



**QUALITE DES EAUX DES LACS
DE CARCANS-HOURTIN ET DE LACANAU
- ETUDE DES PARAMETRES AZOTE ET PHOSPHORE -
DONNEES SCIENTIFIQUES ET BIBLIOGRAPHIQUES**

SAGE DES LACS MEDOCAINS - SIAEBVELG

Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux
du Bassin Versant des Etangs du Littoral Girondin



Année 2011-2012

QUALITE DES EAUX DES LACS DE CARCANS-HOURTIN ET DE LACANAU
- ETUDE DES PARAMETRES AZOTE ET PHOSPHORE -
DONNEES SCIENTIFIQUES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Le présent rapport a été écrit dans le cadre d'un post-doctorat à l'université de Bordeaux 3 et au LGPA (Laboratoire de Géographie Physique Appliquée). Il est mandaté et co-financé par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant des Etangs du Littoral Girondin (SIAEBVELG), l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, le Conseil Régional d'Aquitaine et le Conseil Général de Gironde.

Les supports du SIABEVELG (Frank Quénault, animateur du SAGE des lacs médocains, et Sébastien Dufour, technicien rivière) et de l'IRSTEA/CEMAGREF (Alain Dutartre) ont été décisifs dans les campagnes de terrain et les processus d'écriture.

Les membres du LGPA, en particulier Teddy Auly, Frédéric Hoffmann, Philippe Laymond et Anne-Marie Meyer, ont également été d'un soutien précieux durant ces travaux.

Gardaix Julien, 2012, Qualité des eaux des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau - Etude des paramètres azote et phosphore - Données scientifiques et bibliographiques, Rapport de Post-doctorat, université de Bordeaux 3, XXp.

RESUME

Plusieurs études ont été menées sur les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau depuis les années 1960. Les constats généraux indiquent une perte de qualité des eaux à cause de l'enrichissement en nutriments. Les évolutions sur le moyen terme laissent envisager une présence plus faible de ces éléments sur les lacs, après un pic de pollution dans les années 1990. Des signes physiques de l'eutrophisation des lacs se manifestent à cause d'une turbidité et d'un développement végétal importants. L'aggravation de ce phénomène pénaliserait la situation écologique et socio-économique sur la zone. Une fois les effets de l'eutrophisation engagés, ils sont difficiles à juguler.

La relation aux rejets sur le bassin versant a été établie par la bibliographie, de même que les effets différenciés de l'occupation du sol. Les principales emprises spatiales sont la sylviculture, l'agriculture et les zones urbaines. Les charges spécifiques en nutriments, calculées de manière théorique, peuvent servir de repères pour les analyses de terrain.

PLAN DU RAPPORT

RESUME	2
PLAN DU RAPPORT	3
INTRODUCTION	4
I. LE CONTEXTE LOCAL ET LES EFFETS DES NUTRIMENTS	5
II. LES CONNAISSANCES SUR LE MILIEU : ETUDES LOCALES ET COMPAREES	20
III. L'OCCUPATION DU SOL ET L'EVALUATION DES CHARGES EN NUTRIMENTS	35
CONCLUSION	55
ANNEXES	56
BIBLIOGRAPHIE	59
SOMMAIRE DES TABLEAUX ET FIGURES	66
TABLES DES MATIERES	68

INTRODUCTION

Les décisions légales et administratives prescrivent des connaissances avancées de l'état de la qualité des cours d'eau et des plans d'eau. La Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE, 2000/60/CE du 23 octobre 2000) se base sur le respect de l'état écologique et chimique des eaux afin de qualifier l'état de santé d'un milieu. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) prennent en compte ces recommandations et critiques.

Dans ce contexte, les lacs médocains, gérés au sein d'un même SAGE, ont été décrits par la DCE comme de « bonne qualité » pour le lac de Carcans-Hourtin et de qualité « moyenne » pour le lac de Lacanau. L'amélioration des conditions est prévue pour 2015. De plus, des phénomènes d'eutrophisation sont apparus depuis plusieurs années risquant une dégradation des qualités d'usage des lacs.

Les contraintes de ces déclassements ont imposé une décision prioritaire du SAGE. L'enjeu A « Préserver voire améliorer la qualité de l'eau » a placé en mesure A1 de « Réaliser une étude afin de connaître et quantifier les sources de nutriments (N et P) ».

L'étude sur la qualité des eaux superficielles des bassins versants des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau répond à ces enjeux. Elle cherche à quantifier les différentes pollutions azotées et phosphorées dans les cours d'eau alimentant les lacs. L'abondance de l'azote et du phosphore est le principal vecteur de l'eutrophisation. La finalité de la démarche est d'évaluer la qualité des eaux tributaires et de comprendre les charges superficielles supportées par les lacs pour pouvoir apprécier, dans une autre étude, les conséquences sur leur état de pollution et leur eutrophisation.

Pour cela, l'étude se fait en deux temps : un premier rapport résume les principaux éléments scientifiques et techniques en se basant sur les bibliographies sur les lacs médocains, mais aussi sur les pollutions en nutriments dans d'autres contextes. Un état des lieux permet d'apprécier le fonctionnement du bassin versant des lacs avec quelques éléments de comparaison. Il propose des constats et des hypothèses plutôt que des réponses et des explications. Dans le même temps, une campagne de prélèvements de 20 points sur 35 semaines est menée de novembre 2011 à juin 2012. Suite à ces analyses, un deuxième rapport présentera les résultats de ces analyses, l'état du bassin versant face à ces types de pollution et les principales conclusions servant d'appui aux gestionnaires.

Par soucis d'organisation, ce premier rapport reprend la structure des questionnements du SAGE. Dans un premier temps, il expose les caractéristiques des lacs et de leur bassin-versant ainsi que la gestion des nutriments sur la zone et dans d'autres contextes. Les études antérieures et leurs données permettent par la suite de comparer l'évolution des divers systèmes dans l'espace et dans le temps. Enfin l'occupation du sol et l'estimation des charges spécifiques azotées et phosphorées sont évaluées à partir de différents coefficients d'exportations. Ces calculs pourront être comparés aux données de terrain.

Quelques hypothèses de travail, en vue d'expliquer les analyses et leurs répartitions, sont formulées tout au long du rapport.

I. LE CONTEXTE LOCAL ET LES EFFETS DES NUTRIMENTS

L'étude de la qualité des eaux alimentant le bassin versant des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau nécessite quelques préalables. Il paraît important d'exposer les principales caractéristiques de la formation de la zone avant de présenter les effets généraux des nutriments, en dehors du contexte local. Une telle approche permet de distinguer les spécificités de chacun pour, par la suite, mettre en évidence les interactions et les éventuels problèmes entre ces deux systèmes.

A. Présentation de la zone d'étude

Les caractères physiques et humains du bassin versant des lacs médocains donnent une première appréciation sur le fonctionnement général du système.

1. Aspects généraux

La formation du bassin versant est relativement récente (Figure 1). Lors de la dernière glaciation (au Würm, il y a 35 000 ans), le niveau marin a baissé de 120 mètres et a rendu disponible des matériaux sableux. Les vents d'ouest ont pris en charge les sables pour les déplacer vers l'est. Les remontées du niveau marin (par les transgressions flandrienne et dunkerquienne) ont aussi charrié ces matériaux vers nos rivages actuels. Ces accumulations de sables ont contraint les eaux continentales et limité l'écoulement des cours d'eau vers l'océan. La présence des lacs daterait de la transgression flandrienne pour certains alors que d'autres l'estimerait à 1 000 ans av. JC. Pour Laurent Touchart (2000), ce sont des lacs de barrage d'une vallée par des accumulations éoliennes (ici par l'élévation du cordon dunaire).

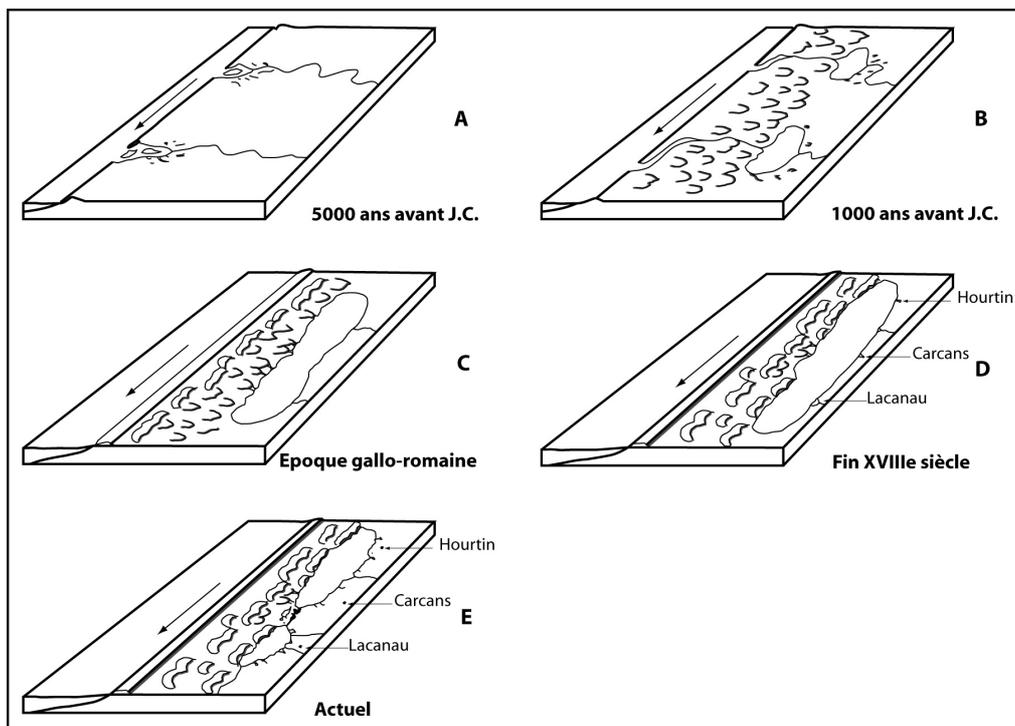


Figure 1 : La formation des lacs médocains

Source : Maguire 1997, d'après GERA, 1985.

Un ensemble de dunes borde aujourd'hui l'ouest des deux lacs, tandis qu'une surface quasi-plane s'ouvre vers l'est avec des altitudes allant de 15 à 30 m sur le bassin versant. Des sols couverts de sables des Landes accueillent le réseau hydrographique. Les sables des Landes, de type podzol, sont acides et pauvres à cause d'une dégradation difficile des végétaux : leur coloration noirâtre en est la conséquence. Ces sols sont très perméables mais la remontée des nappes souterraines est fréquente. Des alios bénéficient de cette présence de l'eau et résultent « *de la cimentation des grains de sables siliceux ou des limons par les colloïdes et des matières végétales, ces éléments formant une pellicule autour des grains pour aboutir à un concrétionnement en masse* » (SIAEBVELG, Aqua Conseils, 2007, p6). Ces zones imperméables peuvent alors limiter les infiltrations et favoriser les ruissellements des eaux. Leur place est discontinue sur le bassin versant.

L'abondance des eaux superficielles sur cette zone a nécessité des drainages par des fossés. Ces creusements ont parfois pu endommager les alios. Un réseau de crastes alimente aujourd'hui le bassin versant et se déverse vers les lacs. L'hydrologie est directement dépendante du climat. Durant la période hivernale, le système se recharge en eau : la totalité des crastes s'écoule et la nappe souterraine est presque affleurante. En été, avec la diminution des précipitations et l'établissement de période de sécheresse hydrique, les effets de l'évapotranspiration sont forts, le niveau piézométrique baisse et seules quelques crastes coulent. L'alimentation de celles-ci est parfois artificielle et liée aux activités humaines. Les canaux entre les étangs et vers le bassin d'Arcachon sont régulés pour éviter des étiages.

Cette dépendance aux conditions climatiques est visible lors des années exceptionnelles, qu'elles soient sèches ou pluvieuses, à cause de la réactivité du système :

« Certains aléas climatiques ont fortement marqué ces dernières années :

- la sécheresse qui débuta lors de l'été 1988 pour se terminer en 1992,
- la tempête du 27 décembre 1999,
- la sécheresse de 2002 à 2006 avec deux années marquantes (printemps et été historiquement chauds en 2003, sécheresse remarquable en 2005),
- la pluviométrie estivale excessive de l'année 2007, avec le mois d'août le plus pluvieux de la période d'observation (120 mm), limitant l'étiage du réseau hydrographique » (SIAEBVELG, Aqua Conseils, 2007, p7),
- la sécheresse de l'année 2011, plus importante qu'en 2005.

Adaptées aux sols pauvres, à l'abondance de l'eau et au régime climatique, des landes se sont développées avant que l'établissement du pin maritime ne se généralise. De vastes zones forestières couvrent le bassin versant. L'abondance des eaux et les possibilités de drainage facilitent l'implantation d'exploitations agricoles, dans un premier temps presque exclusivement tournées vers la maïsiculture. L'attrait des lacs et de son bassin versant bénéficie également aux activités balnéaires et touristiques. Ce sont les principaux enjeux locaux qui peuvent perturber le fonctionnement des lacs médocains.

L'assainissement de la zone a été entrepris en construisant un réseau de crastes. Leur présence permet aussi une régulation des niveaux des lacs en canalisant les écoulements.

2. Présentation des lacs

Les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau ont été formés de la même manière. Depuis, ces deux entités possèdent des caractéristiques semblables :

Caractéristiques	Carcans-Hourtin	Lacanau
Altitude (m)	18	20
Surface du plan d'eau (km ²) (B)	62	20
Surface du bassin versant (km ²) (A)	360	285
Rapport A/B	5,8	14,25
Largeur maximale (km)	4	3
Longueur maximale (km)	16,5	7,7
Profondeur maximale (m)	11	8
Profondeur moyenne (m)	3,4	2,6
Volume (millions de m ³)	210	53
Volume annuel entrant (millions de m ³)	117	124
Taux de renouvellement annuel	0,56 Tous les 2 ans	2,34 2 fois par an
Type de substrat	Sableux	Sableux
Communes voisines	Carcans, Hourtin	Le Porge, Lacanau, Saumos

Tableau 1 : Principales caractéristiques des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau

D'après Cellamare, 2009.

Les deux lacs disposent de caractères communs liés à leur formation : ils sont peu profonds sur un substrat sableux. Le lac de Carcans-Hourtin dispose d'une surface et d'un volume 3 et 4 fois plus importants que le lac de Lacanau. Néanmoins, son bassin versant est proportionnellement plus limité que celui du lac de Lacanau. Le renouvellement des eaux est différent d'une entité à l'autre ce qui impose une gestion variable des pollutions chroniques ou diffuses : « [Le lac de Lacanau] sera a priori sensible aux pollutions chroniques. Par contre, une pollution accidentelle serait assez rapidement "lessivée" compte tenu du fort taux de renouvellement de l'eau. Dans une certaine mesure, les pollutions qui se manifestent dans l'étang de Carcans-Hourtin se répercutent sur celui de Lacanau » (CTGREF, 1974, p10).

Plusieurs classifications existent pour comparer l'état et la qualité des eaux des lacs. L'OCDE a mis en place des normes pour évaluer l'état trophique des lacs. Elles permettent d'évaluer la capacité des lacs à produire des matières végétales (notamment le phytoplancton) et animales. Les niveaux de transparence (par la mesure au disque de Secchi), de chlorophylle a et de phosphore total influencent une classification allant d'un état ultra-oligotrophique (eaux claires, pauvres en nutriments et à production limitée) à un état hyper-eutrophique (eaux très turbides, très riches en nutriments et à production phytoplanctonique dominante) des plans d'eau. « L'eutrophisation correspond à un enrichissement en nutriment d'un milieu aquatique et provoque des modifications en série de l'écosystème (Meybeck and Helmer, 1989) » (Canton, 2009, p30).

	Moyenne annuelle de phosphore total (µg/l)	Moyenne annuelle en chlorophylle a (µg/l)	Maximum annuel en chlorophylle a (µg/l)	Moyenne annuelle de profondeur au disque de Secchi (m)
Ultra-oligotrophique	<4	<1	<2,5	>12
Oligotrophique	<10	<2,5	<8	>6
Mésotrophique	10-35	2,5-8	8-25	6-3
Eutrophique	35-100	8-25	25-75	3-1,5
Hyper-eutrophique	>100	>25	>75	<1,5

Tableau 2 : Classification trophique des lacs (OCDE, 1982)

D'après Carvalho et al., 2006.

Appliquée aux lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau (Tableau 3), la faible transparence des eaux est une condition limitante pour les deux plans d'eau. Elle est de l'ordre du mètre pour le lac de Carcans-Hourtin et d'1,2 m pour le lac de Lacanau. Cette forte turbidité perdure depuis les études sur les lacs dans les années 1980 (Giroux, 1999). Les concentrations en chlorophylle a et en phosphore total sont plus élevées dans le lac de Carcans-Hourtin.

Indicateur	Carcans-Hourtin	Lacanau
Secchi _m (m)	0,8	1,2
Secchi _{min} (m)	0,6	0,9
Chl a _m (µg/l)	19	9
Chl a _{max} (µg/l)	25	13
PT _m (µg/l)	31	23
Etat trophique	Eutrophe	Méso-eutrophe

Tableau 3 : Etat trophique des lacs de Carcans-Hourtin et Lacanau selon les critères de l'OCDE (1982)

D'après Cellamare, 2009.

Cellamare (2009), ayant mené une étude approfondie sur les lacs aquitains, leurs sédiments et leurs flores, qualifie les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau comme eutrophe et méso-eutrophe en raison d'une turbidité élevée et d'une production chlorophyllienne soutenue. De plus, l'auteure a réalisé un bilan physico-chimique des deux lacs et constate :

- Une hausse de la conductivité depuis les analyses menées par l'institut de Géodynamique en 1987 : la présence d'éléments dissous croît de 170 et 190 µS/cm pour le lac de Carcans-Hourtin et de Lacanau à 320 et 250 µS/cm respectivement ;
- « *De même, les concentrations en chlorophylle a ont considérablement augmenté dans ces deux lacs selon des observations antérieures réalisées par le Cemagref (ex CTGREF) (1974) et celles de cette étude. Dans le lac de Lacanau, les concentrations en chlorophylle a variaient entre 2,2 et 4 mg/m³ en 1974 et actuellement entre 4 et 16 mg/m³, tandis qu'à Hourtin les concentrations étaient de 4,7 à 11,6 mg/m³ et se trouvent maintenant entre 6 et 25 mg/m³* » (p78) ;
- Les teneurs en Carbone Organique Dissous (COD) sont hautes pour la région (autour de 24 mg/l à Carcans-Hourtin et 17 à Lacanau) en raison du drainage de la matière humique issue des bassins versants. Selon Cellamare, des « *auteurs suggèrent que le COD allochtone représente une source d'énergie qui stimule le bactérioplancton, leur efficacité à capturer les nutriments inorganiques leur procurant un avantage dans la compétition avec le phytoplancton* » (p78).
- Enfin, l'oxygénation des lacs se dégrade durant l'été et elle ne compromet pas « *le fonctionnement et la survie des communautés biologiques* » (p66), sauf en profondeur mais dans des zones sans lumière.

Ces différents éléments confirment par d'autres entrées les tendances à l'eutrophisation des lacs.

La productivité des lacs¹ est aussi prise en considération dans la DCE grâce à de nouveaux indicateurs. Les deux lacs sont classés comme appartenant à l'écorégion « Central-Baltique » LCB-3. Leurs aspects chimiques, physiques et hydromorphologiques sont à la base d'une classification générale de l'état de qualité des eaux (sur 5 classes : très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais). « *Cependant cette Directive est assez générale et ne fournit qu'une indication globale sur la manière de déterminer ces 5 catégories* » (Cellamare, 2009). Le lac

¹ Composition, abondance et biomasse des phytoplanctons, phytobenthos, macrophytes, invertébrés benthiques et poissons.

de Carcans-Hourtin a été jugé en « bon état », tandis que le lac de Lacanau a un état considéré comme « moyen ». Ce dernier constitue une masse d'eau « prioritaire » pour 2015 (Commission Locale de l'Eau, 2011). Depuis, les critères de la DCE ont été précisés et chiffrés mais ils n'ont pas remis en cause l'évaluation des lacs.

Les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau sont en voie d'eutrophisation. Leurs caractéristiques physiques (faibles profondeur et transparence) et chimiques les rendent sensibles à ce phénomène.

L'amélioration de la qualité de leurs eaux dépend de l'influence du bassin versant qui est déterminante dans la qualité chimique et écologique des lacs.

3. Les bassins versants

Les lacs sont drainés par un bassin versant représentant près de 1 000 km². De nombreux cours d'eau et fossés s'y jettent. Ce sont pour la plupart des fossés creusés (dès le XIX^e siècle) et entretenus en vue de limiter la stagnation naturelle des eaux et faciliter l'exploitation agricole ou sylvicole. Ce vaste réseau de crastes et de berles représente près de 1 400 km de linéaire (Tableau 4). Il est géré par le SIAEB VELG.

Bassin versant	Surface (km ²)	% surface du BV Lacs médocains	Longueur de réseau (km)
Etang de Carcans-Hourtin	380 km ²	38,2 %	560 km Dont <u>122 km de crastes principales</u> et 338 de petit chevelu
Canal des Etangs (exutoire)	45 km ²	4,5 %	23 km <u>10 km</u> + 13 km
Etang de Lacanau	285 km ²	28,5 %	395 km <u>130 km</u> + 265 km
Canal du Porge (exutoire)	290 km ²	29 %	400 km <u>150 km</u> + 350 km
Total : BV des Lacs médocains	1 000 km ²	100 %	1 378 km <u>412 km</u> + 966 km

« NB : Dans la dernière colonne, les linéaires soulignés correspondent aux crastes principales, majorés par le linéaire du Canal des Etangs et du Canal du Porge pour estimer la longueur du réseau hydraulique principale. »

Tableau 4 : Caractéristiques générales des sous-bassins versants des lacs médocains

Source : SIAEBVELG, Aqua Conseils, 2007.

Les sous-bassins versants des lacs peuvent être distingués (Figure 2). La superficie du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin est supérieure à celle du lac de Lacanau. Néanmoins, le rapport entre la taille du plan d'eau et de son sous-bassin versant est plus important pour le lac de Lacanau : les échanges hydrologiques et le renouvellement des eaux y sont plus élevés.

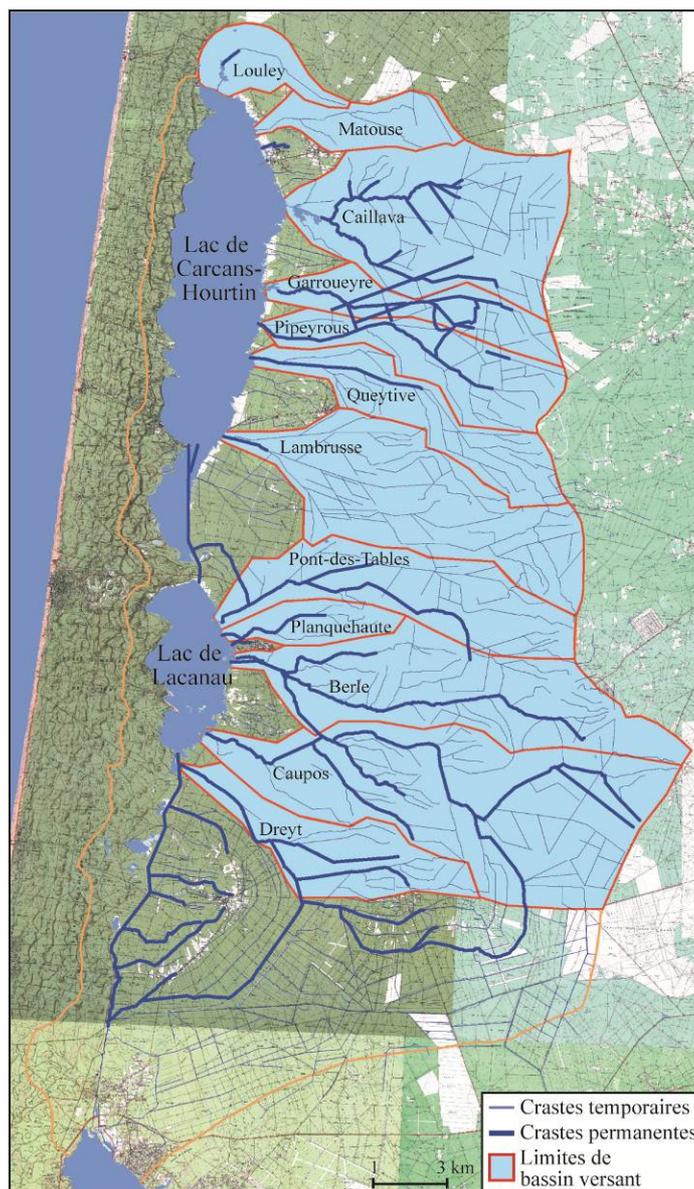


Figure 2 : Le bassin versant et les sous-bassins versants des lacs médocains

Les entrées d'eau ne sont pas constantes toute l'année si bien que certaines crastes sont alimentées de manière temporaire. Selon les cartes de l'IGN représentant la zone, une faible part des crastes ont des eaux permanentes (en bleu foncé sur la carte précédente). Ces indications ne se confirment pas pour toutes les crastes désignées (Tableau 5). L'utilisation différenciée de chacun des sous-bassins versants explique en partie pourquoi certaines crastes coulent de manière pérenne. Les usages agricoles peuvent expliquer pourquoi certaines crastes coulent de manière permanente (sauf Pipeyrous). D'autres crastes ont été aménagées pour recueillir une large partie des eaux du bassin versant (Caupos, Berle). Celles au fonctionnement plus « naturel » connaissent des périodes de sécheresse en été.

