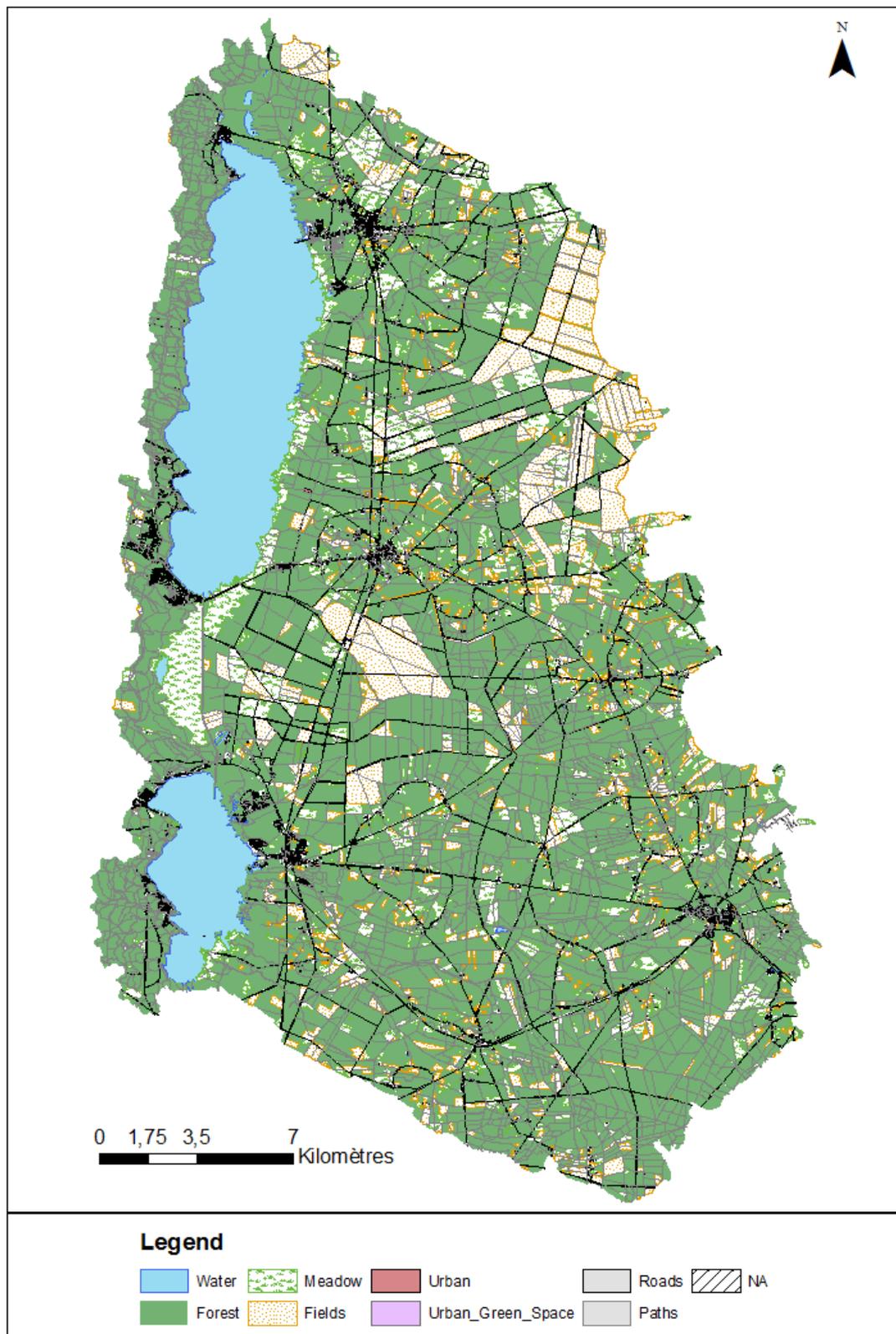
Lacanau 1985



auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Annexe G : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Lacanau en 2000

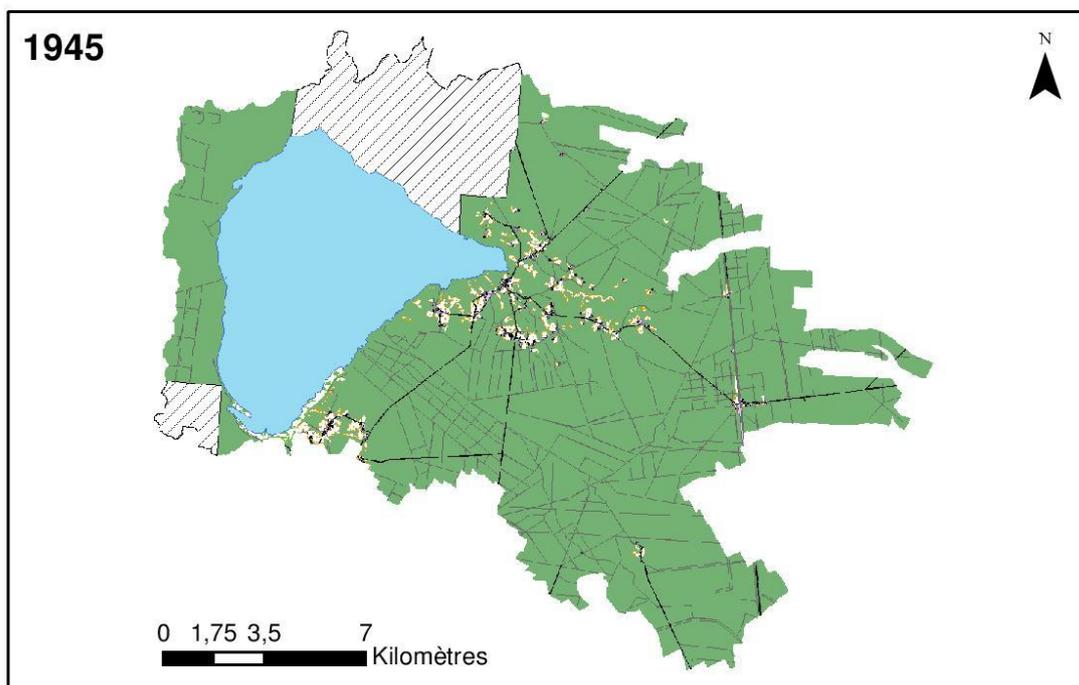
Lacanau 2000



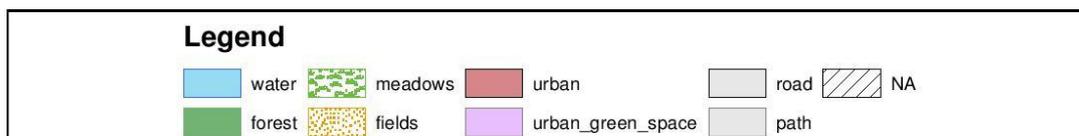
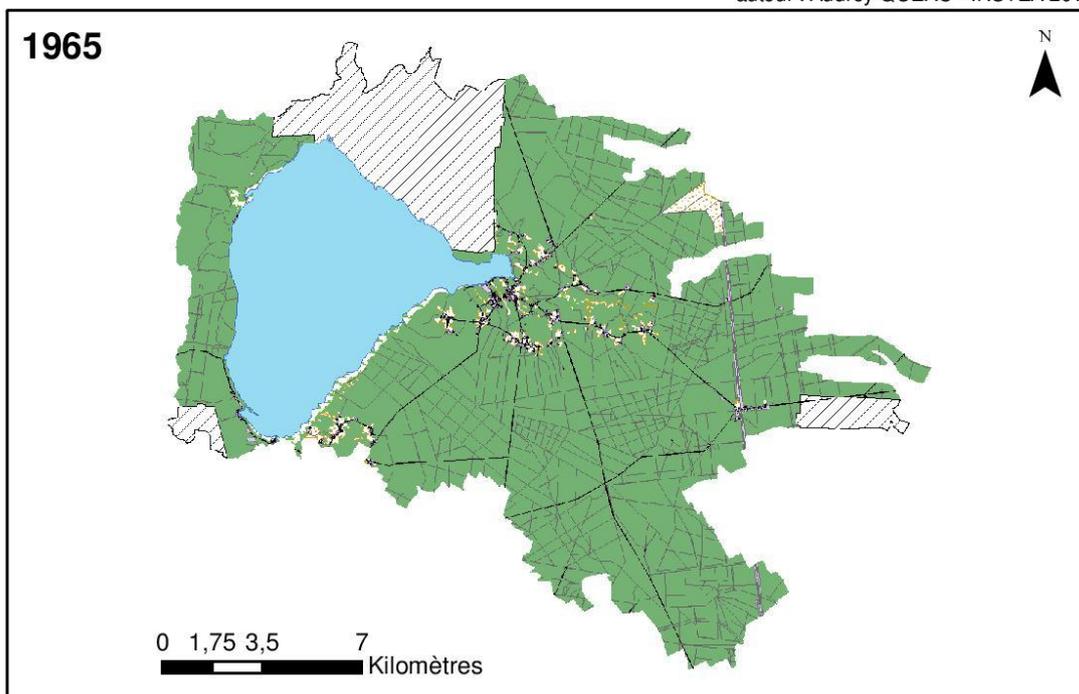
auteur : Louise PERCALLE - IRSTEA 2015