Crastes	Surface (km ²)	Type	Fonctionnement
Louley	12	Forestier	Temporaire
Matouse	17	Forestier et urbain	Temporaire
Lupian	72	Forestier et agricole	Permanent
Garroueyre	22	Forestier et agricole	Permanent
Pipeyrous	33	Forestier et agricole	Temporaire

Queytive	32	Forestier	Temporaire
Lambrusse	68	Forestier, agricole et urbain	Permanent
Pont des Tables	47	Forestier et agricole	Permanent
Planquehau te	12	Forestier et urbain	Temporaire
Berle	68	Forestier et urbain	Permanent
Caupos	103	Forestier	Permanent

Tableau 5 : Mesures de certains sous-bassins versants des lacs médocains

Source : SIAEBVELG, 2011.

La remise en eau des crastes est dépendante de la pluviométrie sur un espace en pente très faible (0,01%). Malgré la pente, la vitesse d'écoulement est suffisante à l'évacuation des eaux, à l'érosion de certaines crastes et au transport de matières. Cette prise en charge des sédiments favorise le transport des nutriments infiltrés dans les sols. Elle se fait lors de la remise en eau des systèmes, principalement en automne et lors des pics de crues. De plus, l'entretien des crastes suite à leur dégradation doit se faire selon des conditions précises pour éviter des effets indésirables (accroissement de l'érosion, détérioration des couches imperméables sous-jacentes).

La réactivation du système est directement liée aux précipitations dès l'automne. Les principales crastes coulent alors et peuvent charrier quelques matériaux.

La limitation de la présence des nutriments dans les crastes et leur départ vers les lacs demeurent prioritaires tant leurs fonctionnements sont interdépendants.

B. Les effets des nutriments sur le milieu

Le contexte des lacs médocains permet d'appréhender la question de la place des nutriments. Le but est d'éviter d'éventuelles transformations irrémédiables des milieux. Les nutriments sont nécessaires au développement des écosystèmes mais leurs excès compromettent la qualité des eaux et modifient le développement de la flore et de la faune. Les autorités françaises et européennes ont établi des seuils afin d'évaluer les pollutions par les nutriments. Lorsque l'accumulation est trop grande, des risques d'eutrophisation peuvent perturber le fonctionnement des systèmes.

1. Les nutriments azotés et phosphorés dans le milieu

Les nutriments sont donc présents à divers degrés dans les milieux et sont disponibles sous plusieurs formes assimilables ou non par les végétaux.

Les nitrates (NO_3^-) sont l'une des formes inorganiques de l'azote se retrouvant généralement dans le milieu. Ils sont les résultats de la dégradation de l'azote (par la nitrification de l'ammoniaque en nitrite puis en nitrate) et ils en constituent l'une des formes stables.

Ils sont facilement assimilables par les végétaux et contribuent à leur croissance. Lorsqu'ils ne sont pas consommés, ils sont mobiles et peuvent s'infiltrer dans les sols ou ruisseler jusque dans des étendues d'eau.

« Si les nitrates aboutissent dans des eaux peu oxygénées, certains types de bactéries peuvent les transformer en nitrites (NO_2^-), et finalement en azote gazeux (N_2), qui peut s'échapper dans

l'atmosphère. Dans les eaux bien oxygénées, les nitrates sont rapidement absorbés par les plantes aquatiques et les algues » (Cellamare, 2009, p64).

Si des apports en nitrates sont remarqués durant l'étude à venir, une faiblesse saisonnière en oxygène dans les lacs pourrait entraîner des processus de réduction des nitrates ou de fortes consommations végétales. La transformation des milieux lacustres pourrait alors intervenir. Des processus de dénitrification peuvent en limiter la présence dans les nappes souterraines et dans les sédiments des lacs.

L'azote total rassemble les fractions azotées organiques et minérales. Son étude permet d'évaluer son éventuelle évolution dans le milieu par sa transformation en des formes assimilables par la flore. En effet, l'azote est présent dans des proportions changeantes en fonction du type ou de l'occupation du sol. Selon Vernier, Beuffe et Mestelan (1999), l'azote organique constituerait la principale forme de déplacement de l'azote (65%) dans des bassins versants forestiers, tandis que les nitrates représenteraient 85% de l'azote dans les bassins versants mixtes (agricoles et forestiers).

L'évaluation des charges critiques en azote pour des lacs aux eaux oligotrophiques date de 1996 et a été mesurée entre 5 et 10 kg/ha/an d'azote (Acher mann, Bobbink, 2003, p84) « *sur la superficie des bassins versants des masses d'eau considérées* » (Le Gall, 2008, p23). Ces données ont été confirmées par des modélisations sur 30 ans.

Type d'écosystèmes	Code EUNIS ²	Charge critique (kg N/ha/an)
Lacs d'eau douce (eaux oligotrophiques)	C1.1	5-10
Dépressions humides intradunales (eaux oligotrophiques)	C1.16	10-20

Tableau 6 : Charges critiques pour l'azote eutrophisant dans les eaux (Acher mann and Bobbink, 2003)

Source : Le Gall, 2008, p23.

Ces chiffres demeurent relativement difficiles à exploiter car ils imposent une valeur qui ne varie pas en fonction de la taille du lac et/ou du bassin versant. Aussi l'auteure précise que « *Lorsque seules les concentrations d'azote sont considérées, des niveaux de l'ordre de 0,5 – 2.0 mg N tot./l sont souvent recommandés pour protéger la biodiversité des eaux douces* » (Le Gall, 2008, p25).

L'orthophosphate (PO_4^{3-}), souvent simplifié en phosphate, est une forme inorganique, dissoute et mobilisable de phosphore. Le phosphore total correspond à l'ensemble des formes dissoutes et particulaires, minérales et organiques du phosphore. Ces éléments sont peu mobiles et se fixent aux sédiments. Une énergie inhabituelle est nécessaire pour qu'ils se déplacent, que ce soit lors de travaux des sols ou lors de fortes précipitations. De manière naturelle, selon Canton (2009, p33) « *L'essentiel des flux de phosphore entre les différents réservoirs se fait par voie hydrologique, et essentiellement sous forme particulaire* » lors de phénomènes érosifs. D'autres auteurs insistent sur l'importance de la part dissoute du phosphore dans le transport. Selon Castillon (2005), seuls 10% du phosphore apporté pour l'agriculture sont utilisés par les cultures. « *Les 90% restant sont fixés sur la phase solide du sol dont ils contribuent à entretenir la réserve de P biodisponible* » (2005, p154). De plus, « *seul le phosphore en solution dans l'eau du sol peut être prélevé par les racines des plantes, soit moins de 0,5 % du phosphore total* » (Commissariat Général au Développement Durable,

² EUNIS : European Nature Information System.

2009, p1). Une vaste partie du phosphore reste donc présent dans le milieu sous plusieurs formes pouvant être dégradées et mobilisées par les plantes.

Le phosphore est considéré comme étant l'élément limitant le développement végétal dans les milieux aquatiques (non marins). Sa présence dans les cours d'eau et son arrivée dans les lacs sont surveillées pour éviter des changements du biotope en particulier les fortes croissances végétales et leurs conséquences. « *Cependant, des études récentes suggèrent que l'azote a été le nutriment limitant des eaux douces dans de nombreux cas quand les apports atmosphériques étaient faibles (inférieurs à environ 4 kg N/ha/an) au-dessus des bassins versants* » (Le Gall, 2008, p15).

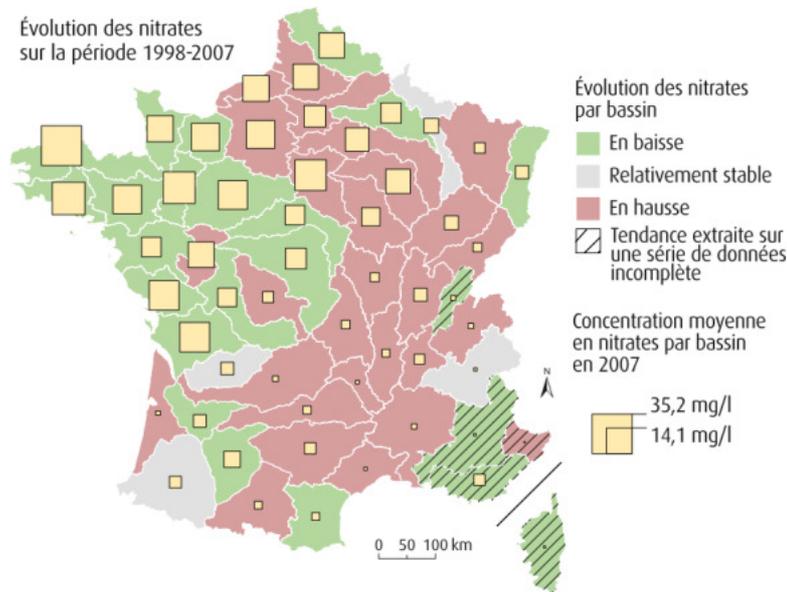
Selon le groupe HEMISPHERES reprenant les données du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (au Canada), la valeur recommandée en phosphore total est « *de 20 µg/l [0,02 mg/l] pour la protection de la vie aquatique dans les lacs* » (2008, p16).

<p>Les nutriments azotés et phosphorés sont naturellement présents sous plusieurs formes. En cas de trop fortes concentrations, les risques de modifier les équilibres naturels croissent.</p>

2. La place des nutriments

Les nutriments sont consommés par les végétaux pour se développer. Dans de nombreux écosystèmes, l'azote est l'élément limitant la croissance végétale. Dans les zones humides et lacustres, le phosphore est considéré comme ayant ce rôle de régulateur. Les plantes s'adaptent alors à leur présence réduite si bien que seules certaines espèces peuvent survivre dans des environnements pauvres tandis que d'autres disparaissent. Des apports massifs d'intrants facilitent la croissance végétale. Leurs excès faussent la compétition inter-espèce : par ces mêmes apports, d'autres végétaux indésirables peuvent proliférer jusqu'à transformer le milieu.

Une situation très contrastée prend place en France dans l'utilisation des nutriments. Les concentrations en nitrates (Figure 3) sont les plus fortes sur un large quart Nord-ouest allant de la Charente-Maritime à la Meurthe-et-Moselle. L'autre partie du territoire connaît des teneurs plus faibles, mais pour la majorité en augmentation sur les 10 années de comparaison.

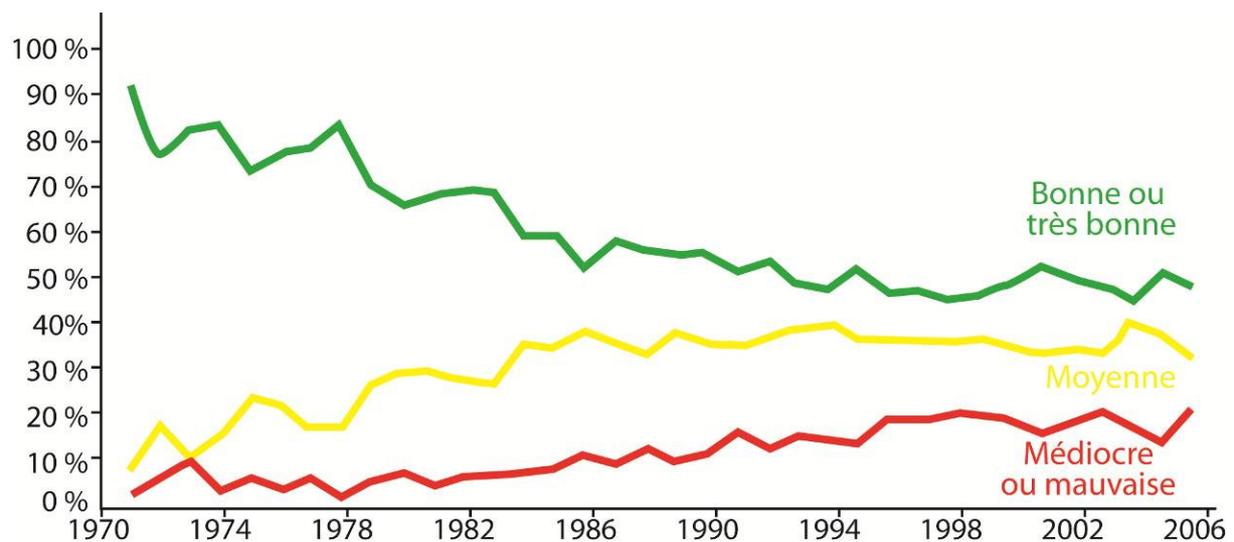


Source : agences de l'Eau – MEEDDM, traitements SOeS, 2009.

Figure 3 : L'évolution des nitrates en France de 1998 à 2007

La façade littorale de l'Aquitaine se situe dans cette tendance, avec de très faibles concentrations moyennes en nitrates mais une tendance à la hausse (bien qu'elle ne soit pas ici quantifiée). La collaboration entre les acteurs locaux peut d'autant mieux fonctionner si elle se fait de manière préventive, avant que l'installation d'activités émettrices ne restreigne les possibilités d'action des collectivités locales.

Si l'approche n'est guère précise dans le cadre de notre étude des lacs médocains, elle permet de mettre en relief les pollutions en nitrates face aux excès dans certaines zones du pays. En effet, le nitrate étant l'un des principaux facteurs déclassant selon l'Agence de l'eau, la tendance est à la perte de qualité des eaux des cours d'eau français :



Classes de qualité (en mg/l de NO_3) : très bonne (<2) ;
bonne (entre 2 et 10) ; moyenne (entre 10 et 25) ;
médiocre (entre 25 et 50) ; mauvaise (>50).

Figure 4 : L'évaluation de la qualité des cours d'eau français (en nitrates)

Source : Agence de l'eau, IFEN.

Depuis 40 ans, la proportion des cours d'eau de bonne et de très bonne qualité est en forte diminution. Ils demeurent encore majoritaires sur le territoire et sont quasi-stables depuis les années 1990. La part des cours d'eaux de qualité médiocre ou mauvaise continue à croître de manière ralentie depuis cette période. Ce sont les cours d'eau à la qualité intermédiaire qui compensent ces évolutions.

Pour le phosphore, quelques régions françaises concentrent des teneurs élevées (Figure 5). En 2001, les apports en phosphore sur les sols de France métropolitaine étaient évalués à 775 000 tonnes « sous forme d'engrais minéraux (environ 50%), de déjections animales (environ 40%), d'effluents domestiques ou industriels (environ 10%) » (GIS Sol, 2011, p83).

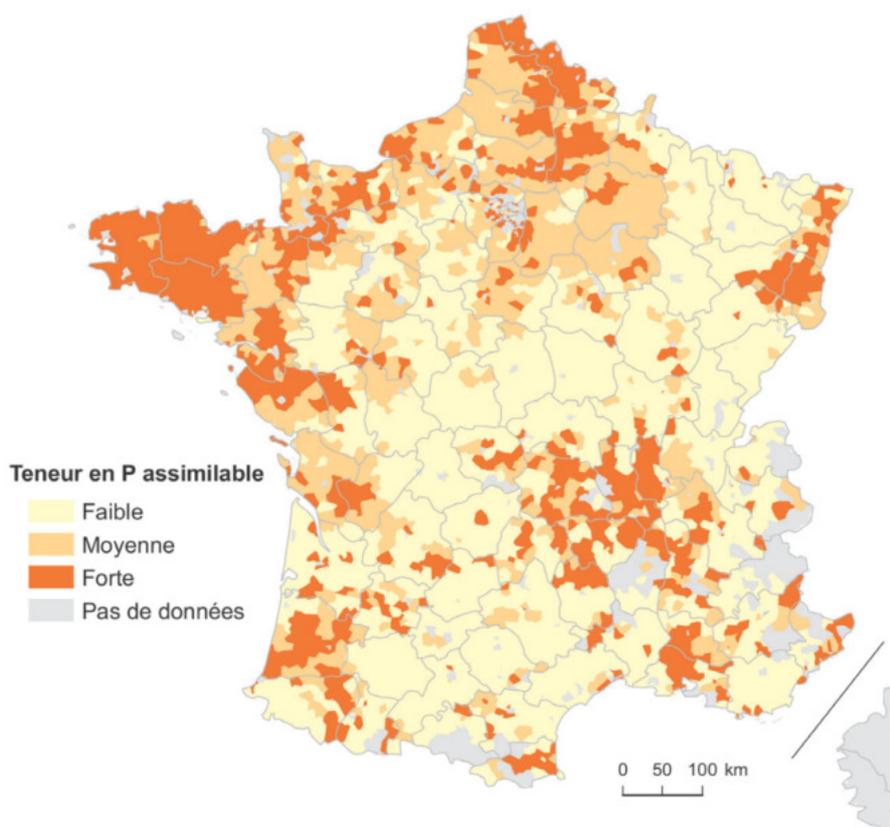


Figure 5 : Les teneurs en phosphore assimilable des horizons de surface des sols agricoles de France par canton

Source : Gis Sol, BDAT, 2011 ; IGN, Geofla®, 2006.

Outre l'installation de stations d'épuration traitant les rejets urbains ou l'interdiction des lessives phosphatées, les pratiques agricoles ont également évolué. Sur le pays, les livraisons d'engrais phosphatés ont diminué de deux tiers entre 1972 et 2008 :

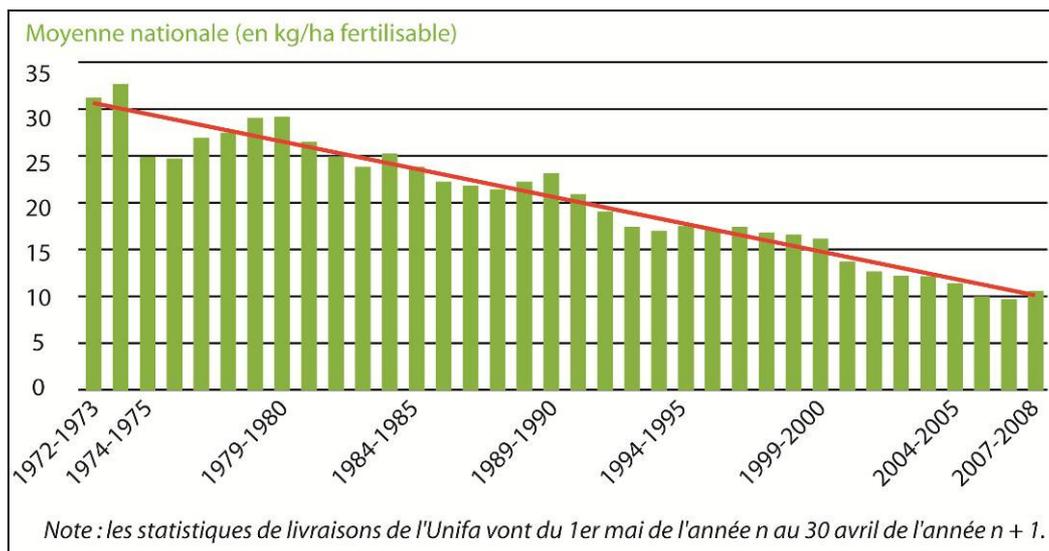


Figure 6 : Les livraisons d'engrais phosphatés en France entre 1972 et 2008

Source : Unifa, 2008, traitement SOeS, 2009.

Malgré cela, certaines régions continuent à accumuler le phosphore agricole dans ses sols. L'Aquitaine en fait partie tout comme la Bretagne, les Pays de la Loire et la Champagne-Ardenne.

Les excès de phosphore sont transportés vers les zones humides sous formes dissoutes ou particulaires lors de phases érosives. « Selon une estimation, 9 % du phosphore apporté serait rejeté en moyenne dans les eaux chaque année : la moitié d'origine agricole et l'autre d'origine urbaine ou industrielle », soit des « transferts vers les eaux de surface [qui] sont de l'ordre de 0,1 à 2,5 kg/ha/an selon le type d'occupation du sol » (Commissariat Général au Développement Durable, 2009, p2).

D'après la carte précédente (Figure 5), le Médoc connaît de faibles teneurs en phosphore si bien que des apports réguliers sont nécessaires aux cultures. En comparaison aux données nationales, sans doute les transferts de phosphore se situent-ils dans la limite basse énoncée par le Commissariat Général au Développement Durable.

A la lumière du fonctionnement national, le Médoc paraît préservé quant à la présence des nutriments et leurs effets. Ainsi garder une bonne qualité des eaux paraît-il plus facilement réalisable. Agir en amont permet de limiter les apports chroniques et diffus en refusant, en choisissant ou en équipant certaines activités émettrices. A l'inverse, l'action curative est plus difficile à mettre en œuvre à cause de l'installation déjà effective des sources de pollution (à repérer et à évaluer), des mises aux normes coûteuses, des enjeux économiques déjà en place et des échéances d'action plus longues notamment par la présence tamponnée des polluants dans le milieu (même après l'arrêt des émissions d'intrants).

L'identification en amont des flux d'intrants pourrait permettre de préserver certains écosystèmes fragiles. Leur suivi est essentiel. Pour cela, l'Agence de l'eau a mis en place les seuils de qualité :

(mg/l)	Très bonne	Bonne	Passable	Mau vaise	Très mau vaise
Phosphore	< 0,05	De 0,05 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1
Nitrates	< 2	De 2 à 10	De 10 à 25	De 25 à 50	> 50

Tableau 7 : Classification SEQ-EAU par paramètres

Source : Agence de l'eau.

Ces seuils font référence en France et ont été complétés par la classification européenne de la Directive Cadre sur l'Eau sur les cours d'eau. Ils permettent aussi de quantifier plusieurs types d'intrants dont ceux considérés pour cette étude :

(mg/l)	Très bonne	Bonne	Moyen	Médiocre	Mauvais
Phosphates	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	> 2
Phosphore	< 0,05	0,05 à 0,2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	> 1
Nitrates	< 10	10 à 50	A établir	A établir	A établir
Oxygène dissous	< 8	8 à 6	6 à 4	4 à 3	> 3

Tableau 8 : Classification DCE Cours d'eau par paramètres

Source : MEEDDAT, 2009.

Cette typologie apporte des précisions sur les variations des phosphates dans les cours d'eau. Les seuils de phosphore sont les mêmes que ceux établis par SEQ-EAU. Toutefois, les bornes choisies pour les nitrates paraissent être en complète incohérence face à SEQ-EAU et face aux normes habituellement établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (substance décrite comme « *comportant un risque pour la santé* » et au seuil de « *concentration maximale admissible* » de 45 mg/l pour l'eau de boisson), en France (seuil d'alerte aux populations de 25 mg/l et seuil de potabilité à 50 mg/l), en Europe ou aux Etats-Unis (25 mg/l).

La DCE propose également une classification pour les plans d'eau. Elle présente les maxima pour certains éléments. Les critères retenus sont beaucoup plus stricts que pour les cours d'eau :

(mg/l)	Très bonne	Bonne	Moyen	Médiocre	Mauvais
Phosphates max.	< 0,01	0,01 à 0,02	0,02 à 0,03	0,03 à 0,05	> 0,05
Phosphore total max.	< 0,015	0,015 à 0,03	0,03 à 0,06	0,06 à 0,1	> 0,1
Azote minéral max. (Nitrates + Ammonium)	< 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 1	1 à 2	> 2
Transparence (moyenne estivale)	> 5 m	5 à 3,5 m	3,5 à 2 m	2 à 0,8 m	< 0,8 m

Tableau 9 : Classification DCE Plans d'eau par paramètres

Source : MEEDDAT, 2009

En fonction de ces seuils, la qualification de l'état des cours d'eau et des plans d'eau est possible. Des objectifs d'amélioration des qualités peuvent être menés à moyen terme.

D'après les données d'échelle nationale, la présence de nutriments azotés et phosphorés dans le Médoc paraît réduite. La zone se situe dans la partie basse des émissions de nutriments constatées sur le pays.

Des critères d'analyse locale peuvent permettre de surveiller la qualité des eaux.

Les signes d'eutrophisation des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau, indiqués précédemment, suggèrent une causalité qu'il faut déterminer pour comprendre leurs

évolutions. La relation entre l'eutrophisation des lacs et un excès de nutriments, l'une de ses causes possibles, n'est pas établie par ces données.

3. L'eutrophisation des lacs

L'évolution des quantités de nutriments dans les eaux transforme le fonctionnement et l'état d'un lac ou d'un plan d'eau.

« Une théorie scientifique répandue explique que les lacs seraient soumis à un phénomène naturel de vieillissement (voir Moss, 1980); évoluant d'un lac profond avec une eau claire et bien oxygénée en profondeur (dit oligotrophe) à un lac peu profond, riche en nutriments et au fond peu oxygéné ou totalement non-stratifié (dit eutrophe). Or, les avancées en paléolimnologie démontrent qu'un lac peut évoluer dans les deux sens, à des époques différentes de sa vie. Il existe des lacs s'eutrophisant et d'autres s'oligotrophisant (Moss, 1980). »
(McMeekin, 2009, p24).

De telles modifications peuvent se faire sur le temps long de manière naturelle dans les deux sens, mais elles peuvent également être favorisées par des apports extérieurs : un déséquilibre apparaît d'autant mieux qu'il est rapide et perturbateur pour la flore et la faune. Des surplus d'azote et de phosphore contribuent à déclencher brutalement la transformation des lacs par une eutrophisation d'origine anthropique. **Lorsqu'une masse d'eau est touchée par l'eutrophisation, « les interventions humaines visant à renverser cette tendance ont eu peu de succès à court terme, particulièrement pour les lacs peu profonds (Sondergaard et al., 2003) » (McKeelin, 2009, p24).** Les difficultés à revenir à un état antérieur ne peuvent qu'encourager à prévenir les processus d'eutrophisation surtout dans des lacs médocains eux-mêmes peu profonds, à faible stratification thermique et à l'oxygénation limitée.

L'abondance des nutriments est la première cause d'une eutrophisation accélérée des milieux. Le phosphore a longtemps été considéré comme l'élément favorisant ce processus en eau douce. Aujourd'hui, la place de l'azote a été réévaluée et cet élément pourrait intervenir dans certains cas (Le Gall, 2008). D'autres paramètres (le pH, la température, la lumière, la turbulence, la profondeur ou la morphologie) peuvent aggraver ou limiter les effets de leur présence.

Les phytoplanctons, parmi les premiers constituants des chaînes trophiques, sont sensibles à la surreprésentation des nutriments. Ils ont souvent servi de témoins pour étudier le développement de l'eutrophisation (Carvalho L. et al., 2006, Cellamare, 2009). Leur *« vitesse de réponse permet aussi le repérage rapide de certains types de nuisances (turbidité, efflorescences des cyanobactéries toxiques) par les utilisateurs et les gestionnaires »* (Cellamare, 2009, p28).

Avant cela, plusieurs étapes expliquent l'eutrophisation. Les nutriments ne limitent plus la croissance végétale. Ce *bloom* accroît la présence de végétaux jusqu'à limiter la pénétration de la lumière, nécessaire à la photosynthèse. Cette forte concentration d'oxygène sert d'abord à la dégradation des plantes et des organismes morts par des bactéries aérobies. En journée, le renouvellement de l'oxygène est contraint par ce manque de lumière si bien que la diminution puis le manque d'oxygène freinent la disparition des éléments morts. Ceux-ci s'accumulent et sédimentent. En outre, la nuit, l'arrêt de la photosynthèse stoppe la production d'oxygène ce qui peut déjà poser problème en cas de fortes concentrations végétales. Les eaux profondes deviennent en dette d'oxygène, anoxiques, asphyxiques, *« aussi impropres à créer la vie qu'à désagréger la mort. Elles se chargent progressivement de produits phosphorés et d'intermédiaires azotés et constituent un milieu de fermentation anaérobie nauséabonde et dangereuse dont le pouvoir épurateur tend vers l'épuisement »*

(Rullière, Ferrand, Janet, Ceccon, 1972, p80). Ces effets sont d'autant plus rapides dans les zones peu profondes. Seules les espèces les plus résistantes s'adaptent à ces conditions. De nouvelles bactéries peuvent apparaître.

Pour rester dans une logique de simplification des processus, il est possible de différencier quelques effets directs de l'eutrophisation :

- Diminution de la faune et de la flore endémiques : morts de poissons et baisse de la biodiversité ;
- Primauté d'espèces les plus résistantes, même des espèces allochtones ;
- Transformations visuelles et olfactives des plans d'eau ;
- Développement de bactéries, telles que les cyanobactéries, potentiellement toxiques ;
- Cercle vicieux et accélération de l'eutrophisation ;
- Comblement de la zone d'eau.

Les enjeux de l'eutrophisation vont au-delà de la simple préservation écologique et touchent aux aspects socio-économiques. Pour anticiper ces phénomènes, il est important d'agir en amont en comprenant le fonctionnement du bassin versant. En effet, **plusieurs sources scientifiques notent les difficultés à contrer ces processus une fois qu'ils sont engagés.** Les apports en nutriments doivent alors être fortement réduits par rapport à un fonctionnement normal des systèmes. Leur suivi et leur quantification paraissent indispensables pour éviter les engrenages de l'eutrophisation.

Les effets de l'eutrophisation transforment les masses d'eau et modifient leurs conditions d'utilisation. Les impacts sont écologiques, sociaux et économiques. Afin de qualifier les risques d'eutrophisation sur le bassin versant des lacs médocains et à partir des connaissances physiques des milieux, un suivi de terrain des nutriments paraît nécessaire.

II. LES CONNAISSANCES SUR LE MILIEU : ETUDES LOCALES ET COMPAREES

Plusieurs études ont été menées sur la qualité des eaux des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau, ainsi que sur leur bassin versant. Les travaux sur les deux lacs font souvent partie d'études de comparaison de plusieurs lacs régionaux. Ils sont présentés ici pour rappeler leur état et les enjeux qu'ils subissent en rapport direct avec leur bassin versant.

Auteur	Période de suivi	Nombre de prélèvements	Périodicité	Paramètres suivis	Principaux résultats
CTGREF, 1974	Fin 1971 à juin 1974	36 sites (80 points) sur 15 campagnes	Non précisée	25 paramètres physico-chimiques	Etat des lieux sur les lacs de Cazaux-Sanguinet, Parentis-Biscarosse, Lacanau et Carcans-Hourtin Bonne qualité globale
CTGREF, 1979	Juin 1975 à avril 1978	5 sites par lac ; 6 crastes sur le BV de Carcans-Hourtin en 9 campagnes ; 4 sur le BV de Lacanau en 7 campagnes	Tous les 4 mois	25 paramètres physico-chimiques	Détérioration de l'état des deux lacs ; Conseil d'une politique de protection des lacs contre les apports de substances nutritives
Agence de l'eau, CEMAGREF	1980 - 2010	1 par campagne	-	Transparence, pH, conductivité, nitrates, azote total minéral, orthophosphates, phosphore total	Amélioration globale de la qualité des eaux
Beuffe, Laplana, 1992	Mai 1990 à décembre 1991	4 sites sur 24 campagnes (interruption l'été) 3 campagnes pour le lac	Bimensuelle Juin, août 1990, janvier 1991	Température, oxygène, pH, conductivité, matière en suspension, oxydabilité, formes d'azote et de phosphore, transparence	Evaluation de la charge spécifique des bassins versants : - mixte = 19kg N/ha/an - forestier = 1kg N/ha/an
Lavie, 2004	Décembre 2003 à avril 2004	18 sites sur 12 campagnes de prélèvements	Bimensuelle	Température, conductivité, nitrates, phosphates	Confirmation des distinctions entre BV mixte et forêt
Asconit, SIAEBVELG, 2004	Avril à octobre 2004	2 sites pour les lacs et 8 crastes sur 4 campagnes	Variable	Transparence, pH, conductivité, oxygène dissous, azote total minéral, orthophosphates, phosphore total, chlorophylles <i>a</i> , pesticides	Temporalité des flux : remise en eau en automne avec forts transports de nutriments
Besson, Chassignol, Montaufier, 2006	Février et mars 2006	14 sites sur 1 campagne 15 sites sur 2 campagnes de mesures des débits	Ponctuelle	Sodium, potassium, magnésium, calcium, chlorure, nitrates, sulfate... Mesures de débits	Etalonnage des débits en fonction de la station Matouse
Aqua Conseils, SIAEBVELG, 2007	Juin 2007	4 sites sur 1 campagne	Ponctuelle	Température, pH, conductivité, matière en suspension, formes d'azote et de phosphore	
Cellamare, 2009	2006 à 2007	7 campagnes 3 sites par lac par campagne	Trimestrielle (1 campagne par saison)	Phosphore total, chlorophylle <i>a</i> , transparence, pH, oxygène, orthophosphates, nitrates, azote total, silice, carbone organique dissous, phytoplancton, Phytobenthos, macrophytes	Cause physique dans la dégradation et le développement de cyanobactéries exogènes

Tableau 10 : Inventaire des suivis de la qualité des eaux

Ce suivi des lacs et des crastes permet de dresser un état des lieux de la qualité des eaux (sur la base des classifications DCE et SEQ-eau) en recoupant et en comparant les principaux résultats.

A. Les études sur les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau

La présence des nutriments sur la zone est recherchée depuis les années 1970. L'**étude du CTGREF en 1974** présente une conductivité de l'ordre de 150 à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Carcans-Hourtin et Lacanau. Elle indique aussi une diminution de la présence des nitrates, polyphosphates et phosphore total de 1971 à 1974. Les niveaux sont faibles, voire à la limite de la détection pour les polyphosphates alors qu'ils étaient un indicateur de pollution en 1971 (0,5 à 1 mg/l). De plus, « *le tonnage annuel de nitrates et phosphates en solution sortant de chaque étang est inférieur à celui qui y entre* » (1974, p23).

Concernant les paramètres biologiques, l'étang de Carcans-Hourtin « *montre une biomasse végétale supérieure à celle de Parentis et Lacanau, mais son dynamisme est nettement inférieur à celui des biomasses de Lacanau et Parentis* » (1974, p43). Les auteurs conseillent une surveillance de ces plans d'eau. Cette biomasse utilise une partie des sels nutritifs disponibles. Les contaminations biologiques ont lieu durant les périodes estivales et de précipitations.

Dans la continuité, le **CTGREF** publie en **1979** un bilan sur l'évolution des lacs. Une dégradation de la qualité physico-chimique des eaux des lacs de Carcans-Hourtin et Lacanau est constatée. Leur charge en matières en suspension est forte si bien que la pénétration lumineuse y est faible et que la mesure au disque de Secchi indique une transparence de 0,50 m pour les deux lacs. Leur niveau trophique s'accroît également. Pour les auteurs, « *l'évolution de l'étang de Lacanau est préoccupante [... et ...] il convient donc de mener une politique de protection de cet étang contre les apports de substances nutritives* » (1979, p151).

Les résultats disponibles, datant des années 1980, montrent que les apports d'azote dans le lac de Carcans-Hourtin et de phosphore dans le lac de Lacanau sont significatifs (Tableau 11).

Plan d'eau	Apport annuel par les tributaires en t/an		Soit une charge du plan d'eau en kg/ha/an	
	N Total	P Total	N Total	P Total
Hourtin-Carcans	13,7	6,31	2,2	1,1
Lacanau	3,71	10,43	1,85	15,2

Tableau 11 : Apports et charges des étangs

D'après CEMAGREF, 1986 in Giraux, 1999.

La charge en phosphore total paraît même démesurée pour ce dernier, le calcul par surface étant à son désavantage.

L'étude de **2000** sur les impacts du motonautisme sur le lac de Carcans-Hourtin, par **Mathieu Torre** pour le CEMAGREF, confirme la présence du phosphore total et du phosphate :

	Unité	Automne 1998	Saison 1999	Canal 1999
pH		7,70	7,98	7,79
Conductivité	µS/cm	280	292	304
Température	°C	15,4	23	22,9
PO ₄	mg/l	0,022	0,034	0,035
PTotal	mg/l	0,085	0,087	0,097
NO ₃	mg/l	0,47	0,64	0,71
NO ₂	mg/l	0,003	0,033	0,034
NH ₄	mg/l	0,051	0,066	0,074
NKJ	mg/l	-	1,408	1,414
NOrg	mg/l	1,232	1,358	1,371
NMin	mg/l	0,147	0,197	0,221

Tableau 12 : Valeurs moyennes de la qualité des eaux des zones de la Pointe Blanche et de la Conche de la Gemme, et du Canal

Source : Torre, 2000, p22.

Leurs teneurs pénalisent une qualité des eaux médiocres selon les valeurs actuellement reconnues par la DCE Plans d'eau. Les nitrates et l'azote minéral ne dégradent pas les eaux du lac.

La compilation des données recueillies sur le lac de Carcans-Hourtin par **l'Agence de l'eau, le CEMAGREF et Asconit** (Annexe 1) met en avant l'amélioration de la qualité globale des présences en nutriments, selon la grille en place par la DCE Plans d'eau (Tableau 9). Les nitrates ne dégradent pas la qualité des eaux sur la période mesurée (sauf un pic en 1981), de même que l'azote minéral total qui a connu quelques évolutions passant de « très bonne » à « bonne » qualité (en 1999 et en 2004). La place des phosphates a largement baissé, les eaux étant qualifiées de « mauvaise » en 1990 jusqu'à « bonne » aujourd'hui. Le développement des réseaux de collecte des eaux usées et l'installation de stations d'épuration sur la zone a pu contribuer à cette amélioration. Le phosphore total a établi un pic en 1999 avant d'être fortement limité aujourd'hui (qualité « très bonne »).

Dans ce contexte, la conductivité demeure en hausse constante sur la période (de 185 µS/cm en 1980 à 350 µS/cm fin 2010). La présence d'éléments dissous dans les eaux du lac ne concorde pas avec les concentrations de nutriments. Sans doute d'autres éléments sont-ils à déceler, tels que les chlorures et les sulfates.

Les mesures sont plus ponctuelles pour le lac de Lacanau (s'échelonnant globalement de 1980 à 1992 puis de 2005 à 2010, Annexe 2) et elles s'inscrivent dans des tendances équivalentes. Les concentrations en nitrates sont restées basses tout au long de la période comme pour l'azote minéral total. Les teneurs en phosphates sont plus hautes que sur le lac de Carcans-Hourtin au début des années 1980, les eaux étant « mauvaises ». Aujourd'hui, elles sont de « très bonne » qualité. L'ensemble des autres indicateurs s'améliore sur la période. La conductivité s'accroît signifiant la présence d'autres éléments non recherchés.

Sur le moyen terme, la qualité des eaux des lacs a évolué positivement. Selon cette tendance, les résultats des variations interannuelles ne sont guère significatifs. Les travaux d'**Asconit Consultants pour le compte du SIAEBVELG** donnent quelques indications pour l'année **2004** (Tableau 13). La conductivité s'accroît tout au long de l'année dans les deux systèmes. Le pH atteint son pic durant l'été, sans doute en raison d'apports en eaux extérieures plus faibles et par un travail photosynthétique plus fort. Les concentrations en azote minéral total sont plus élevées dans le lac de Lacanau. Elles dégradent peu la qualité des

eaux du lac. Dans le lac de Carcans-Hourtin, un seuil de détection semble être atteint sur la majorité des relevés (0,15 mg/l). De même, de tels seuils paraissent limiter la précision des teneurs en orthophosphates et en phosphore total. La mesure de la transparence est le principal facteur dégradant sur les deux lacs, en particulier pour celui de Carcans-Hourtin.

		Lac de Carcans-Hourtin				
Paramètres	Unité	8 avril	15 juin	18 août	25 octobre	Moyenne
Température	°C	12,4	22	23,5	16,2	18,5
pH	Unité pH	7,6	7,8	8	7,6	7,75
Conductivité	µS/cm	277	284	302	310	293
O2 dissous	Mg/l	10,5	8	7,5	9,4	8,84
% de saturation	%	98,7	90,8	89,3	95,9	93,7
N. min. total	Mg/l	0,31	0,15	0,15	0,15	0,19
Orthophosphates	Mg/l	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
P. total	Mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Chlorophylles a	µS/l	nd	2,5	2,5	18	7,7
Pesticides	µS/l	0	nd	nd	nd	nd
Disque de Secchi	m	0,7	0,5	0,55	0,5	0,56
		Lac de Lacanau				
Température	°C	13,2	23,3	23,7	18,1	19,6
pH	Unité pH	6,9	7,1	7,4	6,8	7,1
Conductivité	µS/cm	218	222	240	241	230
O2 dissous	Mg/l	10,1	7,7	7,3	9,9	8,7
% de saturation	%	95,7	88,5	86,1	103,2	93,4
N. min. total	Mg/l	0,36	0,24	0,19	0,16	0,24
Orthophosphates	Mg/l	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
P. total	Mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Chlorophylles a	µS/l	nd	2,5	2,5	6	3,6
Pesticides	µS/l	0	nd	nd	nd	nd
Disque de Secchi	m	0,85	0,8	0,95	0,95	0,89

Tableau 13 : Suivi des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau en 2004³

Source : SIAEBVELG, Asconit, 2004.

Les derniers résultats disponibles confirment les problèmes de transparence et les constats d'eutrophisation des lacs. Les caractères physiques sont selon **Cellamare (2009)** d'importance pour comprendre les phénomènes d'eutrophisation spécifiques aux deux lacs : ils favorisent le développement de phytoplanctons d'origine exogène (cyanobactéries exotiques). Ces organismes résistent mieux aux conditions de turbidité et à la température des lacs. De plus, ils assimilent facilement les nutriments. Leur prolifération depuis plusieurs années semble corrélée avec une adaptation croissante au milieu, une adaptation que subissent les phytoplanctons autochtones : « ces espèces exotiques peuvent altérer la structure et le fonctionnement des systèmes aquatiques. De plus, certaines de ces algues pourraient être responsables de la formation d'écumes observées dans les lacs aquitains dans les dernières années, particulièrement dans la rive Est des lacs de Lacanau et Hourtin » (Cellamare, 2009, p183). Aujourd'hui, ces cyanobactéries ne sont pas considérées comme des espèces invasives et ne sont pas toxiques. L'auteure considère que « le phytoplancton est un indicateur essentiel de la qualité de l'eau dans la zone limnétique, ainsi que dans les lacs où les plantes submergées sont absentes » (p289).

Selon l'auteure :

« le pH est une variable-clé car il diminue avec l'acidification et augmente souvent avec l'eutrophisation (Moss et al., 2003) » et « L'oxygène influence ou est impliqué

³ Le code couleur original a été conservé.

dans tous les processus chimiques et biologiques dans les plans d'eau. Des concentrations inférieures à 5 mg/l peuvent compromettre le fonctionnement et la survie des communautés biologiques et au-dessous de 2 mg/l peuvent mener, par exemple, à la mort de la plupart des poissons. La mesure de ce paramètre peut être employée pour indiquer le degré de pollution par la matière organique, la destruction des substances organiques et le niveau de purification de l'eau (Chapman et Kimstach, 1996) » (2009, p65-66).

Appliqué aux deux lacs, la faiblesse de l'oxygène disponible en profondeur et le manque de luminosité pénalisent le développement des écosystèmes. De plus, les eaux deviennent basiques durant les périodes de réchauffement. Le constat est beaucoup plus marqué dans le lac de Carcans-Hourtin jusqu'à atteindre un pH de 9,2 en août contre 7,4 en janvier. Les faibles apports en eau du bassin versant (des eaux plus acides) l'évaporation estivale et le renouvellement des eaux lacustres expliquent en partie cette variation. Les phénomènes de photosynthèse favorisent également ce changement. Causes et/ou conséquences de l'évolution interne des lacs, ces paramètres sont des indices de l'eutrophisation des lacs.

Les constats des évolutions sur le moyen terme, sur les variations dans l'année et sur les dernières tendances laissent envisager une présence plus faible en nutriments dans les lacs. Toutefois une fois les effets de l'eutrophisation engagés, ils sont bien difficiles à juguler malgré des efforts importants.

De plus, les études menées sur les crastes de leurs bassins versants indiquent des flux et des charges spécifiques susceptibles d'accentuer les problèmes physiques dans les lacs.

B. Les études sur les bassins-versants des lacs médocains

Diverses campagnes d'études ont été menées sur les crastes. **Le CTGREF en 1974** a évalué les flux en nitrates et orthophosphates :

	Volumes annuels 10 ⁶ m ³	NO ₃		PO ₄	
		Teneur moyenne	Tonnage par an	Teneur moyenne	Tonnage par an
1- Matouse	1,7	0,36	0,6	0,39	0,7
2- Lupian	18	1,95	35,1	0,24	4,3
3- Garroueyre	8,2	1,2	9,8	0,18	1,5
4- Pipeyrous	0,84	0,84	3,9	0,33	1,5
5- Queyfi ve	9	0,49	4,4	0,16	1,4
6- Gd Lambrusse	18,4	0,38	7	0,29	5,3
Total	60		60,8		14,7
7- Canal Etangs	40,4	0,2	8,1	0,12	4,9
1- Canal Etangs	45	0,15	6,9	0,28	12,6
2- Pont des tables	14,1	0,22	3,1	0,15	2,1
3- Planquehaute	2,8	0,2	0,6	0,16	0,5
4- Berle	27,9	0,15	4,1	0,15	4,2
5- Caupos	28,5	0,06	1,8	0,17	4,9
Total	118,3		16,5		24,3
Exutoire	113,2	0,18	20,2	0,18	20,4

Tableau 14 : Apports des crastes des bassins versants de Carcans-Hourtin et de Lacanau
D'après CTGREF, 1974.

La moyenne des apports en nitrates est mesurée à 257 kg/km²/an contre 57 kg/km²/an de phosphates. La Garroueyre apporte le plus de ces deux nutriments (respectivement 653 et 100 kg/km²/an, soit 6,53 kg/ha/an et 1 kg/ha/an) par rapport à la superficie de son bassin versant. Les auteurs remarquent en outre que les flux de phosphates le long du canal des étangs augmentent de manière « *difficilement explicable* » (p35). Les sources de phosphore sont à préciser, et sont peut-être en provenance du bassin versant du Marais de Talaris.

En 1979, le CTGREF indique une hausse des conductivités (de 185 µS/cm en 1972-1974 à 225 en 1976-1978 pour le bassin versant du lac de Carcans-Hourtin, contre 147 µS/cm à 174 pour le bassin versant du lac de Lacanau). Cette augmentation est attribuée à une hausse des chlorures et sodiums. Les phosphates sont en baisse sur les deux bassins versants (en moyenne de 0,29 à 0,05 mg/l pour Carcans-Hourtin et de 0,19 mg/l à des traces pour Lacanau) tandis que les nitrates augmentent (de 0,93 mg/l à 3,77 pour Carcans-Hourtin et de 0,13 à 0,71 pour Lacanau).

Les travaux du CEMAGREF menés par Beuffé et Laplana (1992) servent de référence grâce à des résultats précis et réutilisables. Le suivi de 4 crastes, 2 ayant un bassin forestier, la Matouse et la Queytive, et 2 sur des bassins versants mixtes (agricoles et forestiers), la Garroueyre et le Lambrusse, a mis en évidence des différences dans les apports.

	Nitrates	Orthophosphates	Phosphore total
Matouse	0,28	0,007	0,030
Queytive	0,84	0,007	0,030
Garroueyre	4,8	0,20	0,050
Lambrusse	1,5	0,20	0,050

Tableau 15 : Concentrations moyennes (mg/l)

Source : Beuffé, Laplana, 1992.

Les concentrations moyennes sont faibles sur ces crastes en comparaison avec les apports moyens sur le reste du bassin Adour-Garonne. Des écarts apparaissent entre les bassins versants mixtes et forestiers. Ces derniers ont été considérés comme des bassins versants témoins en raison d'une mise en valeur humaine moindre. La qualité des eaux y est « très bonne » contre principalement « bonne » sur les bassins versants mixtes.