Annexe H : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Cazaux en 1945 et 1965

Cazaux-Sanguinet

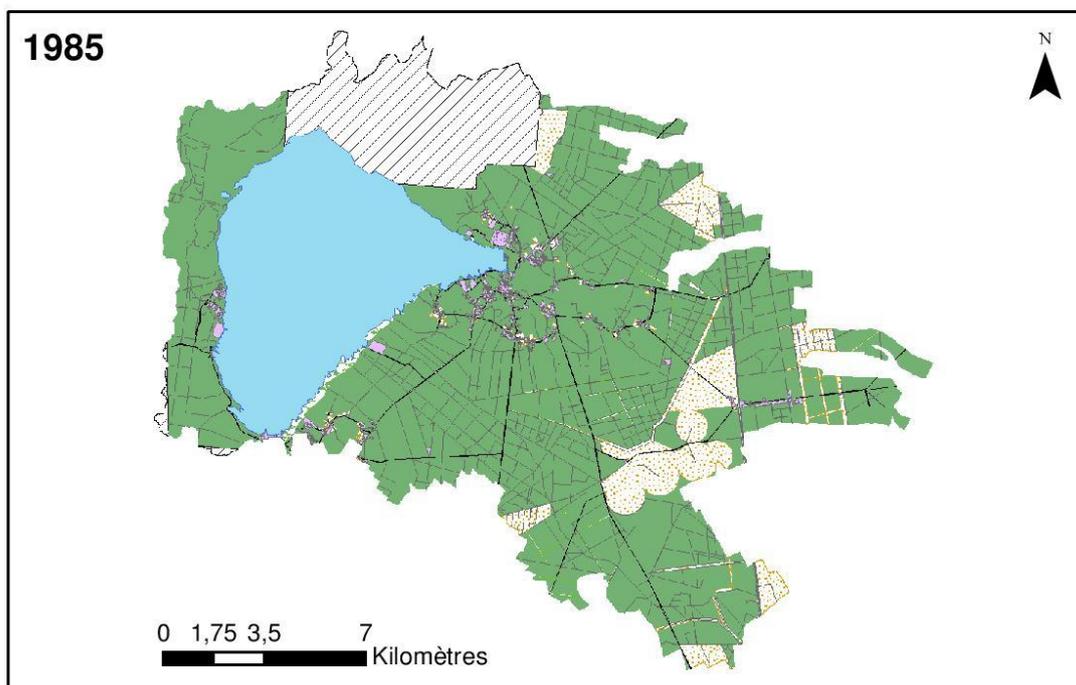


auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

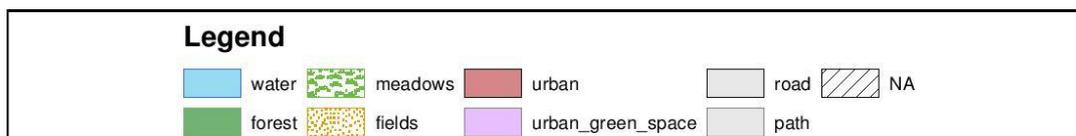
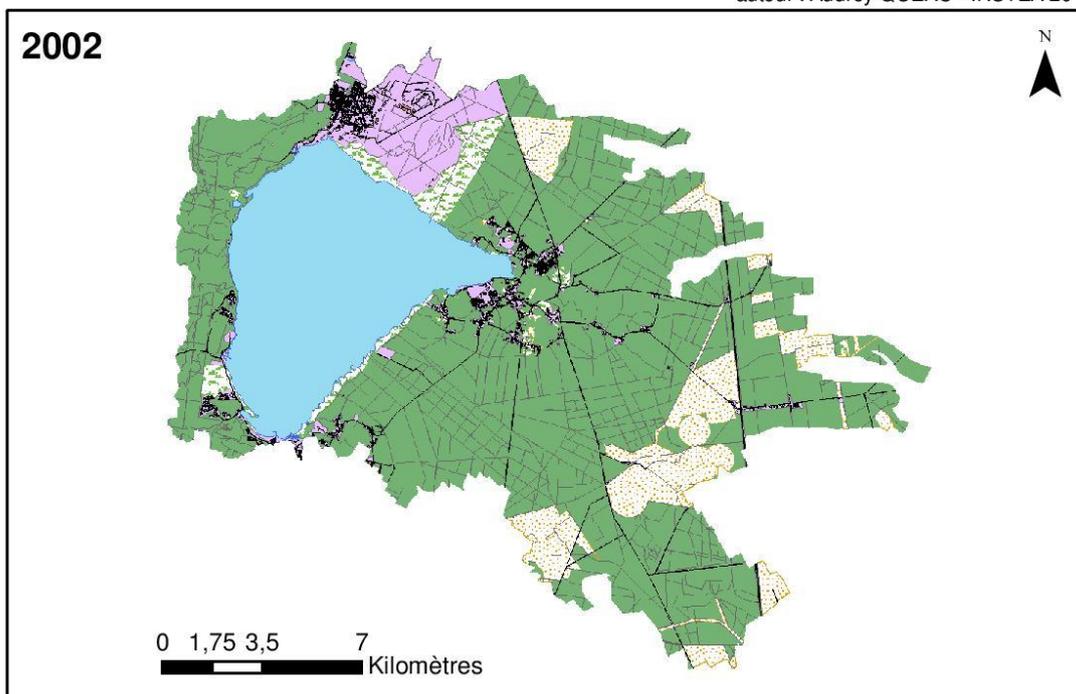


Annexe I : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Cazaux en 1985 et 2002