Croisées aux débits et à l'occupation du sol de chaque bassin versant, ces données permettent d'évaluer la charge spécifique des crastes :

	Nitrates Forêt	Nitrates Maïs	Phosphore total Forêt	Phosphore total Mixte
Matouse	0,3		0,03	
Queytive	1,7		0,05	
Garroueyre		18,6	0,04	0,024
Lambrusse		18,1	0,1	0,5

Tableau 16 : Pertes en nutriments en fonction de l'occupation du sol (kg/ha/an)

Source : Beuffé, Laplana, 1992.

Les charges en nitrates et en azote des bassins versants mixtes sont évaluées à 19 kg/ha/an contre 1 kg/ha/an pour les bassins versants forestiers. La « *présence significative de la maïsiculture* » (1992, p25) semble expliquer cet écart. La différence entre la Matouse et la Queytive se comprendrait par une pluviométrie plus forte sur cette dernière ce qui entraînerait un assainissement et un drainage favorable au lessivage des nutriments. De plus, « *Les pertes en azote enregistrées entre la parcelle et les exutoires des crastes peuvent s'expliquer par des*

phénomènes physiques (infiltration dans la nappe) ou biologiques (dénitrification bactérienne) » (1992, p37). Un tel phénomène serait à évaluer.

Sur ces crastes, la place du phosphore est limitée notamment à cause d'une faible mobilité de l'élément. Il a été évalué à 0,07 kg/ha/an sur la zone. Les auteurs conditionnent son déplacement « *aux travaux d'aménagement (fossés d'assainissement, pistes forestières, défrichement), à l'action mécanique sur les milieux (coupes rases, curage annuel des fossés, etc), [et] à des phénomènes de nature climatique (érosion éolienne) ou physique (érosion régressive) » (1992, p31) que ce soit sur les zones forestières ou mixtes. Il serait sans doute intéressant de croiser ces apports aux pratiques forestières de l'époque où les périodes de plantation puis les périodes de redynamisation nécessitent des apports en phosphore (voir partie III.B.2. La sylviculture).*

Les bassins versants forestiers jouent également un rôle de retardateur de crue tout en régulant les débits. « *A l'inverse, les BV mixtes réagissent brutalement, à tout épisode pluvieux, avec une période de vidange de la nappe beaucoup plus courte notamment pour la Garroueyre (secteur le plus assaini) » (1992).*

A partir de ces travaux et des limites établies par l'OCDE pour calculer la charge spécifique des lacs, les auteurs indiquent que :

« la charge spécifique en nutriments du lac se situe déjà au-delà de la limite tolérable en azote (sans toutefois dépasser la limite dangereuse) mais qu'heureusement, elle est en-deçà de la limite tolérable en phosphore, premier élément limitant de la croissance algale » et que « compte tenu de ces résultats, il paraît souhaitable de ne pas augmenter le défrichement à but maïsicole sur le BV du lac d'Hourtin-Carcans et de veiller particulièrement à toute élévation de la charge en phosphore en relation avec une éventuelle augmentation de rejets industriels et urbains » (1992, p38).

Vernier, Beuffe et Mestelan (« Impact de l'occupation du sol sur la qualité des eaux de l'écosystème sableux landais », 1999) donnent quelques conclusions intéressantes dans le cas de notre étude sur un secteur au fonctionnement équivalent. Selon eux, les premières précipitations marquées lessivent les nitrates en surface. « *Ce scénario se reproduit autant de fois que de fortes précipitations surviennent. En ce qui concerne le phosphore, les premiers flux importants apparaissent avec un décalage par rapport aux nitrates, à partir du moment où les parcelles sont nues et l'érosion plus intense » (p320). De plus :*

« En terme de spéciation chimique, ce sont essentiellement les nitrates qui caractérisent les flux d'azote minéral produits par le bassin versant mixte ; ils représentent 85% de l'azote total. En ce qui concerne le bassin versant forestier, la forme organique prédomine et représente environ 65% de l'azote total » (p317).

Toutefois, il faut nuancer les apports en azote organique en raison de la relative faiblesse des flux totaux d'azote issus des bassins versants forestiers constatée notamment dans l'étude de 1992.

Par la suite, d'autres campagnes de mesures ont confirmé certains des résultats de Beuffe et Laplana. **Les travaux de Lavie (2004)** ont concerné 18 sites de prélèvement sur 12 campagnes faites entre décembre 2003 et avril 2004.

Site	Moyenne Conductivité ⁴	Moyenne Nitrates	Maximum Nitrates	Moyenne Phosphates	Maximum Phosphates
1- Layres	241	0,14	0,59	0,05	0,11
2- Mayne pauvre	300	2,8	5,43	0,06	0,12
3- Caillava	327	7,2	13,35	0,07	0,22
4- Couture	299	3,99	9,02	0,02	0,08
5- Lupian	304	6,06	12,47	0,02	0,067
6- Lambert	418	8,12	16,87	0,12	0,3
7- Garroueyre	346	13,14	17,45	0,06	0,15
8- Pipeyrous	300	8,24	11,07	0,05	0,11
9- Clos des Ners	219	1,76	1,76	0,03	0,03
10- Queytive	172	3,07	4,25	0,062	0,2
11- Aouba	290	1,19	2,2	0,07	0,12
12- Lignan	217	1,27	2,79	0,1	0,27
13- Neuve	186	3,2	5,43	0,35	0,58
14- Raoussert	178	6	9,83	0,099	0,26
15- Grand Lambrusse	363	11,06	15,99	0,036	0,1
16- Exutoire Lambrusse	209	4,46	8,36	0,07	0,17
17- Etang Lachanau	289	3,82	8,07	0,02	0,07
18- Etang Maubuisson	274	5,1	7,19	0,04	0,11
Moyenne	274	5,03	8,45	0,07	0,17

Tableau 17 : Synthèse des pollutions nitratées et phosphatées sur les sites de prélèvement (mg/l)

Source : Lavie, 2004.

Si les bassins versants forestiers de la Matouse (Mayne pauvre) et de la Queytive ainsi que les bassins versants mixtes de la Garroueyre et du Lambrusse sont identifiables dans ces données, d'autres éléments sont à considérer. En premier lieu, le paramètre de conductivité, lorsqu'il dépasse les 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspond souvent aux crastes subissant des pics de nitrates. La présence de sulfates est aussi remarquée et pourrait justifier cette hausse :

« les apports en nitrates sont assez réguliers ce qui est étonnant quand on regarde la courbe de conductivité qui est plutôt irrégulière. Il existe donc, au sein de ce sous BV-agricole [de la Garroueyre], une autre source : il s'agit certainement de sulfates. Ceux-ci, présents dans le BV en général vers 15 à 20 mg/l et dont l'origine n'est pas prouvée (peut-être est-ce naturel ?), passent à des concentrations supérieures à 40 mg/l dans les sous-bassins versants agricoles (5, 7 et 15), ce qui expliquerait la seconde origine. En effet, on trouve des traces d'éléments sulfatés dans les produits agricoles, en particulier les phytosanitaires. Il y aurait donc un possible rejet irrégulier de sulfates par l'agriculture ce qui expliquerait l'allure hétérogène de la courbe de conductivité alors que les nitrates sont plutôt rejetés de manière homogène » (Lavie, 2004, p85-86).

La qualité des eaux alimentant le lac de Carcans-Hourtin reste « bonne » sur la majorité des crastes.

Ainsi seules cinq crastes restent-elles peu touchées par les apports extérieurs en nutriments. Les autres connaissent une dégradation plus marquée de la qualité des eaux par des maxima

⁴ En $\mu\text{S}/\text{cm}$.

de nitrates voire de phosphates. Elles traversent le plus souvent des zones agricoles. Il est possible de distinguer deux systèmes de confluence (encadrés dans le tableau ci-dessus).

Au Nord, la berle de Caillava apporte presque deux fois plus de nutriments que la berle de Couture. Leur confluence à Lupian traduit une dilution relative des concentrations en nitrates : cette dilution est à pondérer en fonction des débits de chaque affluent. Une forte diminution de la présence en phosphore se précise de l'amont vers l'aval. Dilution, captation, infiltration ou capacité épuratrice de certaines zones humides sont responsables de ces changements.

Au Sud, des phénomènes semblables se remarquent aussi de l'amont vers l'aval. Il est important de noter les rejets en phosphates de la craste Neuve, rejets peut-être liés aux apports de la station d'épuration. Le Grand Lambrusse connaît des flux de nutriments croissants par rapport à 1992.

Entre ces bassins versants, les crastes de Lambert et de Garroueyre connaissent une « réactivité du système au stimulus pluvieux » (2004, p82) avec des pics de lessivage liés aux pluies ponctuelles.

Les travaux d'Asconit Consultants pour le compte du SIAEBVELG sont intéressants puisqu'ils indiquent également des variations au cours de l'année 2004.

	Berle de Caillava				Canal des Etangs			
Paramètres	08/04/04	03/05/04	15/06/04	25/10/04	08/04/04	03/05/04	15/06/04	25/10/04
pH	6,07	6,12	7,5	6,4	7,47	7	6,8	7,5
Conductivité (uS/cm)	384	318	349	485	260	258	280	295
O ₂ (mg/l)	10,21	10,82	7,75	7,78	8,54	6,42	6,2	7,02
Nitrates (mg/l)	6,2	6,1	5,4	31,8	0,05	0,05	0,05	0,05
Phosphates (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Phosphore total (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Berle de Lupian (Lachanau)				Crase de la Levade			
pH	7,45	6,71	7,4	6,3	6,4	7,01	7,68	7,4
Conductivité (uS/cm)	305	309	363	477	174	156	173	172
O ₂ (mg/l)	8,1	6,55	7,3	4,7	9,5	8,09	7,6	9,89
Nitrates (mg/l)	4,4	4	3,9	28,2	0,05	0,05	0,05	0,05
Phosphates (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Phosphore total (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Crase de Lambrusse				Canal du Porge (Batejin)			
pH	6,76	6,5	7,2	6,2	6,75	7,47	6,84	7,34
Conductivité (uS/cm)	234	205	303	314	208	183	279	240
O ₂ (mg/l)	13,01	8,39	5,3	11,06	9,93	7,2	7,14	12,3
Nitrates (mg/l)	5,9	4,4	3,7	1	1	0,05	0,05	0,05
Phosphates (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Phosphore total (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tableau 18 : Suivi de paramètres sur quelques sites

Source : SIAEBVELG, Asconit Consultants, 2004.

Globalement, la qualité des eaux est « très bonne » sur les points présentés ci-dessus. Les apports en nitrates sont supérieurs sur les crastes déjà identifiées, les berles de Caillava, de Lupian et la craste de Lambrusse. Les deux premières connaissent des pics de nitrates en octobre, sans doute lors de la remise en eau des systèmes (qualité « médiocre » des eaux). Cela confirmerait aussi le rôle des drainages lors des premières précipitations.

Ces analyses laissent envisager des problèmes sur les seuils de détection de certains éléments (nitrates, phosphates, phosphore total ; en-dessous de 0,05 mg/l).

Besson, Chassignol et Montaufier (2006) ont mené une campagne de prélèvements sur quelques crastes sur un large panel d'éléments.

Craсте	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CATIONS (mg/l)				ANIONS (mg/l)				BALANCE (M $\acute{e}q/l$)		
		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ⁻	C ⁺	A ⁻	C ⁺ - A ⁻
1 Ex. ⁵ Lambrusse	207	19,16	2,89	4,33	8,79	30,54	0,22	109,32	0,14	1,70	3,15	1,44
5 Serre	245,5	25,47	2,34	4,45	13,22	50,47	0,59	13,37	0,63	2,19	1,73	0,46
6 Queytive	181,5	19,83	1,99	3,98	6,77	36,50	3,03	16,44	0,43	1,58	1,43	0,15
8 Pipeyrous	346	25,09	5,05	10,38	19,07	46,65	12,11	81,25	0,00	3,03	3,20	0,17
9 Aygueyre	250	32,68	1,92	4,78	8,07	56,88	3,72	17,25	0,22	2,27	2,03	0,24
10 Garroueyre	367,5	25,22	4,63	10,57	21,89	44,76	18,67	86,77	0,00	3,18	3,37	0,19
12 Matouse	211	29,08	2,00	4,50	9,36	48,59	1,26	18,13	0,11	2,15	1,77	0,38
13 Louley	233	32,15	1,76	5,55	5,94	58,24	0,51	13,65	0,18	2,20	1,94	0,26
14 Lupian	320	29,42	4,82	9,54	19,20	52,22	15,44	57,01	0,10	3,15	2,91	0,24

Tableau 19 : Etat des lieux du 23 février 2006

Source : Besson, Chassignol, Montaufier, 2006.

La relation entre une conductivité supérieure à 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une présence en nitrates marquée se retrouve ici. La dégradation de la qualité des eaux par les nitrates correspond au bassin versant mixte. Comme supposé précédemment, la hausse de la conductivité ne semble pas corrélée avec la présence de chlorure, tandis qu'elle correspond mieux avec les sulfates (sauf à l'exutoire du Lambrusse). Magnésium et calcium contribuent dans une moindre mesure à la conductivité.

N° de craсте	23/02 craсте/matouse	16/03 craсте/matouse	moyenne rapport
1 Grand Lambrusse	8,44	9,24	8,84
2	0,12	0,12	0,12
3	0,01	-	0,01
4 Craсте Nègre	0,39	0,14	0,26
5 Craсте de la Serre	0,47	0,21	0,34
6 Craсте de la Queytive	4,98	4,76	4,87
7 Berle du Clos des Ners	0,41	0,37	0,39
8 Craсте de Pipeyrous	3,55	4,20	3,88
9 Craсте Aygueyre	0,43	0,39	0,41
10 Berle de la Garouergue	3,36	3,11	3,24
11	0,38	0,31	0,35
12 Matouse aval (Mayne Pauvre)	1,47	1,08	1,28
13 Craсте de Louley	0,95	2,01	1,48
14 Berle de Lupian	3,68	4,04	3,86

Tableau 20 : Coefficients de proportionnalité entre les crastes (C = Q craсте/Q matouse)

Source : Besson, Chassignol, Montaufier, 2006.

Les auteurs ont également effectué des campagnes de mesures de débits des crastes du lac de Carcans-Hourtin et en ont établi un étalonnage fonctionnel en rapport avec la station de

⁵ Exutoire

mesures sur la Matouse (Tableau 20). Ces résultats ont été comparés aux mesures d'Alain Milcent de 1963 sur la berle de Lupian (Annexe 3) et de la DIREN en 1990-1992 sur le Grand Lambrusse et sur la Queytive (Annexe 4). Les écarts entre débits mesurés et débits calculés sont faibles et, lorsqu'ils sont significatifs, semblent minimiser les débits réels. En raison des difficultés à les mesurer de manière continue sur un grand nombre de points, ce travail permettra une évaluation fiable sur une grande partie des crastes.

Dernière série de mesures, les travaux d'Aqua Conseils mandatés par le SIAEB VELG proposent des données de juin 2007 sur 2 crastes tributaires du lac de Lacanau et sur 2 crastes du lac de Carcans-Hourtin déjà analysées en juin 2004 (SIAEB VELG, Asconit, 2004).

Analyses	Unité	Canal de Caupos	Craste de Levade	Craste de Lambrusse	Craste de Climens
Température	°C	17,2	16,6	18,8	20,3
pH	--	7,3	7,3	7,1	6,9
Conductivité	µS/cm	146	154	287	110
Ammonium	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrites	mg/l	< 0,03	0,09	0,03	< 0,03
Nitrates	mg/l	< 1	6	10	< 1
Orthophosphates	mg/l	< 0,05	0,09	< 0,05	< 0,05
Azote Kjeldhal	mg/l	0,6	0,7	0,8	0,9
Phosphore total	mg/l	< 0,25	0,27	< 0,25	< 0,25

Tableau 21 : Résultats des analyses physico-chimiques du 28 juin 2007

Source : SIAEBVELG, Aqua Conseils, 2007.

Le canal de Caupos et la craste de Climens alimentant le lac de Lacanau ont des eaux de « très bonne qualité ». Les crastes de Levade et du Lambrusse sont aussi de « très bonne qualité », sauf dégradation légère en nitrates. Le seuil de détection en phosphore total ne permet pas d'évaluer en-deçà de 0,25 mg/l : peut-être la présence en cet élément est-elle inférieure à ce seuil, confirmant une « très bonne qualité » des eaux.

Les crastes ont connu des pollutions en nutriments remarquables, notamment selon l'étude du CEMAGREF de 1992. Si les tendances sont à la baisse des flux de nutriments dans les bassins versants, les effets d'une pollution antérieure (également constatée sur les lacs) laissent perdurer les phénomènes d'eutrophisation. Une telle situation nécessite, nous l'avons vu plus haut, une réduction drastique des nutriments dans les eaux pour que l'eutrophisation puisse s'arrêter voire reculer.

Des exemples extérieurs mettent en valeur certains effets des éléments azotés et phosphorés dans les milieux. Des comparaisons peuvent être faites si elles sont adaptées au contexte des lacs médocains.

C. Quelques études régionales

Il est intéressant d'ouvrir ce travail bibliographique à d'autres zones proches ou fonctionnant dans des conditions comparables aux lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau et à leurs bassins versants. Une telle approche met en relief la situation médocaine, notamment par rapport aux quantités de nutriments déversées dans d'autres cours d'eau et aussi aux méthodes exploitables pour préciser certaines données manquantes.

Des travaux sur des bras morts de la Garonne puis deux études sur des bassins versants landais serviront de comparaison, avant de se concentrer sur deux autres études sur le Bassin d'Arcachon.

Les travaux de Bengeni, Lim et Belaud sur la « qualité des eaux de trois bras morts de la Garonne » (1992) nous donnent plusieurs indications sur les éléments présents dans les cours d'eau et leurs évolutions. Ainsi les auteurs notent-ils que :

« Les deux périodes printanières de fortes eaux s'accompagnent aussi d'une dilution des chlorures et de sulfates. Ces derniers éléments sont habituellement considérés comme des traceurs insensibles à l'activité biologique et donc représentatifs de la minéralisation de l'eau dans le bassin versant. Ces taux sont significativement corrélés à la valeur de conductivité, à laquelle ils semblent ainsi contribuer de manière déterminante. » (p143).

Comme pour les crastes médocaines, les sulfates paraissent influencer sur la conductivité. D'après les auteurs, les chlorures, les sulfates et le calcium « évoluent selon le débit du fleuve. La hausse du niveau d'eau de la Garonne (en printemps) se traduit par une baisse de teneurs [...] dans les bras morts » (p151). Leur présence est inversement proportionnelle aux débits, avec des effets de concentration en basse eau et de dilution par les hautes eaux. Ce n'est pas par la nappe que la minéralisation se fait, mais par l'évaporation et par la remontée d'eau plus chargée depuis l'aval.

Les principaux flux de nitrates sont constatés au printemps en rapport avec les activités agricoles tandis que les phosphates augmentent en automne ce qui pourrait « traduire un cycle annuel de minéralisation-déminéralisation des matières organiques dont l'abondance est traduite par les valeurs de l'oxydabilité » (p145).

Enfin, plus que les apports en nutriments, la température « semble jouer un rôle déterminant dans la productivité des bras morts [...]. La stimulation de l'activité biologique par l'augmentation de température contribue également à abaisser la valeur de pH relevée le matin à l'amont des bras morts » (p146). Il s'agit d'une remarque à considérer pour les lacs médocains puisque leur température est élevée et ils présentent une haute production végétale (caractéristique des milieux eutrophes).

Beuffé, Laplana et Gaillard ont travaillé sur le « Bilan trophique des plans d'eau landais et [la] quantification des apports nutritifs aux étangs d'Aureilhan et Soustons » (1994). Ces étangs sont respectivement eutrophe et hypereutrophe. Ils subissent des flux de nutriments beaucoup plus élevés en comparaison au lac de Carcans-Hourtin. Les pertes en azote sont de 2 à 3 kg/ha/an dans les zones forestières contre 38 à 50 kg/ha/an dans les bassins versants agricoles. Le rôle de la pluviométrie et des débits est déterminant sur les flux d'azote lessivés : « sur des bassins versants essentiellement agricoles, c'est la première crue automnale qui est la plus efficace pour le lessivage de l'azote (60 à 75 % du flux annuel) » (p46). Lors des crues, la concentration en nitrates s'accroît ce qui signifie que les phénomènes de lessivage continuent durant l'année. Le ratio pour le phosphore est 5 à 6 fois plus important qu'à Carcans-Hourtin.

Les auteurs indiquent que « L'apport en substances nutritives dans les lacs, en provenance de leurs bassins versants et sa relation avec la production, c'est à dire avec leur métabolisme, constitue sans conteste le centre du problème de l'eutrophisation » (p37). Ces lacs subissent des pollutions dangereuses selon les valeurs de l'OCDE.

L'étude de deux bassins versants en sol sableux (Landes de Gascogne) par Vernier, Beuffé et Chossat en 2003 a porté sur les bassins versants de l'Arriou (affluent de la Leyre) et du Tagon (tributaire du bassin d'Arcachon). La forte variabilité entre un bassin versant forestier (Tagon, 1,95 kg N/ha/an et 0,15 kg P/ha/an) et un bassin versant agricole (Arriou, 15,15 kg N/ha/an et 0,07 kg P/ha/an) se retrouve ici également. Les auteurs indiquent que :

« Contrairement au bassin versant mixte dont les flux azotés sont représentés à 87% par des formes minérales (dont 95% de nitrates), le bassin versant forestier a une production azotée essentiellement caractérisée par des formes organiques (66%). En termes de flux et à superficie égale, la production annuelle d'azote minéral du bassin versant forestier est, en moyenne et sur 4 cycles hydrologiques, 28 fois moins élevée que celle du bassin versant mixte. Par contre, en ce qui concerne l'azote organique, la différence est nettement plus faible (1,25 fois). » (p536).

Pour le phosphore, la fraction particulaire est deux fois plus haute dans le bassin versants forestier en raison de mécanismes érosifs.

Concernant le bassin d'Arcachon, l'**IFREMER**, le **CEMAGREF**, la **SSA** et la **SABARC (1994)** ont suivi les flux de nutriments s'y déversant. Le constat général est une hausse de l'azote minéral (60% du flux d'azote) depuis 20 ans en rapport direct avec « l'expansion de l'agriculture intensive sur le bassin versant ». Les crues génèrent les principaux apports. A l'inverse, les flux de phosphore ont baissé sur la même période : les réseaux et stations d'épuration ainsi que la limitation des travaux d'aménagements forestiers et agricoles expliquent cette baisse selon les auteurs.

Dans une thèse soutenue en 2009, **Canton** étudie la *Dynamique des éléments biogènes dans le continuum fluvio-estuarien de la zone hydrologique d'influence du bassin d'Arcachon*. Les différentes occupations du sol et la saison expliquent les apports changeants en nitrates : « On évalue ainsi les taux d'exportation moyens pour les parcelles forestières, déforestées, agricoles et urbaines respectivement égaux à 45, 93, 2 850 et 61 kg N-Nitrate/km²/an » (p77), soit 0,45, 0,93, 28,5 et 0,61 kg N-Nitrate/ha/an. Ces données correspondent bien aux chiffres de Beuffe et Laplana (1992) sur un bassin versant agricole ici plus exploité. Les crues apportent le plus de nutriments. Face à l'importance de ces flux, l'auteur « démontre cependant qu'une réduction de 10 % de la quantité de fertilisant azoté permettrait de réduire de plus de 50 % l'exportation d'azote par les zones agricoles » (p77). De plus, « les bassins versants possèdent une certaine capacité tampon car le transit dans le continuum fluvial n'est pas conservatif » (p168) : les teneurs en azote baissent de l'amont vers l'aval d'où l'intérêt d'installer les exploitations agricoles le plus profondément dans les bassins versants.

Ce travail propose également une approximation des flux de nitrates par voie atmosphérique et par les nappes souterraines. Cette évaluation sera reprise par la suite et appliquée aux bassins versants des lacs médocains.

Ces études mettent en relief les spécificités de différents bassins versants confrontés à une perte de qualité des eaux. L'occupation agricole du sol et les calendriers de fertilisations y apparaissent comme une des explications aux teneurs en nutriments. Des indications sur la part des éléments organiques et minéraux dans les flux sont également présentées.

D. Synthèse

Si les différentes études et leurs résultats éprouvent des tendances similaires, il faut rester prudent en raison des méthodologies appliquées à chaque étude qui ont évolué au fil des techniques, des diverses pratiques de terrain et de leurs précisions, et des contextes locaux pouvant varier sur la période de plus de 30 années.