Cazaux-Sanguinet

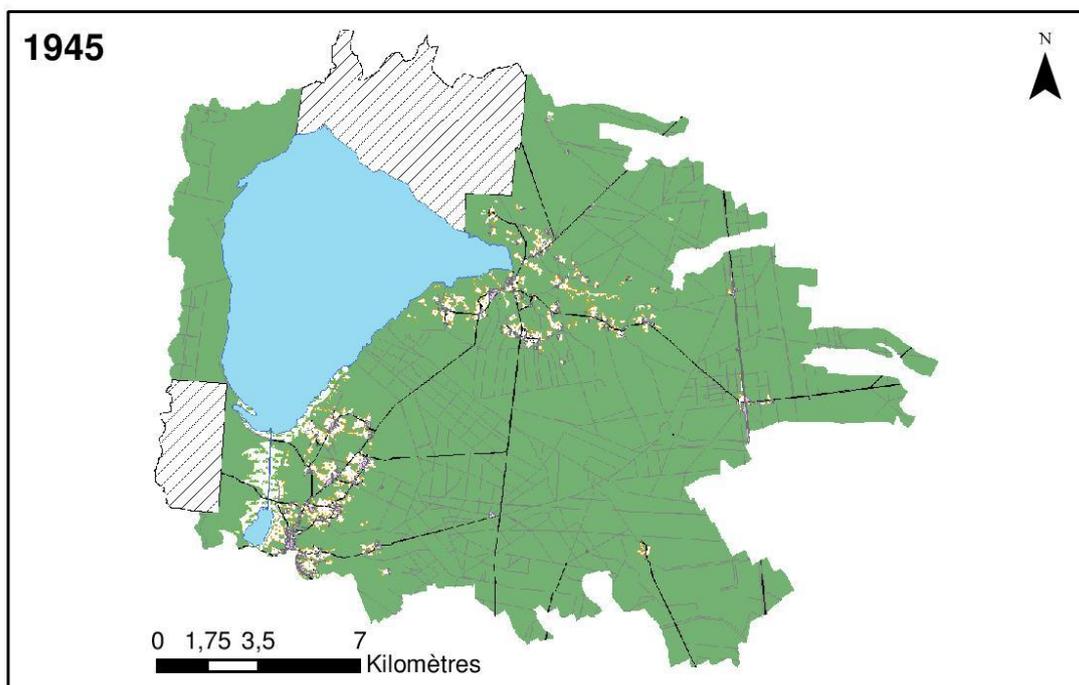


auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

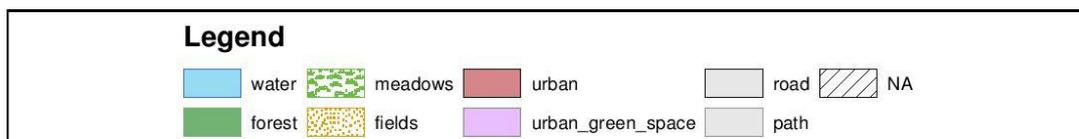
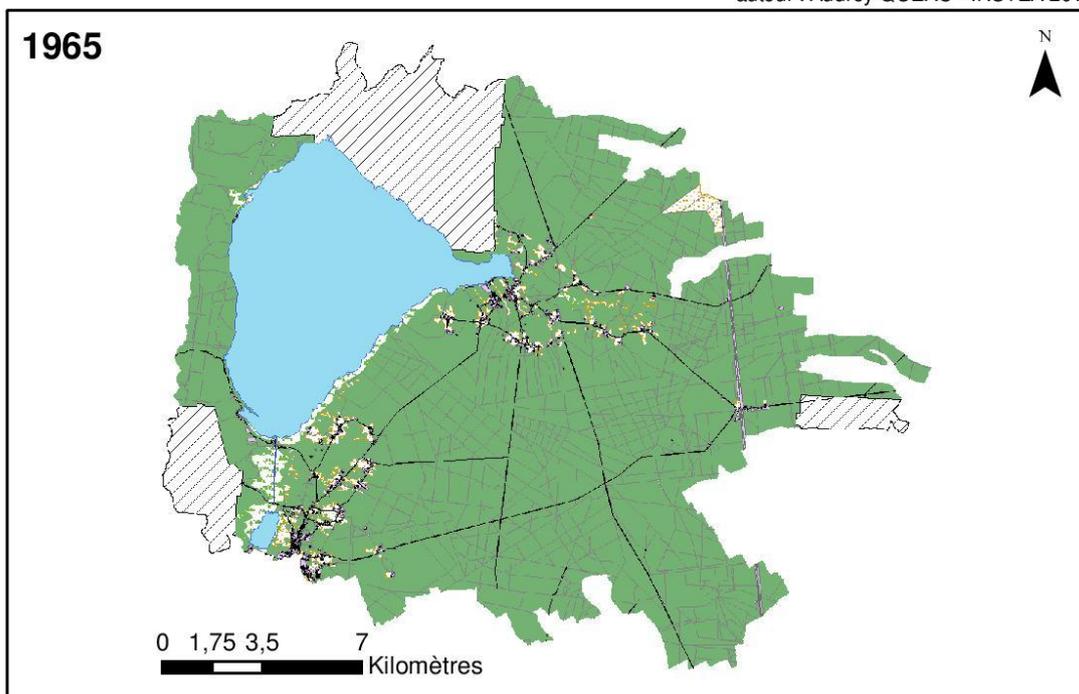


Annexe J : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Petit Biscarosse en 1945 et 1965

Petit Biscarosse

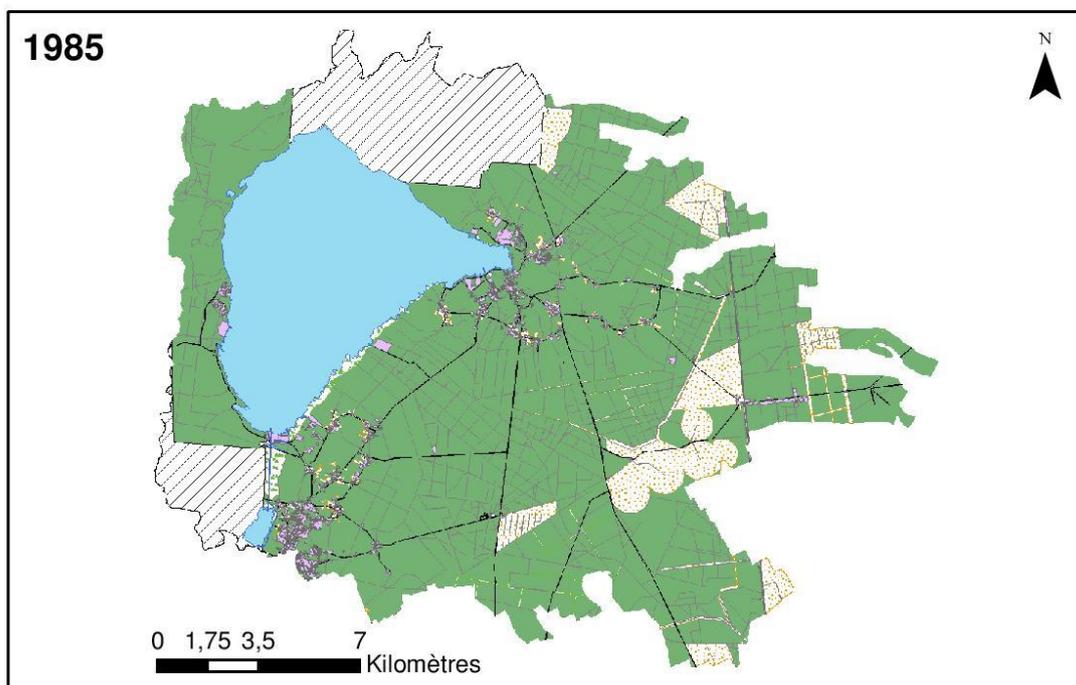


auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

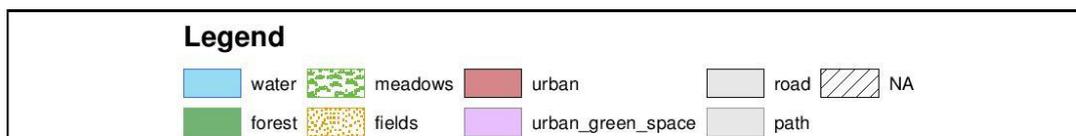
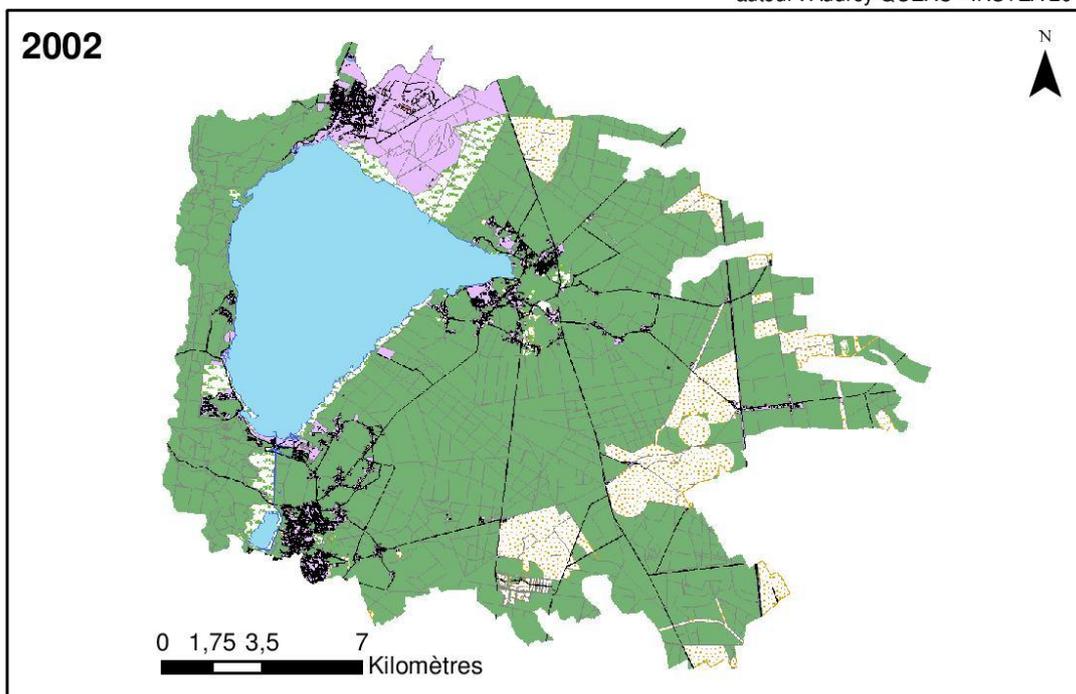