1. Les principaux résultats

Dans un premier temps, il paraît nécessaire de relativiser les pollutions sur les bassins versants des lacs médocains face au cadre régional et au cadre national. Les teneurs en polluants y sont beaucoup plus basses. Les phénomènes d'eutrophisation sont néanmoins explicitement signalés à plusieurs reprises dans différents travaux.

Les lacs constituent des zones très fragiles aux vues des diverses conclusions scientifiques. Différents auteurs corrélent les flux en azote et phosphore des crastes avec l'eutrophisation des lacs. Les rejets en nutriments sont reconnus dès les années 1970 et enrichiraient les milieux lacustres. Ces apports chimiques ont des conséquences physiques (évolution de la turbidité) et biologiques (développement d'espèces phytoplanctoniques exotiques). La hausse des températures influe aussi sur l'activité biologique dans les eaux stagnantes. Selon les critères de l'OCDE, le lac de Carcans-Hourtin est sensible aux pollutions azotées plus qu'aux déversements de phosphores. Sa transformation est beaucoup moins avancée que les lacs d'Aureilhan et Soustons.

Le suivi local montre des pics de pollutions des lacs durant les années 1990-2000. L'accumulation des phosphores a bien baissé depuis les années 1990, sans doute grâce aux installations d'épuration et au tout-à-l'égout. En outre, certains tributaires participent au cumul des produits dans les lacs, avec la distinction dès les années 1990 des bassins versants mixtes (agriculture et sylviculture) et des bassins versants forestiers. Les apports sont bien plus élevés dans les premiers avec des charges 19 fois plus hautes en azote, mais équivalentes en phosphore. Les différentes occupations du sol et leurs effets sont encore visibles selon les études récentes.

Les pics de transports des éléments ont lieu lors de la remise en eau des systèmes, à l'automne, puis lors des crues durant le reste de l'année. La présence des éléments diminuent de l'amont vers l'aval ce qui signifie la dilution, la captation, l'infiltration ou l'utilisation des éléments durant le trajet. Les bassins versants ont une capacité tampon.

Globalement, la conductivité croît sur les crastes durant la période. Elle corrèle ponctuellement avec la présence des nitrates mais pas exclusivement. Les sulfates influenceraient aussi cette augmentation.

Les apports du bassin versant du lac de Carcans-Hourtin sont plus marqués que sur le bassin versant du lac de Lacanau. Ce dernier propose des eaux de « très bonne qualité » selon les derniers résultats.

Passés les pics de pollution des années 1990, la situation sur les bassins versants s'améliore. Les problèmes d'eutrophisation des lacs demeurent.

2. Des pistes de réflexion

Ces résultats bibliographiques permettent de dresser les tendances récentes à valoriser ou à préciser dans le cadre de l'étude sur la qualité des eaux des crastes menant aux lacs médocains.

Depuis les années 1990-2000 et les données sur les charges des crastes, les pratiques culturales ont évolué si bien que le SCOT précise que « *de nouveaux modes d'amendement se font jour sur certaines grandes exploitations locales qui [...] ont réduit de 40% les apports d'intrants employés* » (2010, p67). Si cette tendance se confirme, la présence d'azote et de phosphore devrait être limitée. **La distinction spatiale entre bassin versant mixte et bassin versant forestier devrait aussi se réduire.**

De plus, l'étude d'un ensemble de crastes permettra d'avoir une évaluation des flux touchant les deux lacs, et aussi des indications sur les apports et les temporalités de fonctionnement par crastes.

La place des zones humides et l'évolution amont/aval des flux de nutriments sont à préciser. Selon la Commission Locale de l'Eau :

« Les zones humides ont des fonctions reconnues en termes d'auto épuration des eaux, de zones d'expansion de crues et de réservoir de biodiversité. Ces fonctions sont bien assurées quand il existe une bonne connexion entre les flux d'eau du bassin versant et ces zones de marais. Sur le territoire des Lacs Médocains, de nombreuses zones humides à l'exutoire des crastes et en bordures du canal des étangs ont été déconnectées des principaux apports d'eau » (2011, p27).

L'analyse de différents points en amont et en aval de certaines crastes devrait permettre de quantifier les teneurs en nutriments, voire de comprendre les effets de la traversée de certaines zones spécifiques.

Une sensibilisation aux problèmes locaux est amorcée. Les effets sur la présence de nutriments dans les bassins versants sont visibles depuis les années 2000. Une telle tendance devrait se confirmer dans les analyses à venir.

Pour que les résultats soient les plus significatifs, il est possible de faire corrélés les données anciennes (par exemple à partir des flux de nutriments par hectare et par an de Beuffe et Laplana de 1992 ou d'autres) à l'occupation actuelle du sol. Ce calcul pourra être confronté aux analyses menées durant la campagne de prélèvements de 2011-2012. Ce travail permet de comparer deux situations équivalentes et de voir l'évolution réelle des pratiques en passant outre les changements de l'occupation du sol.

III. L'OCCUPATION DU SOL ET L'EVALUATION DES CHARGES EN NUTRIMENTS

Diverses activités se juxtaposent sur les territoires des lacs médocains. Selon les types d'activités et leurs occupations du sol, les flux et les proportions de nutriments dans les eaux changent. Il est intéressant de connaître l'occupation du sol pour évaluer les apports en nutriments des bassins versants en fonction des teneurs et des calculs déjà opérés et présentés précédemment.

A. L'évolution de l'occupation du sol

Essayer de trouver des cartes pertinentes pour montrer les grandes tendances de l'évolution du sol.

Evolution au niveau de la création de l'exploitation agricole de Lagunan entre 1996 et aujourd'hui ; et exploitation ds le BV de Lacanau sur Pont des Tables.

B. L'occupation du sol

La construction d'un SIG facilite cette démarche. Les données de BD Carthage 2011 (pour l'hydrologie) et de Corine Land Cover 2006 (pour l'occupation du sol) sont les bases⁶ de cette cartographie (Figure 3). Elles permettent une précision suffisante pour notre travail.

⁶ Autres sources : Pour les cours d'eau temporaires / permanents : IGN 1/25000 Hourtin (1434 OT), 2002 ; IGN 1/25000 Lac de Lacanau (1336 ET), 2002 ; IGN 1/25000 Lesparre-Médoc (1434 E), 2005 ; IGN 1/25000 Castelnau-de-Médoc (1435 E), 2005 ; IGN 1/25000 Sainte-Hélène (1436 E), 2006 ; pour les bassins versants : travaux de l'ONF et de Debailleul.

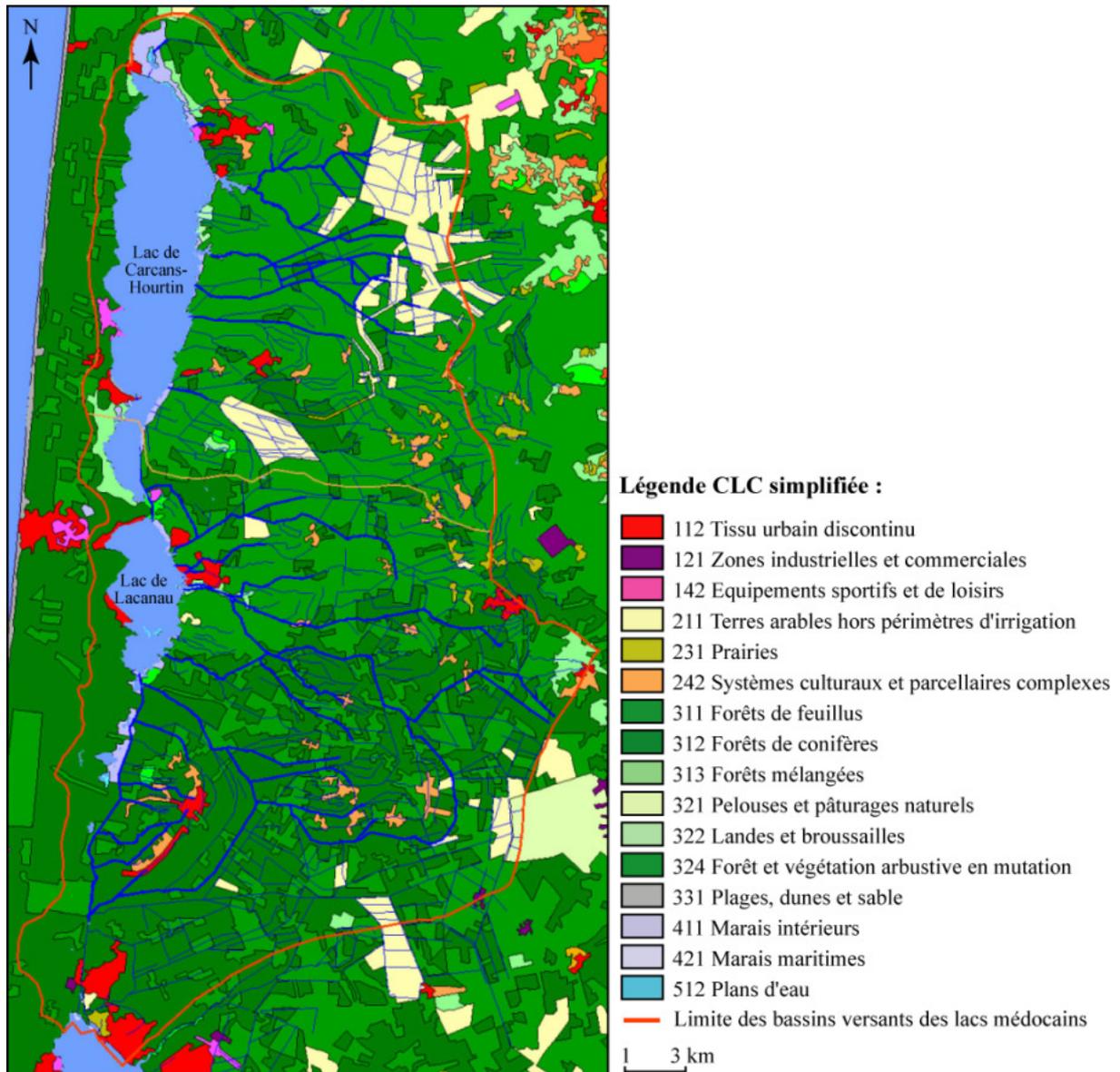


Figure 7 : L'occupation du sol sur les bassins versants des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau

Réalisée et construite par télédétection et photo-interprétation, les données Corine Land Cover sont pratiques pour discerner les grands ensembles forestiers, agricoles ou urbains. Les précisions sur ces ensembles sont à considérer comme informatives plutôt que comme une compilation précise. La méthode de détection ne permet pas une qualification fine des types de parcelles mais indiquent bien les tendances d'occupation.

La dominante verte indique de vastes superficies forestières tandis que les zones jaunâtres et oranges sont utilisées pour l'agriculture. Plus précisément, les résultats du SIG confirment la place des exploitations forestières (Tableau 22).

Code	Légende	Surface (km ²)	Taux d'occupation(%)
112	Tissu urbain discontinu	22,25	2,27
121	Zones industrielles et commerciales	0,49	0,05
142	Equipements sportifs et de loisirs	2,34	0,24
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	54,97	5,60
231	Prairies	4,58	0,47
242	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	15,86	1,62
311	Forêts de feuillus	2,87	0,29
312	Forêts de conifères	333,42	33,96
313	Forêts mélangées	12,85	1,31
321	Pelouses et pâturages naturels	1,85	0,19
322	Landes et broussailles	0,92	0,09
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	430,54	43,85
331	Plages, dunes et sable	0,34	0,03
411	Marais intérieurs	22,11	2,25
421	Marais maritimes	0,88	0,09
512	Plans d'eau	75,63	7,70
--	Total Bassin Versant	981,89	100

Tableau 22 : Les surfaces occupées dans les bassins versants des lacs médocains

Près de 80% du bassin versant sont occupés par des forêts. Loin derrière, ce sont 8% de la superficie qui sont voués aux activités agricoles contre moins de 3% pour les zones urbaines et industrielles.

	Carcans-Hourtin	Part du BV	Lacanau	Part du BV
Total Forêts	263,78 km ²	67,44%	243,07 km ²	85,98%
Total Agriculture	51,32 km ²	13,12%	6,63 km ²	2,35%
Total urbain	7,66 km ²	1,96%	6,58 km ²	2,33%
Taille des BV	391,16 km ²	100%	282,70 km ²	100%

Tableau 23 : L'occupation des bassins versants de Carcans-Hourtin et de Lacanau

En regroupant et en simplifiant les données CLC, plusieurs choses peuvent être précisées (Tableau 23). Le bassin versant de Lacanau accueille des surfaces de forêts et de zones urbaines quasi-équivalentes à celles du bassin versant de Carcans-Hourtin. Toutefois la place de la forêt est en proportion plus grande autour de Lacanau en raison d'un bassin versant plus étroit. Inversement, les zones agricoles occupent des surfaces près de huit fois plus importantes sur le bassin versant de Carcans-Hourtin. Pour le reste, ce sont principalement les plans d'eau et les différentes zones humides qui occupent l'espace.

1. Un espace protégé

La proximité au littoral et la présence de zones humides et lacustres ont favorisé l'adoption de divers classement de protection autour des lacs (Figure 8).

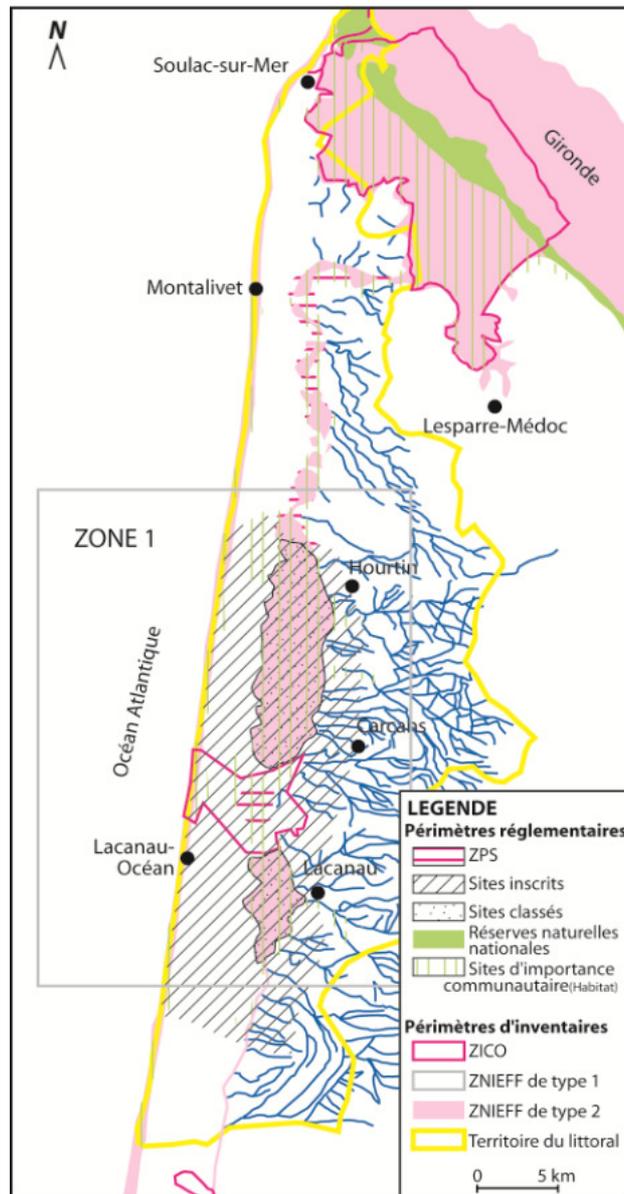


Figure 8 : Zones naturelles du territoire littoral

Source : DIREN Aquitaine ; Fond BDCarto IGN ; Cartographie : CETE 33.

Ces différents périmètres rappellent la diversité et la fragilité des milieux humides et littoraux. La protection de l'environnement est une priorité pour garantir le bon état des plans d'eau et donc préserver les autres enjeux inhérents à la qualité du milieu. La superposition de ces découpages peut toutefois alourdir le fonctionnement d'un territoire en y imposant de nombreuses contraintes. Les zones à protéger se localisent principalement en aval des bassins versants ce qui oblige à s'intéresser aux pratiques en amont.

2. La sylviculture

La superficie des espaces forestiers respecte encore les recommandations de la Commission Régionale des Landes de Gascogne qui « avait vivement recommandé, dès 1973, de ne pas abaisser le taux de boisement au-dessous de 75 % avec des zones cultivées inférieures à 500 ha d'un seul tenant » (Beuffe, 1994, p162-163) afin d'éviter les phénomènes

d'érosion éolienne, torrentielle, les pollutions et les modifications des écosystèmes et paysages.

Aujourd'hui, les diverses formes de forêts sont des exploitations sylvicoles pour 90% d'entre elles, le reste étant des forêts gérés par l'ONF ou les services communaux (Commission Locale de l'Eau, 2011, p16). Le pin maritime demeure l'espèce la plus exploitée, mais les pratiques ont changé notamment grâce à l'utilisation d'intrants phosphatés. Ce sont ces éléments qui sont à rechercher en aval des zones sylvicoles. Leur estimation est d'autant plus importante que le phosphore facilite l'eutrophisation en zones lacustres. Pour les arbres, ils permettent d'accélérer la vitesse de maturation qui passe de 60 à 70 ans dans les années 1930 à 50 ans avant la tempête de 1999 (Commission Locale de l'Eau, 2005). La productivité s'est aussi améliorée passant de 4 à 10 m³/ha/an. Le degré d'utilisation des produits varie sur la période avec l'amélioration des pratiques culturales.

L'exploitation du bois nécessite plusieurs phases et diverses doses de phosphore. D'abord l'assainissement du sol permet d'assurer un apport constant en eau par un système de fossés. Une première fertilisation à l'acide phosphorique a lieu lors de la mise en terre des semis. D'autres fertilisations peuvent avoir lieu pour relancer la pousse. Dans les années 1990 :

« Seule la sylviculture intensive reçoit une fertilisation qui se situe en moyenne à 120 unités de P2O5 sur la durée de vie de l'arbre. Celle-ci est pratiquée comme suit :

- avant le labour, sont apportés 200 à 400 kg/ha d'hyperphosphates (30% de P2O5) si on prévoit un labour à plein, 60 à 120 kg/ha dans le cas de labour à moitié,
- un "regonflage" en hyperphosphate est réalisé par la suite pour les parcelles labourées à moitié à la dose de 225 kg/ha soit près de 70 unités de P2O5,
- une fertilisation complémentaire apportant du potassium mais aussi parfois de l'azote (cas assez rare). » (Beuffe, Laplana, 1992, p8)

Avec les calculs des apports moyens, il est possible d'évaluer à 409,5⁷ tonnes les apports phosphorés sur les 780 km² occupés par l'arbre sur le bassin versant. Pondérés sur 50 ans, c'est l'équivalent à 8,19 tonnes par an qui est ajouté aux parcelles forestières.

Au même moment, Beuffe et Laplana évaluent les apports en azote à 1 kg/ha/an et en phosphore à 0,07 kg/ha/an en 1992. Sur ces mêmes 780 km² forestiers, les apports vers les lacs peuvent être calculés pour une année : 78 000 x 1 kg N/an et 78 000 x 0,07 kg P/an (5 460 kg P/an) sur l'ensemble du bassin versant. Les apports sylvicoles peuvent participer au ruissellement du phosphore même si d'autres sources sont disponibles.

Les effets des tempêtes de 1999 (Lothar et Martin) ont eu des conséquences : la catégorie « forêt et végétation arbustive en mutation » dans Corine Land Cover de 2006 rappelle que l'ensemble des parcelles n'a pas été remis en exploitation cette année-là. Leur mise en activités signifie des apports en acide phosphorique ponctuellement plus élevés et une présence et un ruissellement possibles. L'ensemble des parcelles touchées par la tempête de 1999 aurait été remis en culture aujourd'hui.

Ce sont les conséquences de la tempête de 2009 (Klaus), moindres sur le bassin versant, qui influencent maintenant de potentiels rejets. Localiser les parcelles touchées par la dernière tempête permettrait de distinguer les zones récemment plantées ou à replanter et d'évaluer les flux phosphorés dans les crastes.

Ces informations sont à recouper avec les changements des pratiques culturales depuis les années 1990. En effet, le SCOT indique aujourd'hui que « les apports de phosphate effectués dans le cadre de l'exploitation sylvicole sont pratiquement insignifiants » (2010, p67).

⁷ (300x780)+(225x780) = 409 500 kg, soit 409,5 tonnes.

3. L'agriculture

Par rapport aux zones forestières, l'agriculture utilise une surface restreinte des bassins versants. Des travaux de l'IFEN et de l'observatoire du littoral (Figure 9) ont établi une tendance dans l'évolution de la surface agricole utilisée sur les littoraux français.

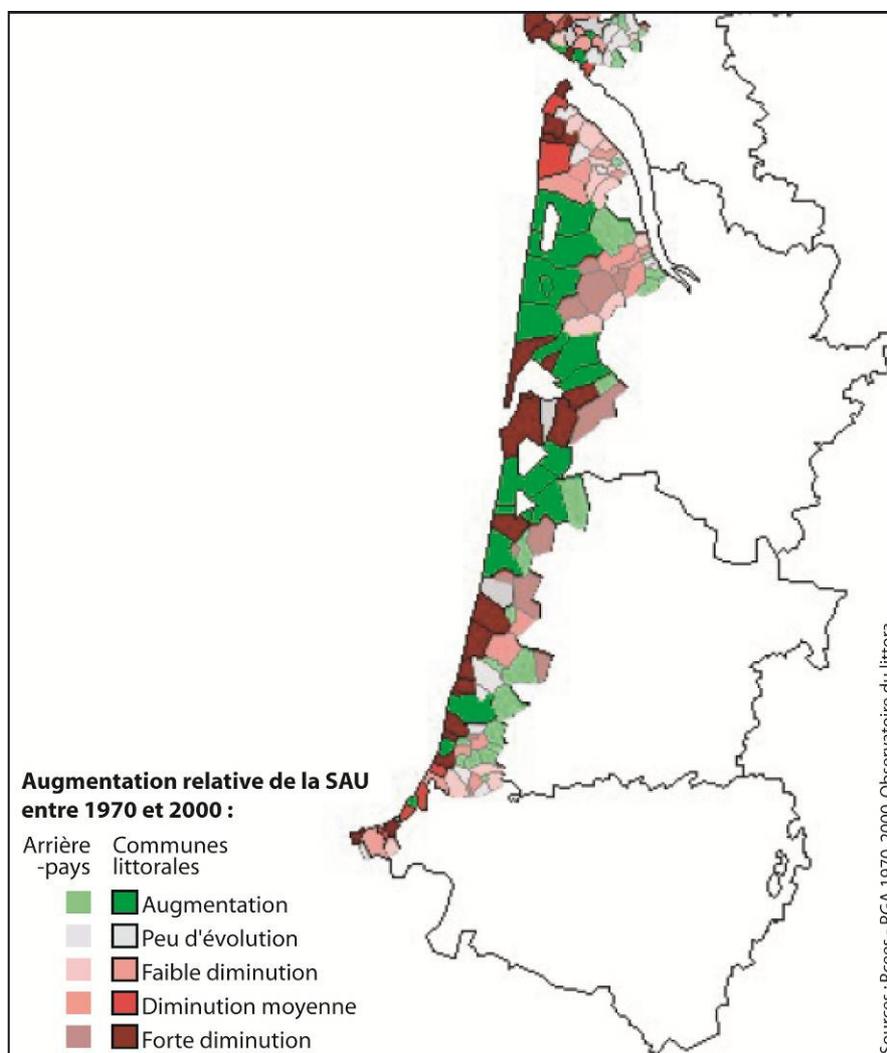


Figure 9 : Evolution de la SAU en Aquitaine entre 1970 et 2000

L'Aquitaine est la seule région française où les zones agricoles littorales progressent. Diverses évolutions se juxtaposent en Gironde notamment autour du bassin d'Arcachon. Les changements sont marqués à la baisse au Nord du département. A l'inverse, autour des lacs médocains, une augmentation de la surface agricole utilisée est constatée. Malgré des divergences, la croissance moyenne sur le département est de 7,5% dans les parties littorales du département. Cet accroissement signifie une valorisation des espaces disponibles pour l'agriculture durant cette période de 30 ans.

Ce constat sur 30 ans masque les faibles variations récentes. Selon les données de CLC 2006, l'agriculture utilise une surface de l'ordre de 75 km², pour près de 8% du bassin versant. Ces chiffres correspondent à ceux de Giroux (1999), soit 81,10 km² en 1988 pour 8% du bassin versant (données RGA) et 10% en 1999. Les surfaces laissées aux cultures sont maintenant contrôlées et la tendance est à la limitation des nouvelles exploitations.

Le développement de l'agriculture s'est en premier lieu basé sur la culture du maïs grâce aux disponibilités en eau et aux possibilités d'irrigation. A la fin des années 1990, le maïs occupait en moyenne 50% de la SAU. Aujourd'hui, les cultures de légumes (carottes, haricots, tomates) le complètent.

L'usage des intrants s'est accentué dans les années 1990. Pour Beuffe et Laplana :

« Qu'il s'agisse de maïs grain ou de maïs doux, la maïsiculture est la plus forte consommatrice d'intrants. En moyenne la fertilisation appliquée, pour des objectifs de rendements compris entre 100 et 110 q/ha, est la suivante :

- fertilisation azotée : 300 unités/ha en N,
- fertilisation phosphatée : 180 unités/ha en P2O5,
- fertilisation potassique : 133 unités/ha en K2O.
- *Compte tenu de l'acidité naturelle des sols en présence de pH inférieur à 5 au moment de la mise en culture) des apports de chaux sous la forme d'amendements calco-magnésiens sont régulièrement pratiqués » (1992, p8)*

Les apports azotés étaient deux fois moins importants dans les années 1980 selon Deligey (1995). Un quart des apports est fourni au moment des semis au printemps, le reste étant utilisé jusqu'aux récoltes en automne.

Avec le maïs, d'autres cultures sont développées pour maximiser les usages des sols, pour accroître les rentabilités mais aussi pour limiter l'érosion éolienne lorsque les champs sont découverts. Vernier, Beuffe et Mestelan décrivent en 1999, dans « Impact de l'occupation du sol sur la qualité des eaux de l'écosystème sableux landais », ces périodes d'interculture (Tableau 24) dans des zones à l'Est et au Sud-est du Bassin d'Arcachon : les risques sont alors forts que les nutriments soient transportés par les eaux superficielles et les eaux souterraines.

Successions culturales	Durée de l'interculture
orge - maïs	310 jours
maïs doux - carottes	90 jours
carottes primeurs - maïs	287 jours
maïs - maïs	190 jours
maïs doux - maïs doux	260 jours

Tableau 24 : Durée de l'interculture

Source : Vernier, Beuffe, Mestelan, 1999, p316.

Leurs travaux menés sur les pratiques culturales et sur les effets de l'occupation des sols agricoles montrent que « *la pente, la distance aux émissaires, le taux de drainage ne sont pas des éléments discriminants pour la classification des parcelles, mais qu'il s'agit plutôt du niveau de fertilisation, de la conduite de l'irrigation, du travail du sol et de la gestion des rotations* » (1999, p316). Le fonctionnement différencié des exploitations serait donc décisif dans le ruissellement des nutriments dans leur bassin versant.

Toutefois, ces changements culturels, évoluant souvent d'une année à l'autre au gré des demandes, rendent difficiles à établir les périodes de mise en terre et d'ajout d'intrants : si les cultures de légumes peuvent se faire plusieurs fois par an, les semis de maïs ont surtout lieu au printemps. Les temporalités d'émission de nutriments dans les eaux sont donc variables d'un champ à l'autre et d'une année à une autre.

En effet, les pratiques ont changé, en particulier sur les complémentarités de culture au maïs. De nos jours, les agriculteurs locaux s'attachent à limiter les intrants comme l'indique le SCOT (avec une baisse de 40% des intrants depuis 2007-2008). La visite de la SCEA (Société Civile d'Exploitation Agricole) des Matouneyres à Carcans en juin 2011 (dans le cadre du SAGE des Lacs Médocains) confirme cette volonté de réduire les nutriments. Des

investissements matériels lourds y compensent la réduction annuelle des recours aux intrants. Les motivations économiques rejoignent les préoccupations environnementales. De plus, la production de légumes, en particulier les carottes, a été présentée comme fondamentale dans les activités de l'exploitation. De telles orientations laissent envisager des variations dans les intrants déployés et donc des teneurs en diminution dans les crastes. A ces baisses possibles, il faut rappeler que l'entretien régulier des réseaux de crastes remet en mouvement les éléments peu mobiles.

Comme les études du CEMAGREF l'ont démontré, il est possible de distinguer les crastes issues de bassins versants mixtes (agriculture et forêt) des crastes issues des bassins versants forestiers. Les mesures ponctuelles effectuées dans les années 2000 suggèrent que cette distinction est encore de mise.

Dans ces conditions, les concentrations en nutriments dans les crastes issues des exploitations agricoles devraient toujours être possibles, mais à des degrés bien moins élevés. Peut-être sera-t-il possible de quantifier cette diminution (si elle se confirme) par rapport aux études précédentes.

4. Zones urbaines et tourisme

Les bassins versants des lacs médocains subissent aussi la croissance des zones urbaines. Celles-ci nécessitent des aménagements spécifiques qui modifient le ruissellement et l'infiltration des eaux et qui peuvent modifier la qualité des flux d'eaux.

Les communes de Carcans, Hourtin, Lacanau, Saint-Laurent-du-Médoc, Brach, Sainte-Hélène, Saumos et Salaunes se développent sur ces bassins versants, pour une partie au moins.

	Population totale 1999	Population totale 2009	Taux de variation sur la période
Carcans	1586	2209	39,28
Hourtin	3252	3052	-6,15
Lacanau	3182	4488	41,04
Saint-Laurent-du-Médoc	3476	4114	18,35
Brach	241	465	92,95
Sainte-Hélène	1796	2646	47,33
Saumos	344	537	56,10
Salaunes	576	759	31,77
Total	14453	18270	26,41

Tableau 25 : Populations communales sur ou proche du bassin versant des lacs

Source : Recensement INSEE, 1999, 2008.

La population sur le bassin versant des deux lacs à augmenter entre 1999 et 2009. En 10 ans, la croissance est de l'ordre de 26%. Seule la commune d'Hourtin connaît une baisse de sa population tandis que les autres communes ont une croissance comprise entre 18 et 93 %. Lacanau et Carcans ont des évolutions équivalentes de l'ordre de +39-41%.

A cela s'ajoute la considération des activités touristiques qui sont d'importance sur la zone. Celles-ci nécessitent des aménagements permanents de type urbain pour supporter les

arrivées saisonnières. Lacanau, Carcans et Hourtin sont les principales communes bénéficiaires de ces mouvements estivaux et disposent de capacités d'accueil adaptées :

	Source INSEE, 2011			Source: CCLM, 2011		
	Résidences secondaires, 2008	Campings, mobil-homes, 2011	Chambres d'hôtels, 2011	Chambres : villages de vacances, rés. locatives, hébergements collectifs, locations vacances	Chambres : gîtes, chambres d'hôtes	Total
Lacanau	6479	2971	179	4269	29	13927
Carcans	2774	2055	-	4997	9	9835
Hourtin	2032	2149	17	N.P.	N.P.	4198
Les 3 communes	11285	7175	196	9266	38	27960

Tableau 26 : Estimation des capacités d'accueil pour la saison 2010

Source : Communauté de communes des Lacs Médocains, 2011, INSEE, 2011.

L'estimation des capacités d'accueil des principales communes touristiques donne une idée de la réalité des flux puisqu'elle indique le nombre de logements disponibles. Il paraît utile d'affecter un coefficient multiplicateur d'au minimum 2 touristes par logement pour considérer le nombre de personnes pouvant être présentes en même temps. Le manque de données sur les disponibilités à Hourtin (villages vacances, hébergements collectifs, locatifs, gîtes,...) sous-évalue ce total. Le document du SAGE des Lacs médocains indique que 70 000 saisonniers se déplacent sur la zone surtout en été. Ce chiffre est atteint avec un facteur de 2,5 personnes par logement. Cette population temporaire est 3 à 4 fois plus élevée que la population permanente sur une période beaucoup plus courte (d'au maximum 3 mois, du 15 juin au 15 septembre).

Les stations de traitement des eaux usées doivent être dimensionnées en fonction de ces maxima. Un aperçu des stations d'épuration sur la zone (Tableau 27 et Figure 10) présente de capacités adéquates pour traiter les eaux même lors des pics d'affluence.

Communes	Nom STEP	Description	Auto-surveillance	Rejet	Observations
Carcans	Bourg	Lagune 2000 EH	NON	Fossé (infiltration)	Surcharge Eaux parasites
Carcans	Océan (Bombannes)	Boues activées 15 000 EH	NON, mais prévue	Infiltration dunaire	
Hourtin	Contaut	En cours d'extension à 20 000 EH (Boues activées)	OUI	Infiltration dunaire	Réseau sous-vide
Lacanau	Lac	32 000 EH (Boues activées)	OUI	Infiltration dunaire	
Lacanau	Océan	5 000 EH (Boues activées)	OUI	Infiltration dunaire	Ne fonctionne que l'été. Hiver transfert vers la Step du lac
Lège Cap Ferret	SIBA	Physico-chimique	OUI	Rejet hors BV lacs et dans l'océan	
Le Porge	Bourg	3000 EH mais clarificateur à 6000 EH (Boues activées) une autre STEP à La Jenny (6 000 EH)	Seulement un canal débit mètre mal fichu	Infiltration dunaire	Surcharge notable
Sainte Hélène	Bourg	2 000 EH	NON	Rejet Fossé puis Craste Levade après lagunage tertiaire (infiltration fossé)	Travaux de réhabilitation de réseau prévus
Saint Laurent	St Laurent et Benon	4 500 EH	NON		

Tableau 27 : Stations d'épuration sur le bassin versant

• L'assainissement collectif

	Station	Capacité nominale (EH)*	Type de traitement	Classe**	Projets
Carcans	Le Bourg	1700	Lagunage	3	Travaux en cours de modernisation et 2500 EH à l'horizon 2012
	Océan	12000	Boue activée	4	
Hourtin	Hourtin	20000	Boue activée	3	
Lacanau	Pellegrins	35000	Boue activée	4	Travaux en cours pour 51600 EH d'ici fin 2010
	Océan	5000	Boue activée	2	Fermeture d'ici fin 2010

SCOT, 2010

De plus, les stations de grande capacité ont été installées en dehors du bassin versant des lacs, vers le littoral afin de réduire les effets d'éventuelles défaillances des installations sur les zones humides.

Cette grille de paramètres a évolué par une Directive européenne pour prendre en compte la DBO5 (qui s'attache à des seuils de concentration maximum pour les azotes et phosphores à la sortie des stations plutôt qu'en une évaluation des flux en entrée des systèmes). Toutefois, elle demeure valide selon l'IFREMER⁹, le CEMAGREF (cf. Laporte, 1999) et est mise en relief dans leur étude commune (avec la SSA, SABARC, 1994) sur l'*Etude de la prolifération des algues vertes dans le bassin d'Arcachon* :

« La production potentielle d'azote et de phosphore est obtenue en multipliant le nombre d'équivalents-habitants permanents par le rejet individuel journalier estimé. Autour des années 1970, ce rejet journalier était évalué à 13 g d'azote (Bebin, 1976) et 2,25 g de phosphore (Martin et al., 1976). De nos jours, il s'élèverait à 15 g d'azote et 4 grammes de phosphore (Agence de l'eau Adour-Garonne, 1990) » (p70).

Sur le bassin versant, il est possible d'évaluer (avec certaines réserves) ces mêmes flux :

- Pour l'azote total : $(18\ 270 + 17\ 500) \times 15\text{g} = 536,55\text{ kg}$;
- Pour le phosphore total : $(18\ 270 + 17\ 500) \times 4\text{g} = 143,1\text{ kg}$.

De cette manière, sur le bassin versant, les flux d'azote total et de phosphore total produit par les populations sont de l'ordre de 536 kg et 143 kg. Même avec les effets de l'accueil touristique, les apports urbains constituent une part réduite des apports totaux en nutriments. De plus, la majeure partie des effluents sur le bassin versant des lacs médocains est pris en charge par des stations d'épuration. Seuls quelques hameaux ne sont pas reliés à ces stations. Leur impact devrait être résiduel.

Les zones urbaines émettent quelques flux de nutriments. La considération des activités touristiques accroît ce type d'émissions. La capacité des stations d'épuration est suffisante pour supporter les pics de fréquentation.

Ces données sont une base de travail pour évaluer quelques sources de pollution, mais elles demeurent lacunaires en raison de nombreuses approximations.

C. Les méthodes d'évaluation des charges en nutriments

L'appréciation de l'occupation du sol sur le bassin versant est une première étape pour distinguer les diverses activités et leurs impacts potentiels sur les flux de nutriments. Plusieurs études ont entrepris de calculer les charges spécifiques à chaque utilisation du sol pour déterminer l'ensemble des flux touchant un bassin versant. Ces résultats sont réutilisables dans d'autres zones au fonctionnement équivalent. Une telle démarche se réalise le plus souvent après une phase de terrain.

A partir de ces résultats, nous pouvons reproduire la démarche opposée : partir des charges spécifiques à l'occupation du sol pour évaluer les rejets d'azote et de phosphore dans le bassin versant. Ces données pourront être confrontées aux résultats de terrain à l'issue des campagnes de prélèvements.

1. Les charges de nutriments dans le ruissellement

Plusieurs travaux ont permis de calculer de différente manière les charges spécifiques (ou les coefficients d'exportation) propres à chaque type d'utilisation des sols. Localement, deux études ont utilisé une telle approche : il s'agit de l'étude du CEMAGREF menée par Beuffe et Laplana en 1992 sur le lac de Carcans-Hourtin et la thèse de Canton de 2009 sur le

⁹ http://envlit.ifremer.fr/infos/glossaire/e/equivalent_habitant, glossaire de 2008.

bassin d'Arcachon. Une étude canadienne peut compléter cette approche : le groupe Hémisphères a proposé un rapport technique sur les bilans de phosphore. Ce travail est d'autant plus intéressant qu'il s'appuie sur une riche bibliographie et compile un ensemble de données ré-exploitable.

Les principaux résultats des analyses de Beuffe et Laplana de 1992 ont été évoqués. Sur les bassins versants mixtes (agriculture et forêts), la charge spécifique constatée était de 19 kg/ha/an pour l'azote inorganique total (dont 18,2 pour les nitrates). En zone forestière, il atteignait 1 kg/ha/an (et était en très grande majorité sous forme de nitrates). Indifféremment de l'occupation du sol, le phosphore total avoisinait les 0.07 kg/ha/an. Selon les travaux de l'IFREMER, du CEMAGREF, de la SSA et de la SABARC en 1994 sur les bassins versants au sud du bassin d'Arcachon, ces estimations, une fois comparées aux résultats de terrain, se sont révélés fiables pour les nitrates et surévaluées (deux fois trop) pour le phosphore total.

Les charges sur le bassin d'Arcachon ont été revues à la hausse par Canton en 2009 :

(kg/ha/an)	Agriculture	Forêt	Forêt rasée	Zone urbaine
Nitrate	28,5	0,45	0,96	0,61
Ammonium		0,13		Jusqu'à 1
Phosphore inorganique disponible		0,0057		Jusqu'à 0,085
Azote organique disponible		0,63	0,63	

Tableau 28 : Synthèse des modèles d'exportation par type d'occupation des sols

Source : Canton, 2009, p97.

Il s'agit des moyennes pour les bassins versants de la Leyre du Cires, du Milieu et du Passaduy.

Leurs « valeurs sont relativement homogènes avec des variations probablement liées aux différences de cultures. La maïsiculture ne représente en effet que 70 % des cultures. Cette moyenne est comparable avec les données issues de la littérature : De Wit et al (2005) rapportent 2700 kg N-Nitrate/km²/an pour les zones agricoles de la même région, Petry et al (2002) rapportent également 2700 kg/km²/an pour des champs de céréales en Ecosse et Donner & Kucharik (2003) rapportent 3800 kg/km²/an pour des champs de maïs aux Etats Unis » (2009, p96).

Loin de notre zone d'étude, au Canada, le groupe Hémisphères a produit une synthèse des coefficients d'exportation du phosphore total en fonction de l'occupation du sol :

	Coefficient d'exportation kg PT/km ² -an	Source	Commentaires
Utilisation du sol – apport naturel			
Forêt avec substrat métamorphique =	8,8	<i>Approximation</i>	Dillon et Rigler (1975) proposent 11,7 pour des roches sédimentaires et 5,5 pour des roches cristallines
Milieu humide	110	Crago (2005)	Calculé pour les Laurentides. Inclus les étangs à castor.
Surface d'eau =	38	Alain et Lerouzes (1979)	
Utilisation du sol – apport anthropique			
Milieu urbain =	80	Beaulac et Reckhow (2000)	Indique que cette valeur est souvent le double de l'agriculture
Villégiature et aire de récréation =	22,5	Nürnberg et Lazerte (2004)	Comprends la zone parsemée de chalets, les campings et parcs de récréation. Landon (1977) in Rechow <i>et coll.</i> (1980) utilisait la valeur de 25
Terrain de golf =	105	Néron et Corbeil (2002)	
Coupe ou brûlis =	12,9	Lamontagne <i>et coll.</i> (2000)	Augmenter de 50 % le coefficient de la forêt non perturbée pour ces parcelles
Culture à grande interligne	65	Simard (2005)	
Culture à interligne étroit	25	Winter et Duthie (2000)	
Pâturage et aire gazonnée	20	Carignan (2003)	
Friche =	20	Carignan (2003)	Région similaire de l'Outaouais
Zone minière =	25	Alain et Lerouzes (1979)	Comprends les gravières et carrières
Sol nu =	50	<i>Approximation</i>	Comprends les grandes cours des industries et autres sols dénudés
Apport naturel et anthropique			
Apport atmosphérique tombant sur le lac =	18,6	Lamontagne <i>et coll.</i> (2000)	Après conversion du tableau 4 de Lamontagne <i>et coll.</i>

Tableau 29 : Coefficients d'exportation du phosphore total

Source : *Groupe Hémisphères, 2008, p10.*

Notre zone d'étude n'accueille pas toutes ces catégories, néanmoins elles donnent des idées sur les sources potentielles en phosphore total. Il est intéressant de noter que les milieux humides sont désignés comme les principaux générateurs de phosphore total. Les terrains de golf sont aussi présentés comme émetteurs forts, plus que les milieux urbains et la grande culture. Selon les auteurs, les données se sont révélées elles-aussi pertinentes lorsqu'elles ont été confrontées à des analyses de terrain.

Ainsi est-il possible de reprendre avec plus de précisions les données CLC en étant flexibles sur les intitulés de chaque catégorie.

Code	Légende CLC	Légende Groupe Hémisphères	Coefficient d'exportation en PT (kg/km ² /an)
112	Tissu urbain discontinu	Milieu urbain	80
121	Zones industrielles et commerciales	Milieu urbain	80
142	Equipements sportifs et de loisirs	Villégiature et aire de récréation	22,5
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	Culture à grande interligne	65
231	Prairies	Pâturage et aire gazonnée	20
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Culture à interligne étroit	25
311	Forêts de feuillus	Forêt avec substrat sédimentaire	11,7

312	Forêts de conifères	Forêt avec substrat sédimentaire	11,7
313	Forêts mélangées	Forêt avec substrat sédimentaire	11,7
321	Pelouses et pâturages naturels	Pâturage et aire gazonnée	20
322	Landes et broussailles	Friche	20
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	Forêt avec substrat sédimentaire	11,7
331	Plages, dunes et sable	-	-
411	Marais intérieurs	Milieu humide	110
421	Marais maritimes	-	-
512	Plans d'eau	Surface d'eau	38

Tableau 30 : Correspondance entre la légende CLC et la légende proposée par le groupe Hémisphères

Si la pertinence d'une des méthodes est avérée, elle pourra alors être réutilisée lors de travaux ultérieurs sur les lacs médocains.

Toutefois, les approximations donnent des résultats contrastés (Tableau 31) lorsqu'elles sont appliquées au bassin versant des lacs médocains. En premier lieu, les éléments étudiés sont rarement les mêmes d'une étude à l'autre : seuls les nitrates et le phosphore total sont directement exploitables, mais il faut envisager les approximations liées aux différentes zones de travail et aux méthodologies changeantes. De plus, la variété de l'occupation du sol prise en compte influence l'estimation globale des rejets sur le bassin versant.

Légende CLC	Surface (km ²)	Beuffe, Laplana, 1992 (kg/an)		Canton, 2009 (kg/an)				Groupe Hémisphères, 2008 (kg/an)
		Nitrates	Phosphore total	Nitrates	Ammonium	Phosphore inorganique disponible	Azote organique disponible	Phosphore total
Tissu urbain discontinu	22,25	-	-	1 357,25	2225	189,13	-	1 780,00
Zones industrielles et commerciales	0,49	-	-	29,89	49	4,17	-	39,20
Equipements sportifs et de loisirs	2,34	-	-	142,74	234	19,89	-	52,65
Terres arables hors périmètres d'irrigation	54,97	104 443	384,79	156 664,5	-	-	-	3 573,05
Prairies	4,58	458	32,06	-	-	-	-	91,60
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	15,86	30134	111,02	45 201	-	-	-	396,50
Forêts de feuillus	2,87	287	20,09	129,15	37,31	1,64	180,81	33,58
Forêts de conifères	333,42	33342	2 333,94	15 003,9	4 334,46	190,05	21 005,46	3 901,01
Forêts mélangées	12,85	1285	89,95	578,25	167,05	7,32	809,55	150,35
Pelouses et pâturages naturels	1,85	185	12,95	-	-	-	-	37,00
Landes et broussailles	0,92	92	6,44	-	-	-	-	18,40
Forêt et végétation arbustive en mutation	430,54	43 054	3 013,78	41 331,84	5 597,02	245,41	27 124,02	5 037,32
Plages, dunes et sable	0,34	-	-	-	-	-	-	-

Marais intérieurs	22,11	-	-	-	-	-	-	2 432,10
Marais maritimes	0,88	-	-	-	-	-	-	-
Plans d'eau	75,63	-	-	-	-	-	-	2 873,94
Total Evaluation Bassin Versant	981,89	213 280	6 005,02	260 438,52	12 643,84	657,60	49 119,84	20 416,70

Tableau 31 : Application des charges de nutriments de la bibliographie à l'occupation du sol du bassin versant des lacs médocains

Les charges en nitrates restent proches et cohérentes dans l'étude de Beuffe et Laplana et celle de Canton, soit de l'ordre de 213 tonnes pour la première contre 260 tonnes pour la seconde. La principale différence se remarque au niveau des coefficients appliqués aux zones agricoles : le bassin versant des lacs médocains est une zone privilégiée quant aux impacts agricoles d'où des charges moindres par rapport aux zones du bassin d'Arcachon. Cet écart est en partie compensé par les apports issus des forêts. Les coefficients d'exportation forestière ont été calculés comme deux fois moindres sur le bassin d'Arcachon. En outre, selon Canton, les nitrates correspondent à la forme de déplacement privilégiée de l'azote dans le bassin versant¹⁰ : près de 100% de l'azote inorganique disponible se déplace sous forme de nitrates (Canton, 2009, p99¹¹) à cause de l'impact des rejets agricoles qui sont mal compensés par les rejets en azote organique venant des forêts. Ces évaluations correspondent bien aux données de Vernier, Beuffe et Mestelan :

« En terme de spéciation chimique, ce sont essentiellement les nitrates qui caractérisent les flux d'azote minéral produits par le bassin versant mixte ; ils représentent 85% de l'azote total. En ce qui concerne le bassin versant forestier, la forme organique prédomine et représente environ 65% de l'azote total » (1999, p317).

Les totaux du tableau ci-dessus peuvent servir de références par rapport aux résultats des analyses à mener. Leur pondération de 40% sera peut-être à remarquer si les informations du SCOT se confirment.

Concernant le phosphore total, les divergences sont importantes. Les charges sont de l'ordre de 6 tonnes sur le bassin versant selon Beuffe et Laplana, tandis qu'elles atteignent 20 tonnes selon l'étude canadienne. Cette dernière prend en considération un plus grand nombre de paramètres en particulier la production des zones humides (qui disposent d'un coefficient de production élevé) et les zones urbaines. En outre, les coefficients appliqués aux zones agricoles sont bien plus hauts. En prenant en compte les mêmes catégories d'occupation du sol, le décalage se réduit mais demeure doublé selon les coefficients du groupe Hémisphères.

Si ces calculs montrent quelques résultats intéressants (pour les nitrates), il paraît essentiel d'avoir recours à des relevés de terrain pour avoir un suivi des teneurs en nutriments. Avec l'évaluation des débits, il sera possible d'estimer les charges issues de chaque type de bassin versant.