Annexe K : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Petit Biscarosse en 1985 et 2002

Petit Biscarosse

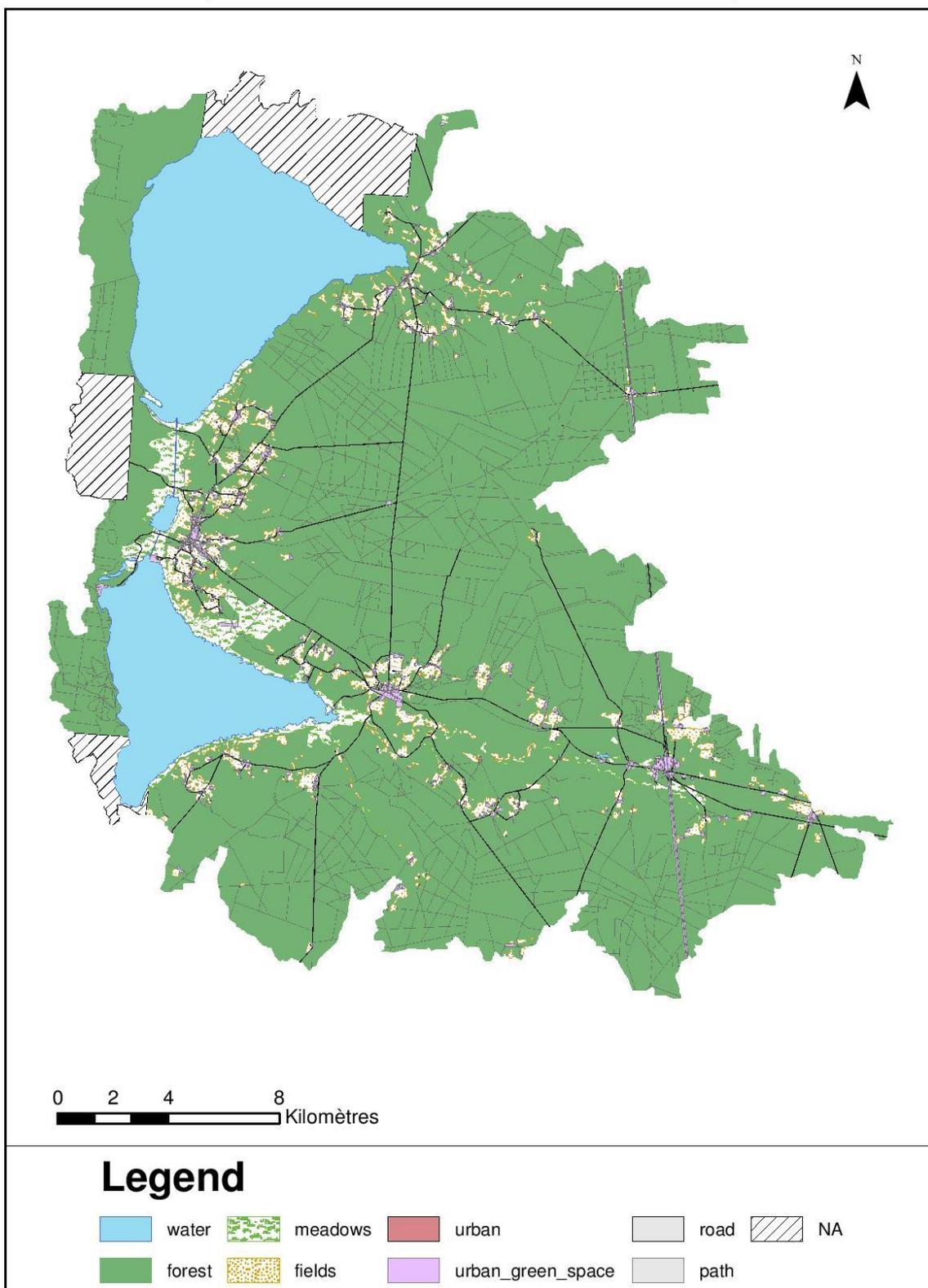


auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016



Annexe L : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 1945

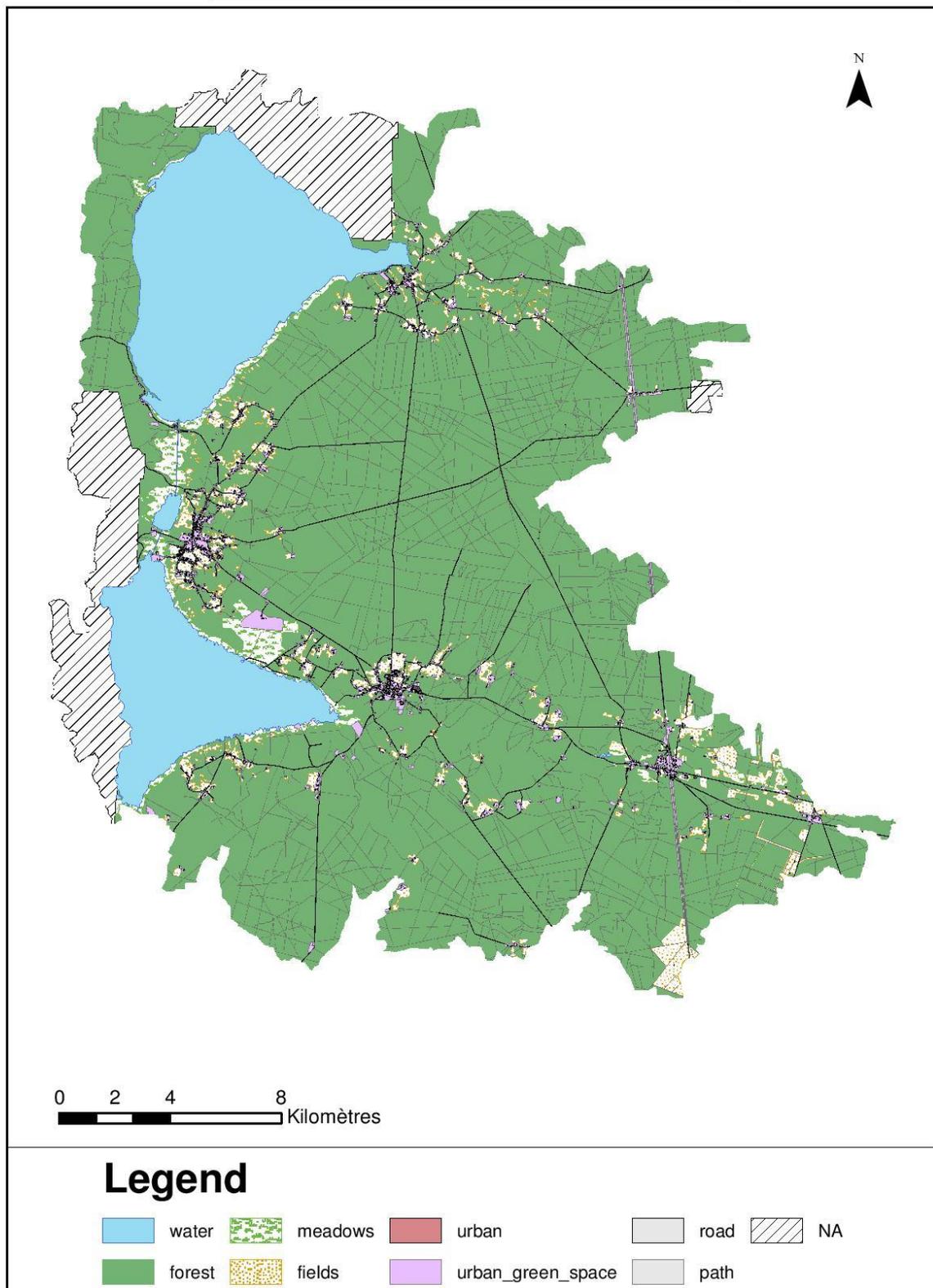
Parentis-Biscarosse 1945



Auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Annexe M : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 1965