2. L'évaluation des charges atmosphériques

A partir de la bibliographie portant sur des zones proches, il est également possible de calculer les charges atmosphériques en nutriments.

¹⁰ L'addition de l'azote organique, du nitrate et de l'ammonium permet d'évaluer (sauf nitrites considérés comme résiduels, voir Canton, 2009, p211) la charge en azote total.

¹¹ « L'export se fait presque à 100 % sous forme de nitrate alors que le nitrate ne représente que 80 % du flux de DIN issu des parcelles forestières » (Canton, 2009, p99).

Dans une étude de l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) de 2008, l'évaluation des dépôts de polluants a été menée à l'échelle française. Les mesures observées par l'ONF en 2007 sur les dépôts de N-NO₃ sont de l'ordre de 190 à 2 590 kg/km²/an sur le pays. Cette large fourchette correspond bien, selon l'auteur, au modèle mis en place pour évaluer les largages atmosphériques (Figure 11).

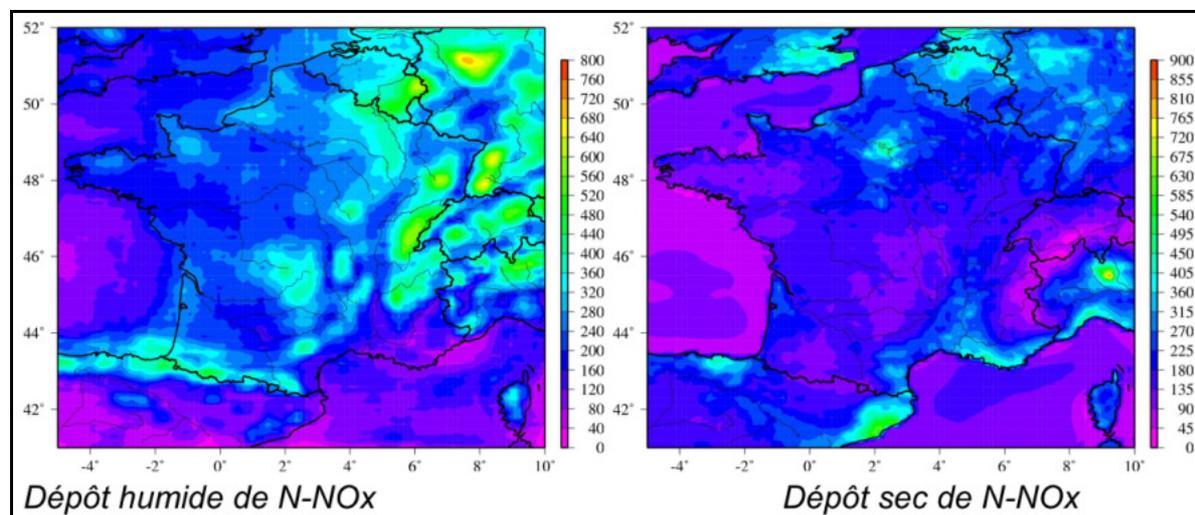


Figure 11 : Cartographie des dépôts azotés simulés en kg/km²/an par le modèle CHIMERE pour l'année 2007

Source : Bessagnet, 2008, p21.

Les dépôts humides sont liés aux précipitations, brumes et brouillards et se retrouvent sur les principaux reliefs. Les dépôts secs sont présents par gravité et diffusion. Le rôle des apports atmosphériques ne doit pas être sous-estimé selon le rapport :

« La littérature montre que dans certains cas cette voie de contamination peut s'avérer très importante voire prépondérante par rapport aux rejets directs. La littérature relève en particulier les cas des polluants organiques persistants (PCB, HAP), des métaux lourds (mercure notamment) et des composés soufrés et azotés (SO_x et NO_x) responsables de l'acidification et de l'eutrophisation des systèmes aquatiques » (2008, p10).

L'impact de ces dépôts atmosphériques est délicat à établir sur les lacs médocains à partir de ces informations. Le bassin versant des lacs apparaît toutefois recevoir des dépôts plus importants par rapport au territoire national (hors des zones de reliefs), en particulier pour les dépôts humides (entre 320 et 360 kg/km²/an sur une partie du bassin versant). Ces dépôts sont plus nombreux « à la fin du printemps lorsque la photochimie permet une production importante d'acide nitrique (HNO₃), les précipitations sont par ailleurs généralement abondantes à cette période » (2008, p22). Ces apports atmosphériques pourraient constituer une piste d'étude quant à la provenance de certains métaux ou polluants régulièrement détectés dans les lacs mais dont les origines ne sont pas établies.

Le travail commun de l'IFREMER, du CEMAGREF, de la SSA et de la SABARC en 1994 donne des précisions sur les rejets atmosphériques à proximité de la zone des lacs médocains. Ce travail se base sur des mesures et des analyses sur plusieurs années couplées aux totaux des précipitations.

Pour la série de mesures faites par l'IFREMER, la moyenne des teneurs en azote minéral total (NH₄ + NO₂ + NO₃) est de 0,65 mg/l contre 0,038 mg/l pour les phosphates (P-PO₄). Les moyennes des deux séries de la SABARC sont de 1,6 mg/l d'azote total et 0,3 mg/l de phosphore total. Avec des précipitations moyennes de 875 mm (calculée entre 1990 et 1993), les apports s'évaluent à 568 kg/km²/an d'azote inorganique et 33 kg/km²/an de phosphates

selon les données de l'IFREMER et 1 400 kg/km²/an d'azote total et 262,5 kg/km²/an de phosphore total avec les données de la SABARC¹² (Tableau 32).

	Apport annuel total en nutriments par les pluies (kg/km ² /an)			
Source de calcul	Azote inorganique	Azote total	Phosphate	Phosphore total
Série IFREMER	568		33	
Série SABARC		1 400		252,5
Synthèse des données bibliographiques	256	1 000	115	51

Tableau 32 : Estimation des apports en azote et phosphore (kg/km²/an) par les eaux de pluie dans le Bassin d'Arcachon

D'après : IFREMER, CEMAGREF, SSA, SABARC, 1994, p33.

Rapportées aux données bibliographiques, ces mesures paraissent surestimer les apports réels (sauf pour le phosphate). Les auteurs indiquent qu'il est possible « *que cette différence provienne d'un échantillonnage insuffisamment étalé dans le temps et/ou du biais engendré par la position du site d'observation à proximité immédiate d'une source d'émission de fumées (Port d'Arcachon)* » (1994, p33). La tendance est toutefois à la hausse globale des apports atmosphériques de nutriments constatés depuis la fin des années 1970.

Canton, dans son étude sur les éléments biogènes du bassin d'Arcachon, trouve des résultats similaires : il mesure à 287 kg/km²/an les rejets atmosphériques d'azote inorganique (2009, p98). Cette donnée est proche des éléments bibliographiques précédents tout en signifiant une tendance à la hausse depuis les années 1990. L'auteur indique également que les précipitations sur le bassin d'Arcachon apportent 34 tonnes de nitrate et 3,5 tonnes de phosphore inorganique par année. Sur les 156 km² du bassin d'Arcachon, les apports en nitrate sont alors de 217 kg/km²/an et ceux de phosphore inorganique de 22,4 kg/km²/an.

La surface des plans d'eau et des marais intérieurs sur le bassin versant des lacs médocains atteint 97,7 km². De ce fait, les apports atmosphériques peuvent être confrontés aux précédents travaux, soit :

Source de calcul	Nitrates	Azote inorganique	Azote total	Phosphates	Phosphore total
Série IFREMER		55 493,6		3 224,1	
Série SABARC			136 780		24 669,25
Synthèse des données bibliographiques		25 011,2	97 700	11 235,5	4 982,7
Série Canton, 2009	21 200,9	28 039,9		2 188,48	

Tableau 33 : Estimation des apports atmosphériques en azote et phosphore (kg/an) sur les plans d'eau et les marais intérieurs du bassin versant des lacs médocains

Quelques indications peuvent être tirées de ces estimations. Si les séries de Canton constituent la référence grâce à des données récentes et proches de notre espace d'étude, elles concordent mal avec une autre série dans son ensemble. Ainsi, les mesures de l'azote inorganique sont-elles proches entre les séries de Canton et celles de la bibliographie, d'autant que l'IFREMER

¹² « *Quoiqu'il ne soit pas exclu que les apports d'azote et de phosphore organique soient effectivement importants dans les eaux de pluie, ces concentrations élevées doivent être considérées avec beaucoup de prudence, étant donné le faible nombre d'échantillons à partir duquel cette moyenne est établie* » (2004, p29).

et la SABARC ont constaté une surestimation de leurs données (sauf pour le phosphate). L'évaluation autour de 25 à 28 tonnes d'azote inorganique sur les lacs médocains paraît donc cohérente. A l'inverse, le phosphate, très sous-estimé dans la série IFREMER, a une valeur proche à celle de Canton : entre 2 et 3 tonnes de phosphates pourraient toucher les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau. La comparaison entre les séries ne peut être menée davantage en raison des fortes divergences entre les éléments restants. Il est intéressant de noter que dans ses mesures Canton note que les nitrates représentent la plus grande part de l'azote inorganique.

Les apports atmosphériques alors estimés peuvent être comparés aux charges issues du bassin versant (comparaison du Tableau 31 et du Tableau 33). La voie atmosphérique amène 10% de nitrates en plus sur les lacs tandis que la proportion des phosphates véhiculés pourrait être équivalente voire plus importante par les airs que par le ruissellement. Des mesures régulières sur l'ensemble du bassin versant des lacs médocains pourraient permettre une meilleure évaluation des apports atmosphériques, que ce soit la participation de leurs nutriments dans les eaux de ruissellement ou l'importance de leur charge directe sur les lacs.

Les charges atmosphériques paraissent jouer un rôle majeur dans les apports directs en nutriments azotés et phosphorés sur les lacs. Leur impact réel serait à déterminer dans des études futures. Leurs effets indirects sur le bassin versant seraient plus délicats à établir mais participeraient au bruit de fond général des nutriments dans les eaux.

D. Les temporalités des flux de nutriments

A partir de l'occupation des sols et des apports atmosphériques, il est possible de catégoriser plusieurs temporalités de diffusion des nutriments. De grandes tendances théoriques peuvent être distinguées pour être comparées par la suite à la réalité des prélèvements et des analyses.

En rapport avec les conditions climatiques, le fonctionnement des crastes est en partie saisonnier. Certaines crastes coulent à longueur d'année, tandis que la majorité sont dépendantes des précipitations. Le drainage des sols par les eaux de pluie manque durant l'été, tandis que les apports atmosphériques et humains continuent. Lors de la réactivation des systèmes et lors des principales précipitations, les teneurs en nutriments pourraient être élevées puisque ces éléments seraient remobilisés et transportés par les eaux après plusieurs mois d'accumulation. L'hypothèse d'un lessivage des nutriments accumulés depuis les saisons sèches est à envisager et à surveiller.

Sauf sources anthropiques, les teneurs devraient diminuer au fur et à mesure des précipitations, suite au lessivage des nutriments stagnant depuis l'été. Certaines précipitations violentes, générant des crues plus importantes, pourraient remettre en mouvement certains éléments jusque-là difficilement mobilisables.

Durant la période printanière avec le réveil de la végétation, les teneurs en nutriments pourraient être à la baisse. La reprise de la croissance végétale pourrait puiser dans les surplus en nutriments pour se développer. La végétation servirait alors d'épurateur naturel. Une diminution des teneurs serait à pondérer : l'utilisation des nutriments par la végétation se fait en parallèle à une consommation en eau.

Cette tendance naturelle est toutefois perturbée par les activités humaines, au moins sur une partie du bassin versant.

Les activités agricoles, dont les pratiques culturales évoluent au fil des saisons, pourraient être pourvoyeuses de plus ou moins de nutriments. Les semis de maïs s'effectuent en général au printemps et nécessitent des apports en engrais. Durant cette période, ces apports pourraient accroître la présence de nutriments dans les crastes. Par la suite, d'autres fertilisations ponctuelles peuvent avoir lieu jusqu'aux récoltes en automne. La mise en place d'autres cultures pouvant s'effectuer à d'autres moments (carotte) de l'année pourrait également générer des flux de nutriments. Ainsi un flux continu de nutriments pourrait-il être décelable dans certaines crastes en fonction des choix de culture. En dehors des périodes de culture, la présence d'une végétation permet de retenir les sols et d'éviter leur érosion et celle de leurs éléments par les eaux et par le vent.

En outre, les périodes estivales bénéficient des pics de population sur le bassin versant. Puisque chaque personne produit une quantité de polluants (dont des nutriments), cette forte présence sur quelques mois pourrait causer des effets indésirables. Les stations d'épuration ont aujourd'hui les capacités pour supporter ces maxima de population. Peut-être d'autres effets indirects sont-ils à prévoir en raison de l'accumulation des populations sur la zone.

L'analyse des eaux des crastes dès la remise en eau des systèmes pourra permettre de valider certaines hypothèses. La décision de mener une campagne de prélèvements répond à ces motivations tout en voulant proposer un état des lieux des nutriments circulant sur l'ensemble du bassin versants des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau.

CONCLUSION

Des flux de nutriments touchent de manière inégale les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau. La situation des lacs apparaît comme convenable dans le cadre français, mais pose des questions face à leur transformation. Les spécificités physiques des lacs favorisent les phénomènes d'eutrophisation ce qui a encouragé à surveiller régulièrement les flux de nutriments dans les eaux des crastes.

Le Lac de Lacanau est le mieux préservé grâce à un renouvellement rapide de ses eaux et peu d'activités « émettrices » sur son bassin versant. Des signes d'eutrophisation demeurent toutefois. Le lac de Carcans-Hourtin connaît encore des flux de nutriments pénalisant la qualité des eaux. La situation s'est améliorée depuis les premières analyses des années 1960. Les différents travaux menés sur la zone ont permis de distinguer des évolutions temporelles et spatiales dans les pollutions. Les zones urbaines ont été émettrices de produits phosphorés avant que des stations d'épuration ne soient capables de traiter la majorité des eaux usées. Les bassins versants agricoles ont généré de forts flux de nitrates jusque dans les années 1990. Depuis, la correspondance entre l'occupation agricole des sols et la dégradation de la qualité des eaux s'est atténuée, bien que des pics de nitrates subsistent à certaines périodes de l'année. Les changements dans les procédés agricoles semblent intervenir dans cette diminution.

Les charges en nutriments véhiculées sur le bassin versant indiquent l'ensemble des flux supportés sur les lacs. Ces charges ont été calculées à partir des données locales ou des synthèses bibliographiques et peuvent servir de repères aux travaux à venir en fonction des décalages constatés.

D'après les constats et les hypothèses tirés de la bibliographie, de nombreux questionnements demeurent et ne seront qu'abordés dans le cadre de cette étude. En premier lieu, les normes de qualité des eaux ont changé alors qu'elles paraissaient jusqu'alors cohérentes. De plus, le problème du seuil de pollution d'une étendue d'eau est toujours la source de discussions entre scientifiques, certains donnant une prévalence à l'azote ou au phosphore, tandis que d'autres justifient des teneurs maximales de polluants dans les eaux que d'autres réprouvent. Enfin, les travaux de prélèvements et d'analyses concernent les eaux superficielles. Les apports par les eaux souterraines et les eaux atmosphériques ne sont pas pris en compte, alors qu'ils peuvent être d'importance (au moins par voie atmosphérique). Les analyses de terrain et leurs résultats devraient permettre de donner un état des lieux précis du système de ruissellement, d'éclairer sur son fonctionnement et d'indiquer les principales orientations afin de réduire les pollutions (si elles sont présentes) sur le bassin versant.

ANNEXES

	Transparence (m.)	pH	Conductivité (μ S/cm)	Nitrates (mg/l)	Azote minéral total (mg/l)	Phosphates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)
juil-80	0,6	7,3	185	0			
juil-81	0,7		235	9,4			
févr-82	0,6		250	1,7			
juil-82	0,5		290	0			
mars-83	0,9		178	1,2			
juil-83	0,8		215	0,5			
févr-84	0,5		190	1			
juin-90	0,7	7,9	286	0,4	0,09	0,098	0,08
juil-90	0,9	7,3	284	0,24	0,05	0,098	0,07
août-90	0,9	7,3	301	0,17	0,05	0,101	0,04
janv-91	0,8	6,8	310	0,7	0,18	0,025	0,09
juin-99	1,4	8,2	291	1,17	0,35	0,058	0,12
juil-99	1	8	240	0,4	0,12	0,095	0,08
août-99	0,8	8	310	0,4	0,12	0,132	0,09
sept-99		7,8	255	0,5	0,15	0,095	0,07
08/04/2004	0,7	7,6	277	1,2	0,32	0,05	0,05
15/06/2004	0,5	7,8	284	1,4	0,38	0,05	0,05
18/08/2004	0,55	8	302	0,5	0,16	0,05	0,05
25/10/2004	0,5	7,6	310	0,5	0,13	0,05	0,05
19/04/2007	0,7	7,87	318	1		0,07	0,05
21/06/2007	0,8		309	1		0,05	0,05
23/08/2007	0,55	7,75	299	1		0,05	0,05
17/10/2007	1	8	343	1		0,05	0,05
05/06/2009	1,5	7,3	310	1,45		0,04	0,02
31/08/2009	1,5	8	349	0,5		0,06	0,02
05/11/2009	1,6	7,9	360	0,25		0,02	0,01
28/01/2010	1,5	7,8	327	1,3		0,039	0,01
04/03/2010	1,2	7,7	320	1,6		0,02	0,01
06/05/2010	1,1	7,7	326	1,4		0,01	0,02
16/09/2010	1,4	8,3	365	0,25		0,01	0,01
09/12/2010	1,4	7,7	350	0,56		0,01	0,01

Annexe 1 : Compilation des données de suivi du lac de Carcans-Hourtin

Source : Agence de l'eau, CEMAGREF, Asconit.

	Transparence (m.)	pH	Conductivité (μ S/cm)	Nitrates (mg/l)	Azote minéral total (mg/l)	Phosphates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)
juil-80	0,9		185	0		0	
juil-81	0,7		235	5,5		0	
févr-82	0,9		220	0,2		0,3	
juil-82	0,9		240	0,4		0,2	
mars-83	0,7		207	1		0,1	
juil-83	1,3		200	0,2		0	
févr-84	0,9		193	0,7		0,1	
juin-90	1,3		233		0,07	0,018	0,04

juil-90	1,5		241		0,13	0,037	0,06
août-90	1,8		250		0,02	0,031	0,03
janv-91	1,6		190		0,08	0,002	0,03
08/04/2004	0,9	6,9	218	1,1	0,36	0,05	0,05
15/06/2004	0,8	7,1	222	0,5	0,24	0,05	0,05
18/08/2004	1	7,4	240	0,5	0,19	0,05	0,05
25/10/2004	1	6,8	241	0,5	0,16	0,05	0,05
08/04/2008	0,8	7,8	256	1		0,05	0,05
10/06/2008	0,8	6,7	242	1		0,05	0,05
20/08/2008	1,5	7,4	259	1		0,05	0,05
14/10/2008	1,6	7,55	264	1		0,05	0,05
05/06/2009	2	7,5	246	0,6		0,02	0,01
31/08/2009	2	7,9	256	0,25		0,03	0,01
05/11/2009	2,4	7,7	272	0,25		0,01	0,01
28/01/2010	2,1	7,7	268	1,34		0,026	0,01
04/03/2010	1,9	7,8	250	1,24		0,031	0,03
05/05/2010	2	7,7	249	0,85		0,01	0,02
16/09/2010	2,4	7,9	282	0,25		0,01	0,01
08/12/2010	2,5	7,5	253	0,25		0,01	0,01

Annexe 2 : Compilation des données de suivi du lac de Lacanau

Source : Agence de l'eau, Asconit.

VALIDATION DES COEFFICIENTS APPLIQUES SUR LES DEBITS :

Date	Q mesuré (m3/s)		Q calculé (m3/s)	écart (m3/s)
	Matouse	Berle de Lupian (14)	Berle de Lupian (14)	
19/03/1962	0,101	0,328	0,39	-0,06
06/05/1962	0,264	0,81	1,02	-0,21
01/12/1962	0,02	0,02	0,08	-0,06
10/01/1963	0,079	0,384	0,31	0,08
18/01/1963	0,135	0,49	0,52	-0,03
29/01/1963	0,068	0,175	0,26	-0,09
14/02/1963	0,24	0,68	0,93	-0,25
17/02/1963	0,25	0,85	0,97	-0,12
26/02/1963	0,2	0,83	0,77	0,06
14/03/1963	0,395	1,58	1,53	0,05
28/03/1963	1,45	4,38	5,60	-1,22
22/04/1963	0,26	0,98	1,00	-0,02
23/05/1963	0,26	0,9	1,00	-0,10

Annexe 3 : Données de la thèse d'Alain Milcent (1963)

Date	Q mesuré (m3/s)	Q calculé (m3/s)		Ecart (m ³ /s)
	Matouse	Grand Lambrusse (1)	Grand Lambrusse (1)	
28/05/1990	0,01	0,419	0,08838	0,33
06/11/1990	0,04	0,493	0,35352	0,14
03/12/1990	0,04	0,957	0,35352	0,60
22/01/1991	0,069	0,84	0,609822	0,23
26/02/1991	0,055	0,621	0,48609	0,13
02/04/1991	0,037	0,256	0,327006	-0,07
23/04/1991	0,019	0,168	0,167922	0,00

14/05/1991	0,025	0,252	0,22095	0,03
30/09/1991	0,012	0,147	0,106056	0,04
21/11/1991	0,246	2,681	2,174148	0,51
28/01/1992	0,058	0,3	0,512604	-0,21
19/03/1992	0,026	0,126	0,229788	-0,10
13/05/1992	0,023	0,165	0,203274	-0,04
	Q mesuré (m3/s)	Q calculé (m3/s)		
Date	Matouse	Queytive (6)	Queytive (6)	écart (m³/s)
15/02/1990	0,078	0,686	0,3795948	0,3064052
28/05/1990	0,01	0,214	0,048666	0,165334
06/11/1990	0,04	0,207	0,194664	0,012336
03/12/1990	0,04	0,382	0,194664	0,187336
22/01/1991	0,069	0,365	0,3357954	0,0292046
26/02/1991	0,055	0,305	0,267663	0,037337
02/04/1991	0,037	0,092	0,1800642	-0,0880642
23/04/1991	0,019	0,065	0,0924654	-0,0274654
14/05/1991	0,025	0,085	0,121665	-0,036665
21/11/1991	0,246	1,303	1,1971836	0,1058164
26/10/1992	0,159	0,812	0,7737894	0,0382106
23/06/1992	0,148	0,649	0,7202568	-0,0712568

Annexe 4 : Données de la DIREN (1990-92)

BIBLIOGRAPHIE

ACHERMANN B., BOBBINK R., 2003, *Empirical critical loads for nitrogen, expert Workshop – Workshop Summary*, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Beme, 11-13 November 2002, 20p.

ACHERMANN B., BOBBINK R., 2003, *Empirical critical loads for natural and semi-natural ecosystems*, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Beme, 128p.

AEE, 2007, *Air pollution in Europe 1990-2004*, Agence européenne pour l'environnement, Copenhague, 84p.

AEE, 2010, *L'environnement en Europe : état et perspectives 2010 – Synthèse*, Agence européenne pour l'environnement, Copenhague, 117p.

AEE, 2011, *Qualité des eaux de baignade européennes en 2010*, Agence européenne pour l'environnement, Copenhague, 48p.

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE, 2005, *Bilan sur la qualité des eaux du Bassin Adour-Garonne en 2004*, Les études de l'Agence de l'eau Adour-Garonne, Toulouse, 52p.

ANCTIL F., ROUSSELLE J., LAUZON N., 2005, *Hydrologie – cheminements de l'eau*, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, 318p.

ASHMORE M., 2003, *Empirical critical loads for nitrogen deposition - a review of their current status*, University of Bradford, Royaume-Uni, 27p.

AYACHE B., 2010, *Gestion des Eaux Souterraines en Région Aquitaine - Système d'Information pour la gestion des eaux souterraines – Module 6 – Année 1*, BRGM/RP-57812-FR, 59 p.

BENGENI D., LIM P., BELAUD A., 1992, « Qualité des eaux de trois bras morts de la Garonne (variabilité spatio-temporelle) », in *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 5, n° 2, p. 131-156, <http://id.erudit.org/iderudit/705125ar>.