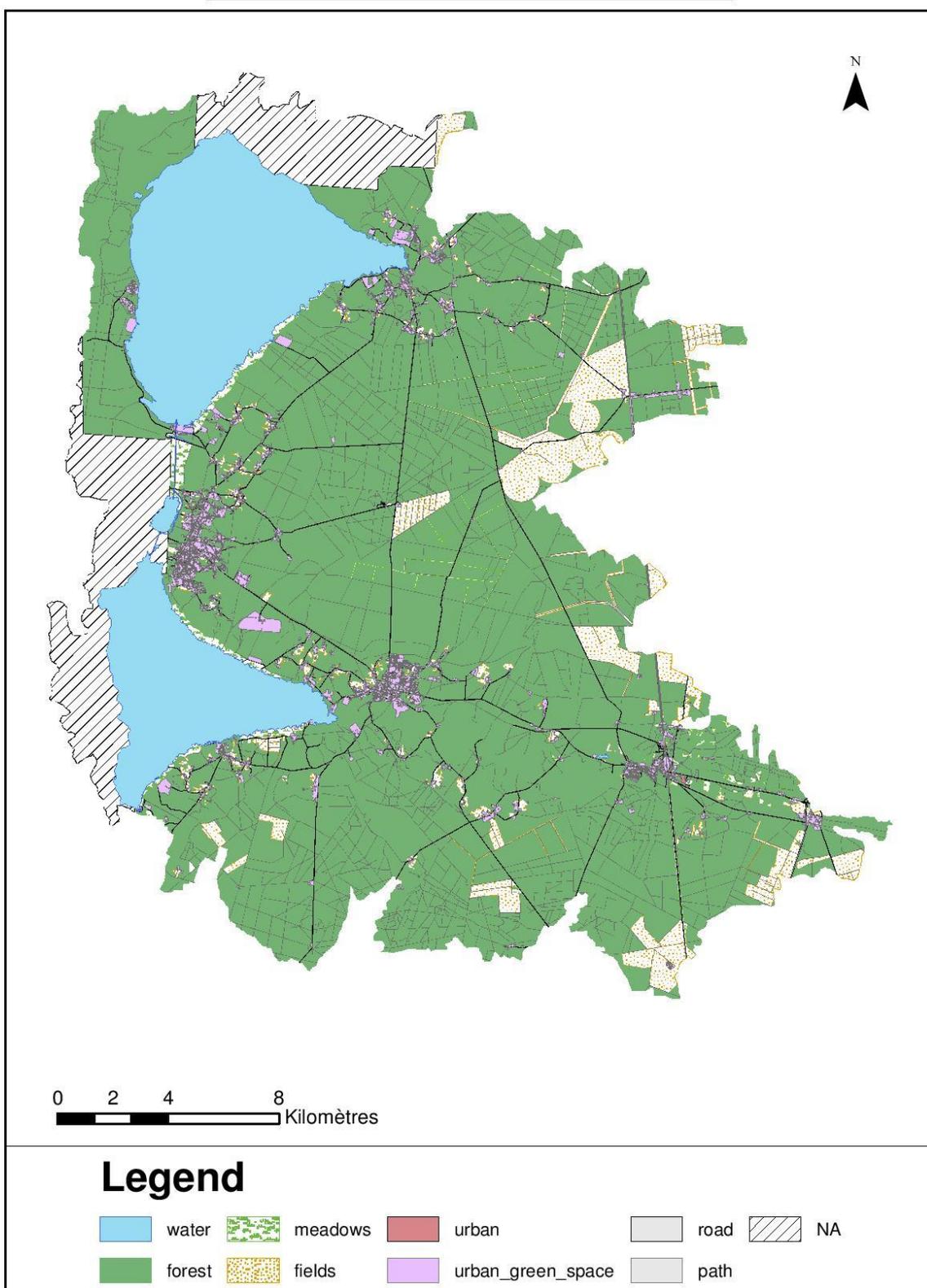
Parentis-Biscarosse 1965



Auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Annexe N : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 1985

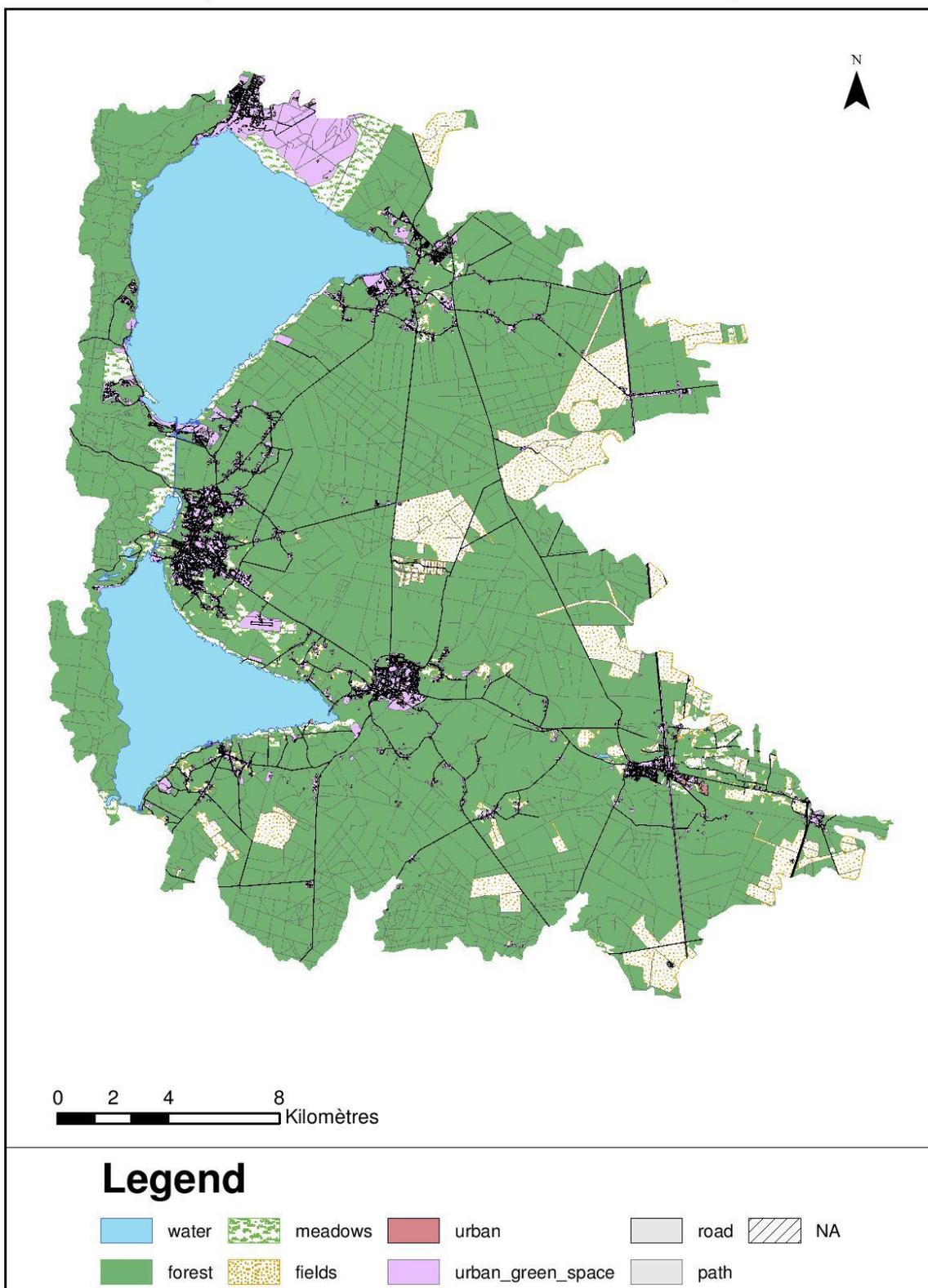
Parentis-Biscarosse 1985



Auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Annexe O : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de Parentis-Biscarosse en 2002

Parentis-Biscarosse 2002



Auteur : Audrey QUEAU - IRSTEA 2016

Annexe P : Tableaux des pourcentages de recouvrement et de l'indice de dominance (LPI) pour chaque classe d'ODS en 1945, 1965, 1985 et 2000 pour chaque lac étudié

Le gris correspond à la plus forte valeur de LPI.

	Lacanau							
	% ODS (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2000	1945	1965	1985	2000
Eau	8,226	8,179	8,372	8,311	8,104	8,130	8,180	8,114
Forêt	44,307	63,597	73,113	63,126	22,025	59,980	69,987	61,885
Prairie	38,840	19,181	6,846	10,034	30,721	5,229	1,677	0,759
Champs	3,677	3,410	4,967	11,527	0,096	0,625	1,692	1,925
Jardins	1,152	1,449	1,859	2,158	0,080	0,088	0,217	0,156
Urbain	0,077	0,105	0,172	0,242	0,005	0,003	0,006	0,008
Routes	0,710	0,752	0,850	1,384	0,012	0,008	0,011	0,012
Chemins	0,466	0,638	0,664	0,675	0,003	0,005	0,004	0,003
N.A.	0	0,142	0,610	0	0	0,144	0,619	0

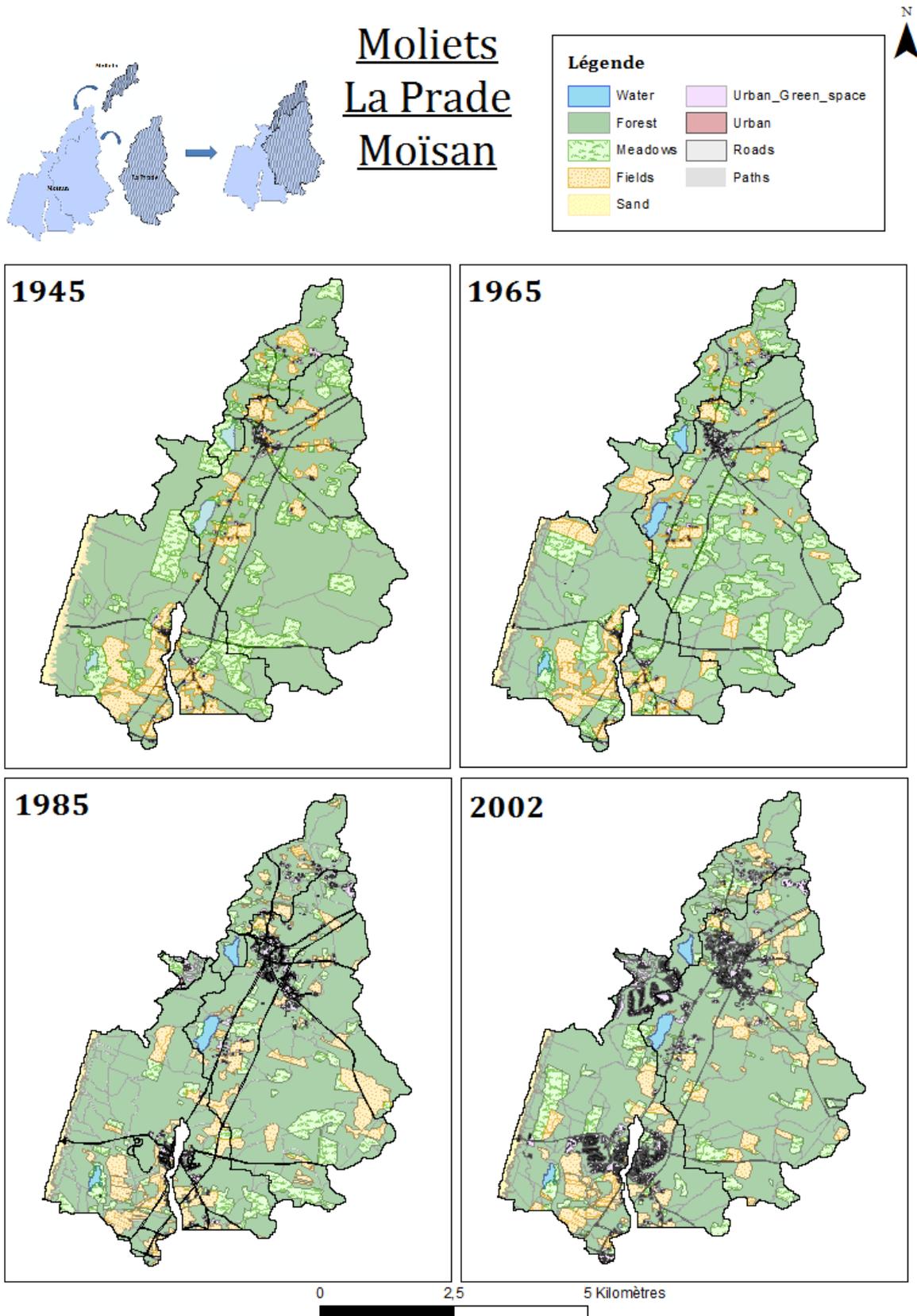
	Carcans							
	% ODS (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2000	1945	1965	1985	2000
Eau	0,090	0,161	0,277	0,179	17,315	17,378	17,475	17,322
Forêt	39,514	55,371	64,314	51,220	22,133	48,159	60,491	44,168
Prairie	36,445	21,096	7,200	12,523	33,445	11,006	1,304	1,222
Champs	4,436	2,852	6,044	14,217	0,138	0,239	3,602	4,046
Jardins	0,886	1,378	1,949	2,171	0,109	0,134	0,473	0,252
Urbain	0,083	0,109	0,180	0,283	0,011	0,005	0,008	0,013
Routes	0,713	0,773	0,799	1,439	0,011	0,016	0,008	0,011
Chemins	0,439	0,554	0,529	0,569	0,004	0,003	0,004	0,005
N.A.	0	0,305	1,305	0	0	0,308	1,318	0

	Cazaux							
	% ODS (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2002	1945	1965	1985	2002
Eau	0,000	0,000	0,000	0,000	18,059	17,241	17,996	18,031
Forêt	67,331	66,432	61,168	60,463	59,845	51,886	48,361	49,044
Prairie	0,466	0,757	0,879	2,925	0,269	0,395	0,324	1,392
Champs	1,889	1,669	7,458	9,198	0,228	0,456	3,838	4,186
Jardins	0,466	0,932	1,521	7,555	0,032	0,152	0,130	5,241
Urbain	0,042	0,067	0,110	0,366	0,002	0,002	0,006	0,019
Routes	0,288	0,442	0,529	0,859	0,011	0,016	0,011	0,012
Chemins	0,294	0,450	0,384	0,437	0,003	0,003	0,002	0,006
N.A.	11,033	11,886	9,806	0	9,795	9,988	9,620	0

	Petit Biscarosse							
	% ODS (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2002	1945	1965	1985	2002
Eau	15,550	14,847	15,526	15,568	15,458	14,751	15,409	15,427
Forêt	68,063	67,046	62,022	63,073	60,474	53,999	50,739	50,597
Prairie	1,184	1,330	1,162	3,079	1,045	0,433	0,304	1,527
Champs	2,671	2,076	6,689	8,546	0,254	0,377	3,296	3,572
Jardins	0,666	1,192	1,983	7,524	0,076	0,123	0,281	4,492
Urbain	0,065	0,104	0,184	0,491	0,002	0,004	0,005	0,016
Routes	0,371	0,500	0,630	1,028	0,009	0,008	0,009	0,010
Chemins	0,300	0,441	0,374	0,461	0,006	0,004	0,002	0,004
N.A.	10,899	12,235	11,200	0	8,352	8,596	8,236	0

	Parentis-Biscarosse							
	% ODS (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2002	1945	1965	1985	2002
Eau	9,351	8,929	9,246	9,463	9,179	8,761	9,163	9,163
Forêt	71,665	69,588	66,458	67,605	64,955	63,202	61,416	65,099
Prairie	2,336	1,919	1,264	3,045	1,509	0,488	0,182	0,645
Champs	3,963	3,209	6,012	7,292	0,212	0,349	1,875	2,002
Jardins	1,142	1,833	2,666	5,204	0,082	0,167	0,453	1,521
Urbain	0,097	0,169	0,304	0,546	0,002	0,004	0,006	0,014
Routes	0,491	0,620	0,791	1,112	0,009	0,010	0,009	0,013
Chemins	0,322	0,459	0,407	0,476	0,004	0,004	0,001	0,003
N.A.	5,378	8,017	7,627	0	3,331	4,186	4,669	0