BERRYMAN D., 2006, *Établir des critères de qualité de l'eau et des valeurs de référence pour le phosphore, selon les éco-régions : opportunité, faisabilité et premier exercice exploratoire*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Envirodoq ENV/2005/0239, collection QE/167, 32 p.

BERTRIN V., 2006, « Qualité des plans d'eau du littoral landais – Bilan et études en cours », in *Colloque « Lacs et landes »*, Hossegor, 29 avril 2006, pp115-142.

BESSAGNET B., 2008, *Quantification des apports atmosphériques de polluants aux eaux de surface*, INERIS, 38p.

BESSON S., CHASSIGNOL F., MONTAUFIER J.-C., 2006, *Etude hydrologique du lac de Carcans-Hourtin*, mémoire de DESS, EGID Bordeaux, 59p.

BEUFFE H., 1987, *Le lac d'Hourtin et le motonautisme*, CEMAGREF Division qualité des eaux, Bordeaux, Compte-rendu n°50, 13p.

BEUFFE H., LAPLANA R., 1992, *Impact du défrichement à but maïsicole sur la qualité des eaux superficielles en forêt landaise : application à quatre bassins versants tributaires du lac d'Hourtin-*

Carcans, Volet « apports nutritifs », CEMAGREF Division qualité des eaux, Bordeaux, Etude n°58, 38p.

BEUFFE H., LAPLANA R., GAILLARD B., 1994, *Bilan trophique des plans d'eau landais et quantification des apports nutritifs aux étangs d'Aureilhan et Soustons*, CEMAGREF Division qualité des eaux, Bordeaux, Etude n° 67 , 107p.

BEUFFE H., 1994, « Impact des différents types d'activités humaines sur la qualité des eaux de trois lacs aquitains », in *Journées techniques sur les lacs et les étangs aquitains*, Soustons –Carcans, 14-15 mai 1992, 10p.

BEUFFE H. *et al.*, 1998, « Capacité d'assimilation des milieux récepteurs », in *Séminaire Programme GMA 3*, CEMAGREF Division qualité des eaux, Bordeaux, 10p.

BIDON J., 1996, *Quelques aspects du lac de Lacanau*, Certificat international d'écologie humaine, Université de Bordeaux 1, 125p.

BIOTEAU T., BORDENAVE P., LAURENT F., RUELLAND D., 2002, « Évaluation des risques de pollution diffuse par l'azote d'origine agricole à l'échelle de bassins versants : intérêts d'une approche par modélisation avec SWAT », in *Ingénieries*, n°32, pp3-12.

BONNARD R., LAFONT M., LE PIMPEC P., 2003, « Notions d'hydro-écologie et de qualité biologique des eaux courantes », in *Ingénieries*, n°33, pp3-12.

BOUBA-OLGA O., CHAUCHEFOIN P., MATHE J., 2004, *Innovation et territoire : une analyse des conflits autour de la ressource en eau – le cas du bassin versant de la Charente*, Colloque « Les territoires de l'innovation, espaces de conflits », Bordeaux, 18-19 novembre 2004, 26p.

BRAVARD J.-P., PETIT F., 1997, *Les cours d'eau – Dynamique du système fluvial*, Armand Colin, Paris, 222p.

DURST P., 2009, *Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Géologie et hydrogéologie des réservoirs plio-quatérnaires dans le secteur du Bassin d'Arcachon - Module 1 - Année 1*, BRGM/RP-57807-FR, 90p.

CANTON M., 2009, *Dynamique des éléments biogènes dans le continuum fluvio-estuarien de la zone hydrologique d'influence du bassin d'Arcachon*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 229p.

CARVALHO L. *et al.*, 2006, “Nutrients and eutrophication in lakes”, in SOLIMINI A., CARDOSO A.-C., HEISKANEN A.-S. (eds.), *Indicateurs and methods for the ecological status assessment under the Water Framework Directive: Linkages between chemical and biological quality of surface waters*, REBECCA, Italie, pp. 3-32.

CASTILLON P., 2005, « Le phosphore : sources, flux et rôles pour la production végétale et l'eutrophisation », in *Productions animales*, vol. 18, n°3, pp153-158.

CELLAMARE M., 2009, *Evaluation de l'état écologique des plans d'eau aquitains à partir des communautés de producteurs primaires*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 334p.

CEMAGREF, 1987, *Connaissance et suivi de la qualité des eaux lacustres – éléments de réflexion pour l'établissement de protocoles allégés*, CEMAGREF Section qualité des eaux, Bordeaux, Etude n°29, 65p.

CENTRE D'ETUDE TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT DU SUD-OUEST, 1993, *Possibilités de développement de l'urbanisation sur la côte aquitaine, liées à l'assainissement, à son impact sur le*

milieu naturel et aux ressources en eau – Test de la méthodologie sur le bassin versant de Lacanau, CETE, Caupian, 98p.

CHARLES A., 1999, *Impact de la ville de Saint-Denis-de-Pile sur le ruisseau le Lavié : étude physico-chimique*, Mémoire de Master, Université de Bordeaux 3, 60p.

CHAUVET E., PRAT M., TOURENQ J.-N., 1983, « Dynamique des apports en nutriments azotés et phosphores à la rivière Aveyron », in *Annales limnologiques*, Vol. 19, n°1, pp51-58, <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1983006>.

COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE, 2009, *Repères – 10 indicateurs clés de l'environnement*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, www.ifen.fr.

COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE, 2009, *Le phosphore dans les sols – nécessité agronomique, préoccupation environnementale*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, www.ifen.fr.

COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE, 2009, *La qualité des rivières s'améliore pour plusieurs polluants, à l'exception des nitrates*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, www.ifen.fr.

COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE, 2010, *Les nitrates dans les cours d'eau*, Datar, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/fiche/1831/1346/nitrates-cours-deau.html>.

COMMISSION LOCALE DE L'EAU, 2005, *SAGE Lacs médocains – Tendances & scénarios*, CCL, Carcans, 33p.

COMMISSION LOCALE DE L'EAU, 2007, *SAGE Lacs médocains*, CCL, Carcans, 80p.

COMMISSION LOCALE DE L'EAU, 2011, *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux des Lacs médocains – Plan d'aménagement et de gestion durable*, CCL, Carcans, 96p.

COMMUNAUTE DE COMMUNES DES LACS MEDOCAINS, 2010, *Schéma de Cohérence Territoriale des Lacs Médocains*, Rapport sur l'état initial de l'environnement, CCL, Carcans, tome 3, 100p.

COMMUNAUTE DE COMMUNES DES LACS MEDOCAINS, 2011, *Profil des zones de baignade Maubuisson et Place de la Concorde*, CCL, Carcans, 103p.

COMMUNAUTE DE COMMUNES DES LACS MEDOCAINS, 2011, *Profil des zones de baignade Le Moutchic*, CCL, Carcans, 98p.

CORBIER P, KARNAY G. (dir.), 2010, *Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE – Module 7 – Année 2*, BRGM/RP-57813-FR, 184p.

COSANDEY C., ROBINSON M., 2000, *Hydrologie continentale*, Armand Colin, Paris, 360p.

CTGREF, 1975, *Rapport d'étude de grands étangs aquitains*, CTGREF section qualité des eaux, Bordeaux, 92p.

CTGREF, 1979, *Rapport d'étude de grands étangs aquitains*, CTGREF section qualité des eaux, Bordeaux, Etude n°21, 155p.

DAUTA A., 1986, « Modélisation du développement du phytoplancton dans une rivière canalisée eutrophe : le Lot (France) », in *Annales limnologiques*, Vol. 22, n°2, pp119-132, <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1986011>.

DELIGEY D., 1995, *Les grandes exploitations maïsicoles et les composantes environnementales en Gironde*, Mémoire de Maîtrise, Université de Bordeaux 3, 30p.

DUTARTRE A., 2002, « Evolutions récentes des communautés végétales riveraines des lacs et étangs landais », in *Séminaire européen gestion et conservation des ceintures de végétation lacustre Life - nature*, Le Bourget du Lac, 23-24-25 octobre 2002, pp59-79.

ETABLISSEMENT PUBLIC TERRITORIAL DE BASSIN DORDOGNE, 2005, *Contrat de rivière Basse Dordogne*, EPIDOR, Périgueux, 64p.

FREROT A., 2009, *L'eau – Pour une culture de la responsabilité*, Autrement, Paris, 196p.

GAGNON E., GANGBAZO G., 2006, *Dispositifs expérimentaux permettant d'évaluer l'effet de la mise en œuvre de bonnes pratiques agricoles sur la qualité de l'eau*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 8p.

GANGBAZO G., ROY J., LE PAGE A., 2005, *Capacité de support des activités agricoles par les rivières : le cas du phosphore total*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Envirodoq ENV/2005/0096, 36p.

GANGBAZO G., LE PAGE A., 2005, *Détermination d'objectifs relatifs à la réduction des charges d'azote, de phosphore et de matières en suspension dans les bassins versants prioritaires*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Envirodoq ENV/2005/0215, 40 p., <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/reduction.pdf>.

GANGBAZO G. et al., 2006, *Contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole : quelques réflexions basées sur la modélisation de scénarios de pratiques agricoles pour atteindre le critère du phosphore pour la prévention de l'eutrophisation dans la rivière aux Brochets*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 10p.

GAUTIER E., TOUCHART L., 1999, *Fleuves et lacs*, Armand Colin, Paris, 96p.

GIP Aquitaine, 2010, *Plan de développement durable du littoral aquitain 2007-2020*, GIP Aquitaine, Bordeaux, 80p.

GIRAUX P., 1999, *Etude préalable à une démarche de gestion intégrée sur le bassin versant des lacs médocains*, Mémoire de Stage, Bordeaux, 104p.

GIROUX M. et al., 2008, « Relation entre les concentrations en phosphore particulaire et dissous dans les eaux de ruissellement et les teneurs en P total et assimilable des sols pour différentes cultures », in *AgroSolutions*, Vol 19, n°1, pp4-14.

GIS Sol, 2011, *L'état des sols de France*, Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188p.

GRAVELINE N., RINAUDO J.-D., 2006, *Evolution des assolements agricoles dans le Rhin supérieur - Résultats de simulations à l'horizon 2015 pour l'intégration dans des modèles bio-physiques de transferts des nitrates*, BRGM, 77p.

GROUPE DE RECHERCHE INTERUNIVERSITAIRE EN LIMNOLOGIE ET EN ENVIRONNEMENT AQUATIQUE, 2009, *Calcul de la capacité de support en phosphore des lacs : où en sommes-nous ?*, pp1-11, https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1285/F1243089410.Capacit_DeSupportV8.pdf.

GROUPE HEMISPHERES, 2008, *Evaluation du bilan de phosphore du lac Davignon Cowansville – Rapport technique*, Conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska, Cowansville, 65p.

HICAUVERT B., 2008, *La démarche de haute qualité environnementale intégrée à l'étude d'impact de l'implantation d'un golf associé à une opération immobilière – L'exemple du golf d'Andernos-les-Bains*, Mémoire de Master, Université de Bordeaux 3, 100p.

IDRISSI L., 2006, *Nitrates et nitrites – Polluants qui menacent la santé et l'environnement*, in *Technologies de laboratoire*, n°1, pp10-14.

IFREMER, CEMAGREF, SSA, SABARC, 1994, *Etude de la prolifération des algues vertes dans le bassin d'Arcachon*, IFREMER Environnement, 270p.

INERIS, 2008, *Synthèse bibliographique : Expériences étrangères sur l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance des milieux aquatiques*, INERIS, 22p.

ITP, 2000, *Phosphore et environnement*, ITP, 32p.

JACQUET J.M., 1985, *Bilan et modèle d'entrées - sorties du phosphore total dans le Léman*, in *Annales limnologiques*, Vol. 21, n°3, pp177-189.

LAMY M., 1995, *L'eau de la Nature et des Hommes*, PUB, Bordeaux, 230p.

LAPLANA R. *et al.*, 1993, *Développement d'un outil d'aide à la décision en matière de défrichements à vocation agricole*, in *Etudes Production et économie agricole*, CEMAGREF, Bordeaux, 160p.

LAPLANA R. *et al.*, 1995, « Evolution des flux d'azote et de phosphore à l'entrée du delta de la Leyre », in *Le delta de la Leyre*, Actes de colloque, Le Teich, pp33-46.

Laporte D., 1999, *Gestion et aménagement des étangs médocains*, Mémoire de maîtrise, Université de Bordeaux, 194p.

LAVIE E., 2004, *La pollution de l'eau dans l'étang de Carcans-Hourtin (Médoc)*, Mémoire de Maîtrise, Bordeaux, 195p.

LAVIE E., 2005, *Agriculture et qualité des eaux. Des mesures de terrain au système d'information géographique. Application sur les nitrates dans les bassins versants emboîtés de la Save (Boulouze et Montoussé) dans le Gers*, Mémoire de DEA, Université de Bordeaux 3, 126p.

LE GALL A.-C., 2008, *Evaluation des charges critiques pour le milieu aqueux*, INERIS, 42p.

LECLERC M.-C., SCHEROMM P., 2008, *L'eau, une ressource durable?*, CRDP, Montpellier, 192p.

LEPOT B., 2006, *Etat des lieux de la contamination des milieux aquatiques par les substances dangereuses*, Rapport d'étude, INERIS, 131p.

MAGUIRE Y., 1997, *Le bassin versant des lacs médocains (Carcans-Hourtin et Lacanau) : la gestion des eaux de surface et ses conséquences, et analyse spatiale d'un territoire*, mémoire de DEA, Université de Bordeaux 3, 140p.

MAURIZI B., VERREL J-L., 2002, « Des indicateurs pour les actions de Maîtrise des pollutions d'origine agricole », in *Ingénieries*, n°30, pp3-14.

MCMEEKIN K., 2009, *Le bilan de phosphore du lac Bromont : vers l'identification des activités humaines causant les blooms de cyanobactéries*, Mémoire de Maîtrise, Université du Québec, 96p.

MIGLIORE C., 2009, *Les enjeux du développement durable en Médoc*, Mémoire de Master I, Sciences-Politiques Bordeaux, 84p.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PECHE, DE LA RURALITE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 2011, *L'agriculture française en 2010 – Premiers résultats du recensement agricole – Dossier de presse*, 24p, http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/DP_recensement_agricole.pdf.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PECHE, DE LA RURALITE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 2011, *Premières tendances - Aquitaine*, <http://agreste.agriculture.gouv.fr/recensement-agricole-2010/publications-premieres-tendances/>.

MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 2009, *Evaluation de l'état des eaux douces de surface de la métropole – guide technique*, MEEDDAT, Paris, 73p.

MÜLLER B., SCHMID M., 2009, *Bilans du phosphore et de l'oxygène dans le lac de Morat*, Service de l'environnement du canton de Fribourg et du Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud (SESA), pp1-42.

NEMERY J., GARNIER J., BILLEN G., 2003, « Apports diffus et ponctuels de phosphore dans un bassin versant dominé par les activités agricoles : la Marne », in *Journal de Recherche Océanographique*, Vol 28, p177-184.

OCDE, 1999, *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture – Volume 1 Concepts et cadre d'analyse*, OCDE, Paris, 50p.

OCDE, 1999, *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture – Volume 2 Questions clés et conception*, OCDE, Paris, 226p.

OCDE, 2001, *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture – Volume 3 Méthodes et résultats*, OCDE, Paris, 426p.

PELTRE M.-C., LEGLIZE L., SALLERON J.-L., 1993, « Végétation fixée et phosphore en petit cours d'eau. Conséquences d'une réduction des apports de phosphore », in *Bulletin français de Pêche Pisciculture*, n°331, pp357-371, <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1993003>.

PROUDHOM S., 1996, Etude préalable à l'élaboration d'un contrat de lac sur l'étang de Lacanau, Rapport de stage (Direction départementale de l'agriculture et de la forêt de la Gironde) de DESS, Université de Bordeaux 4, 70p.

REDAUD J.-L., 1999, *Planète eau : repères pour demain*, Johanet, Paris, 330p.

REPAR, SIBA, 2011, *Comité de pilotage n°2 « Caractérisation des pratiques phytosanitaires agricoles et non agricoles sur les bassins versants alimentant le Bassin d'Arcachon »*, Réunion du 16 septembre 2011, Talence.

RULLIERE G., FERRAND M., JANET F., CECCON T., 1972, *L'assainissement des eaux du Lac d'Annecy*, in *Options Méditerranéennes*, n°16, pp79-86

SIAEBVELG, Asconit, 2004, *Territoire du SAGE des Lacs Médocains – Etude de la qualité des eaux superficielles*, SIAEBVELG, Carcans, 110p.

SIAEBVELG, 2005, *Territoire du SAGE des Lacs Médocains – Etude de la qualité des sédiments*, SIAEBVELG, Carcans, 51p.

SIAEBVELG, 2006, *Evaluation environnementale du schéma d'aménagement et de gestion des eaux des lacs médocains*, SIAEBVELG, Carcans, 15p.

SIAEBVELG, AQUA CONSEILS, 2007, *Etude préalable à l'entretien du réseau hydrographique du bassin versant des lacs médocains – Phase 1 : Etat des lieux et diagnostic*, SIAEBVELG, Carcans, 118p.

SIMARD G., 2005, *Monitoring and simulation of nutrient transport from agricultural fields*, Master of Science, Université de McGill, 106p.

STEYAERT G., 2009, *La turbidité : un paramètre de la qualité des eaux – Application aux bassins versants de la Couze et du Couzeau (Dordogne, 24)*, Mémoire de Master, Université de Bordeaux 3, 95p.

THÉBAULT J.-M., 1995, Representation of Phosphorus in lake ecosystem models, in *Annales limnologiques*, Vol 31, n°2, pp143-149, <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1995010>.

TORRE M. *et al.*, 1992, « Etude expérimentale de la dénitrification in situ en eaux courantes : application à la rivière Charente », in *Annales limnologiques*, Vol 28, n°3, pp263-271, <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1992023>.

TORRE M., 2000, *Analyse des impacts du motonautisme sur le lac de Carcans-Hourtin*, CEMAGREF Section Qualité des eaux, Bordeaux, Etude n°53, 34p.

TOUCHART L., 2000, *Les lacs – origine et morphologie*, Harmattan, Paris, 208p.

TOUCHART L., 2002, *Limnologie physique et dynamique – une géographie des lacs et des étangs*, Harmattan, Paris, 396p.

VERNEAUX J., GUYARD A., JOLY D., VIDONNE A., 1988, « Etude physico-chimique des sédiments du Lac de St-Point (massif du Jura) : cartographie thématique », in *Annales limnologiques*, Vol 24, n°1, pp15-29, <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1988001>.

VERNIER F., BEUFFE H., MESTELAN G., 1999, « Impact de l'occupation du sol sur la qualité des eaux de l'écosystème sableux landais », in WICHEREK S., *Paysages agraires et environnement : principes écologiques de gestion en Europe et au Canada*, p311-322.

VERNIER F., BEUFFE H., CHOSSAT J.-C., 2003, « Forêt et ressource en eau : étude de deux bassins versants en sol sableux (Landes de Gascogne) », in *Revue Forestière Française*, n°6, pp523-542.

VOJTECH V., 2010, « Les mesures prises face aux problèmes agro-environnementaux », Éditions OCDE, <http://dx.doi.org/10.1787/5kmjrzdr9s6c-fr>.

SOMMAIRE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Principales caractéristiques des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau	7
Tableau 2 : Classification trophique des lacs (OCDE, 1982)	7
Tableau 3 : Etat trophique des lacs de Carcans-Hourtin et Lacanau	8
Tableau 4 : Caractéristiques générales des sous-bassins versants des lacs médocains	9
Tableau 5 : Mesures de certains sous-bassins versants des lacs médocains	11
Tableau 6 : Charges critiques pour l'azote eutrophisant dans les eaux	12
Tableau 7 : Classification SEQ-EAU par paramètres	16
Tableau 8 : Classification DCE Cours d'eau par paramètres	17
Tableau 9 : Classification DCE Plans d'eau par paramètres	17
Tableau 10 : Inventaire des suivis de la qualité des eaux	20
Tableau 11 : Apports et charges des étangs	21
Tableau 12 : Valeurs moyennes de la qualité des eaux des zones de la Pointe Blanche et de la Conche de la Gemme, et du Canal	22
Tableau 13 : Suivi des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau en 2004	23
Tableau 14 : Apports des crastes des bassins versants de Carcans-Hourtin et de Lacanau	24
Tableau 15 : Concentrations moyennes (mg/l)	25
Tableau 16 : Pertes en nutriments en fonction de l'occupation du sol (kg/ha/an)	25
Tableau 17 : Synthèse des pollutions nitratées et phosphatées sur les sites de prélèvement (mg/l)	27
Tableau 18 : Suivi de paramètres sur quelques sites	28
Tableau 19 : Etat des lieux du 23 février 2006	29
Tableau 20 : Coefficients de proportionnalité entre les crastes ($C = Q_{\text{craste}}/Q_{\text{matouse}}$)	29
Tableau 21 : Résultats des analyses physico-chimiques du 28 juin 2007	30
Tableau 22 : Les surfaces occupées dans les bassins versants des lacs médocains	37
Tableau 23 : L'occupation des bassins versants de Carcans-Hourtin et de Lacanau	37
Tableau 24 : Durée de l'interculture	41
Tableau 25 : Populations communales sur le bassin versant des lacs	42
Tableau 26 : Estimation des capacités d'accueil pour la saison 2010	43
Tableau 27 : Stations d'épuration sur le bassin versant	44
Tableau 28 : Synthèse des modèles d'exportation par type d'occupation des sols	47
Tableau 29 : Coefficients d'exportation du phosphore total	48
Tableau 30 : Correspondance entre la légende CLC	49
Tableau 31 : Application des charges de nutriments de la bibliographie à l'occupation du sol du bassin versant des lacs médocains	50
Tableau 32 : Estimation des apports en azote et phosphore (kg/km ² /an) par les eaux de pluie dans le Bassin d'Arcachon	52
Tableau 33 : Estimation des apports atmosphériques en azote et phosphore (kg/an) sur les plans d'eau et les marais intérieurs du bassin versant des lacs médocains	52
Figure 1 : La formation des lacs médocains	5
Figure 2 : Le bassin versant et les sous-bassins versants des lacs médocains	10
Figure 3 : L'évolution des nitrates en France de 1998 à 2007	14
Figure 4 : L'évaluation de la qualité des cours d'eau français (en nitrates)	14

Figure 5 : Les teneurs en phosphore assimilable des horizons de surface des sols agricoles de France par canton	15
Figure 6 : Les livraisons d'engrais phosphatés en France entre 1972 et 2008	16
Figure 7 : L'occupation du sol sur les bassins versants	36
Figure 8 : Zones naturelles du territoire littoral	38
Figure 9 : Evolution de la SAU en Aquitaine entre 1970 et 2000	40
Figure 10 : L'assainissement collectif	45
Figure 11 : Cartographie des dépôts azotés simulés en kg/km ² /an par le modèle CHIMERE pour l'année 2007	51

TABLES DES MATIERES

RESUME	2
PLAN DU RAPPORT	3
INTRODUCTION	4
I. LE CONTEXTE LOCAL ET LES EFFETS DES NUTRIMENTS	5
A. Présentation de la zone d'étude	5
1. Aspects généraux	5
2. Présentation des lacs	6
3. Les bassins versants	9
B. Les effets des nutriments sur le milieu	11
1. Les nutriments azotés et phosphorés dans le milieu	11
2. La place des nutriments	13
3. L'eutrophisation des lacs	18
II. LES CONNAISSANCES SUR LE MILIEU : ETUDES LOCALES ET COMPAREES	20
A. Les études sur les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau	21
B. Les études sur les bassins-versants des lacs médocains	24
C. Quelques études régionales	30
D. Synthèse	32
1. Les principaux résultats	32
2. Des pistes de réflexion	33
III. L'OCCUPATION DU SOL ET L'EVALUATION DES CHARGES EN NUTRIMENTS	35
A. L'évolution de l'occupation du sol	35
B. L'occupation du sol	35
1. Un espace protégé	37
2. La sylviculture	38
3. L'agriculture	40
4. Zones urbaines et tourisme	42
C. Les méthodes d'évaluation des charges en nutriments	46
1. Les charges de nutriments dans le ruissellement	46
2. L'évaluation des charges atmosphériques	50
D. Les temporalités des flux de nutriments	53
CONCLUSION	55
ANNEXES	56
BIBLIOGRAPHIE	59
SOMMAIRE DES TABLEAUX ET FIGURES	66
TABLES DES MATIERES	68