Annexe Q : Résultats et modélisation de l'occupation du sol pour Moliets, La Prade et Moïsan réalisés par Louise PERCAILLE



Carte de l'occupation du sol des bassins versants des lacs de Moliets, La Prade et Moïsan

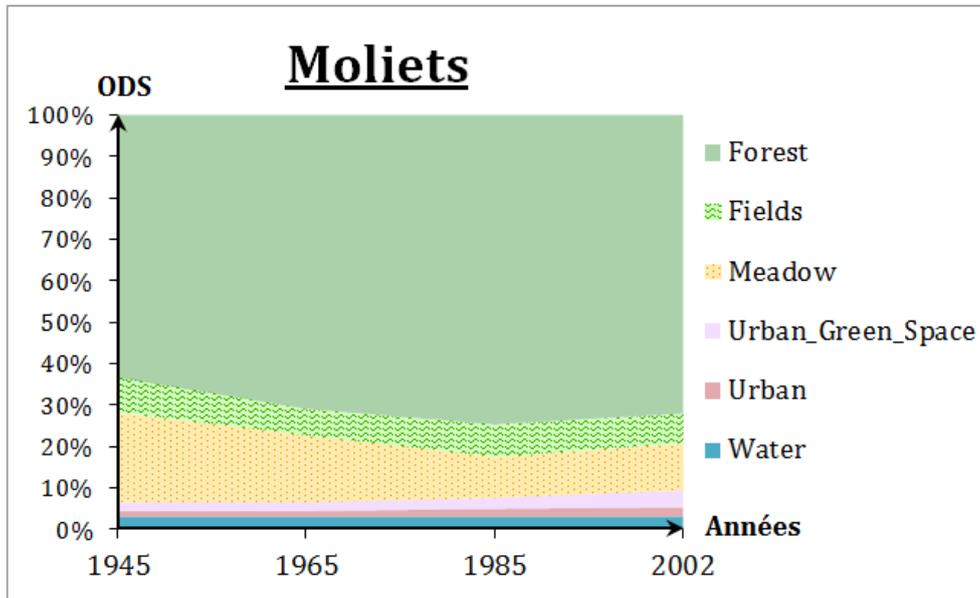


Figure: Graphique de l'évolution de l'occupation de sol du bassin versant du lac de Moliets

Tableau : Pourcentages de l'évolution de l'occupation de sol et indices LPI du bassin versant du lac de Moliets

Moliets								
Classe	PLAND (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2002	1945	1965	1985	2002
Water	3,03	3,03	3,03	3,04	3,03	3,03	3,03	3,03
Forest	63,36	70,92	74,68	72,05	27,72	20,26	12,32	18,20
Meadow	21,62	16,11	9,80	11,37	4,06	4,49	2,07	1,60
Fields	8,57	6,23	7,89	7,07	2,71	1,94	2,10	1,09
Urban_Green_Space	2,14	2,37	2,71	4,20	0,41	0,39	0,34	0,43
Urban	0,15	0,22	0,32	0,76	0,03	0,02	0,02	0,05
Roads	0,67	0,67	0,67	0,67	0,50	0,50	0,50	0,50
Paths	0,45	0,46	0,90	0,85	0,24	0,35	0,62	0,47

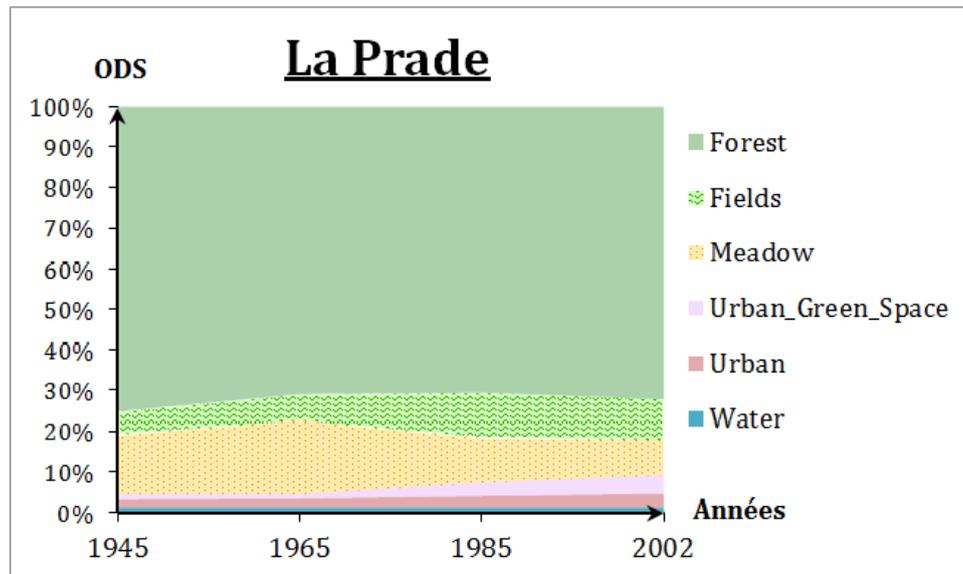


Figure: Graphique de l'évolution de l'occupation de sol du bassin versant du lac de La Prade

Tableau : Pourcentages de l'évolution de l'occupation de sol et indices LPI du bassin versant du lac de La Prade

La Prade								
Classe	PLAND (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2002	1945	1965	1985	2002
Water	1,28	1,28	1,28	1,28	0,80	0,80	0,80	0,80
Forest	75,26	70,94	70,60	72,18	14,20	8,19	8,83	11,16
Meadow	14,84	17,75	11,19	8,73	0,82	1,14	1,06	0,70
Fields	5,43	6,21	10,78	9,83	0,53	0,49	1,49	0,59
Urban_Green_Space	1,39	1,81	3,50	4,76	0,13	0,14	0,22	0,39
Urban	0,19	0,27	0,54	0,91	0,01	0,01	0,01	0,01
Roads	1,25	1,37	1,52	1,75	1,13	1,25	1,40	1,55
Paths	0,37	0,37	0,59	0,55	0,13	0,17	0,17	0,13

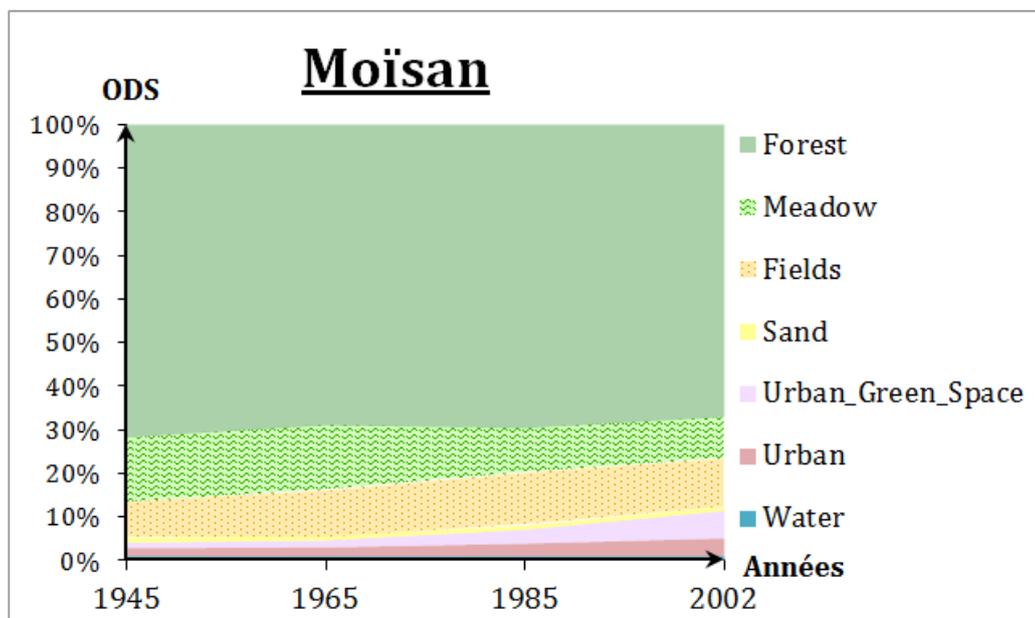


Figure : Graphique de l'évolution de l'occupation de sol du bassin versant du lac de Moïsan

Tableau : Pourcentages de l'évolution de l'occupation de sol et indices LPI du bassin versant du lac de Moïsan

Moïsan								
Classe	PLAND (%)				LPI			
	1945	1965	1985	2002	1945	1965	1985	2002
Water	0,95	0,95	0,95	0,97	0,48	0,48	0,48	0,48
Forest	71,76	68,99	69,67	67,09	8,47	4,89	5,27	6,66
Meadow	14,94	15,00	10,42	9,70	1,21	0,68	0,65	0,55
Fields	8,04	10,42	11,88	10,85	0,89	0,59	0,89	0,43
Sand	1,19	0,98	0,98	0,98	0,67	0,24	0,24	0,37
Urban_Green_Space	1,28	1,60	3,19	6,31	0,08	0,08	0,13	0,23
Urban	0,19	0,26	0,54	1,28	0,01	0,01	0,01	0,01
Roads	1,21	1,28	1,63	2,11	0,98	1,05	1,19	1,63
Paths	0,44	0,52	0,73	0,71	0,11	0,18	0,16	0,17

« [...] les bassins de Moliets, La Prade et Moïsan sont dominés par la forêt.

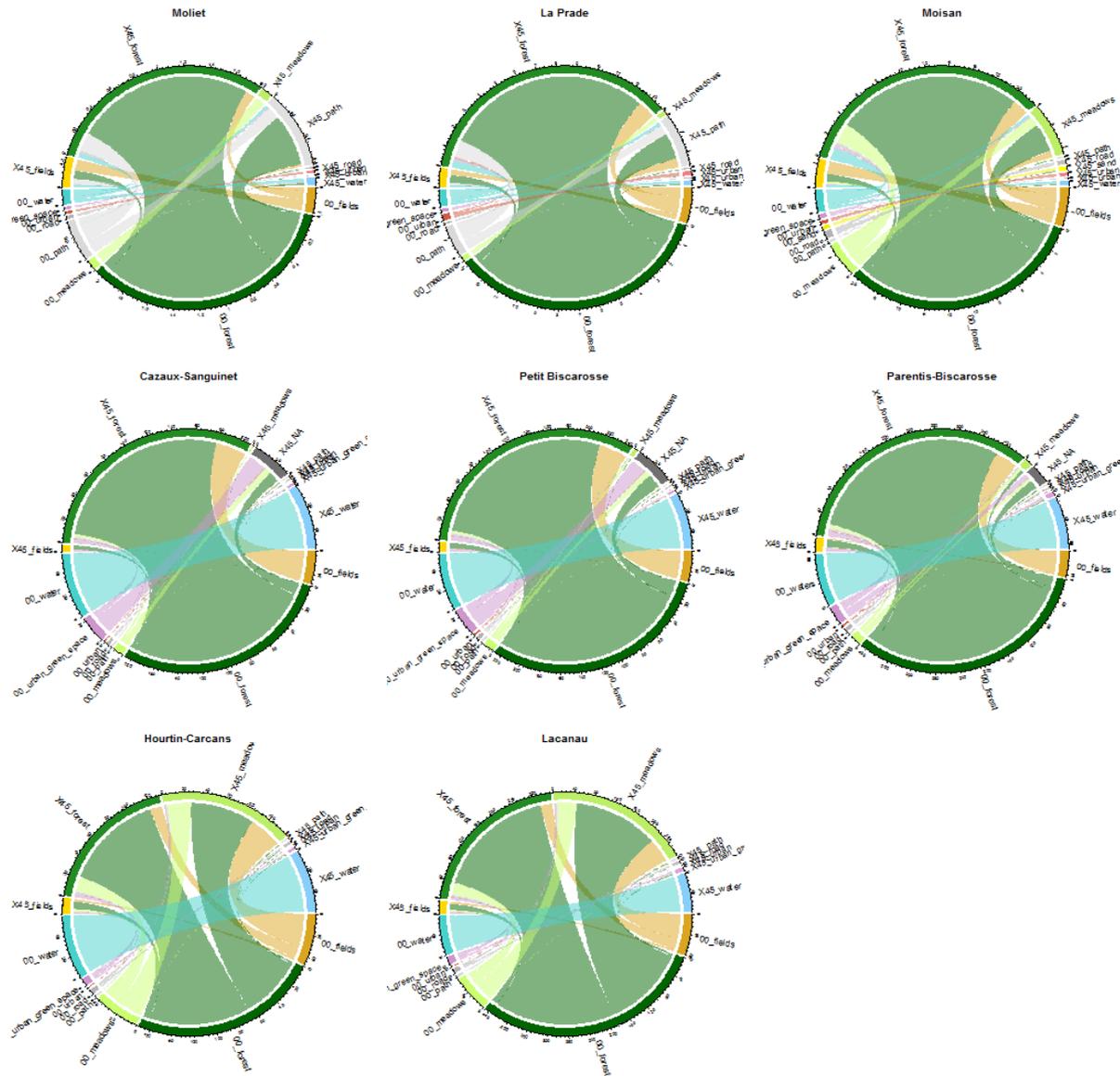
L'urbanisation augmente progressivement de 1945 à 2000 sur l'ensemble des bassins versants.

Sur la carte de 1965, il est possible d'observer la répartition discontinue des prairies et des champs ; les patches interrompent le continuum forestier.

Il semble que les parcelles de pâturages et les parcelles agricoles, changent de localisation au fil des années. Il est néanmoins possible d'observer une tendance de diminution des prairies et une augmentation des champs au cours du temps. »

(PERCAILLE, 2015)

Annexe R : Diagrammes de Chord des matrices de transition de l'occupation du sol entre 1945 et 2000 pour chaque lac



Annexe S : Exemple d'une photo aérienne de mauvaise qualité

Source : IGN - Géoportail

Cliché IGNF_PVA_1-0__1945-07-24__C0615-0821_1945_FRANCESUD-OUEST7201_0034



Résumé

La compréhension des assemblages d'espèces est l'un des enjeux majeur de l'écologie. L'étude historique des paysages et de leur composition, est l'une des approches utilisées pour appréhender cet aspect. Nous nous sommes intéressés à la dynamique historique du bassin versant de 8 lacs et étangs du littoral Aquitain. L'occupation du sol depuis 1945 à nos jours a été modélisée via photo-interprétation de clichés historiques puis mise en relation avec la structure et la composition de la diversité macrophytisque actuelle. Sur l'ensemble des bassins versants les principaux changements paysagers sont une urbanisation et un développement forestier croissant se faisant principalement au détriment des prairies. Nous avons observé que les variables historiques du paysage étaient mieux associées à la structure et composition des macrophytes que les variables paysagères actuelles, suggérant un délai de réponse de communautés face aux changements paysagers. En particulier, la proportion de champs, de prairies et de forêt de 1945 à 1965 semble modifier la composition floristique. Les territoires urbanisés en 1945 sont négativement associés à la richesse spécifique actuelle alors que le développement des jardins a un effet opposé. Le paysage passé et présent influence les communautés végétales. Connaître et comprendre la dynamique paysagère semble donc indispensable à une meilleure gestion des milieux.

Mots-clés : Temps de réponse, Biogéographie Historique, Macrophyte, SIG, écologie des communautés, paysage.

Abstract:

Understanding species assemblages is one of the major issues of ecology. Studies of historical landscapes are methods used to understand this aspect. Lots of studies examined the influence of historical landscapes on terrestrial environments but none in aquatic environments. Thus, we modeled the historical landuse of 8 littoral lakes watersheds in the south-west of France. We reconstructed the land use since 1945 to nowadays with aerial photographs and related landscape features with current macrophyte structure and composition of the lakes. We found an increase of artificial territories associated with a decrease of meadows. We found that historical landscapes features were better associated with current diversity than current landscape fetures, suggesting a "delayed response" of macrophytes communities. In particular, the proportion of fields, meadows and forest from 1945 to 1965 seems to influence the macrophyte composition. Urban landscapes of 1945 are negativeley associated with species richness whereas urban-green space exhibits an opposite effect. Landscapes are continuously changing, and understanding their history is crucial for a better environment management.

Keywords: Response time, Historical biogeography, Macrophyte, GIS, community ecology, landscape.