



**HAL**  
open science

# La géographie appliquée en géographie limnologique. Le rôle des géographes dans la vie de la cité.

Véronique Maleval

## ► To cite this version:

Véronique Maleval. La géographie appliquée en géographie limnologique. Le rôle des géographes dans la vie de la cité.. Géographie. Université d'Orléans, 2018. tel-01895606

**HAL Id: tel-01895606**

**<https://hal.science/tel-01895606>**

Submitted on 16 Oct 2018

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

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

# HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES EN GÉOGRAPHIE

Présentée et soutenue le 18 juin 2018 par

*Véronique MALEVAL*

**LA GÉOGRAPHIE APPLIQUÉE EN GÉOGRAPHIE LIMNOLOGIQUE.  
LE RÔLE DES GÉOGRAPHES DANS LA VIE DE LA CITÉ.**

Volume 2 – Position et projet scientifique

Devant un Jury composé de :

## RAPPORTEURS

**Nathalie CARCAUD**, Professeure des Universités, Université d'Angers  
**Damien BANAS**, Professeur des Universités, Université de Lorraine  
**Laurent LESPEZ**, Professeur des Universités, Université de Paris Est Créteil

---

## EXAMINATEURS

**Pascal BARTOUT**, Maître de conférences HDR, Université d'Orléans  
**Pierre-Gil SALVADOR**, Professeur des Universités, Université de Lille

---

## PARRAIN SCIENTIFIQUE

**Laurent TOUCHART**, Professeur des Universités, Université d'Orléans



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	7
<b>PREMIÈRE PARTIE – LE RÔLE DU GÉOGRAPHE DANS LA VIE DE LA CITÉ</b> .....	13
<b>1 – GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET APPLIQUÉE : CONSTAT, HISTOIRE ET CRITIQUE</b> .....	14
1-1 – Constat actuel du ressenti d'un petit panel de géographes physiciens .....	14
1-2 – Éléments de compréhension : l'évolution chaotique de la géographie physique appliquée .....	15
<b>2 – DISCUSSION AUTOUR DE NOS TRAVAUX DE GÉOGRAPHIE ENVIRONNEMENTALE APPLIQUÉE</b> .....	28
2-1 – Nos méthodes de travail et la présentation de nos travaux .....	29
2-2 – Nos travaux appliqués peuvent-ils être assimilés à de la recherche scientifique ? .....	36
2-3 – Quel est le bilan de nos activités scientifiques appliquées ? .....	39
<b>SECONDE PARTIE – L'ASPECT UTILITAIRE DE LA GÉOGRAPHIE LIMNOLOGIQUE : EXEMPLE DE L'ÉTUDE LIMNOLOGIQUE DU LAC DE SAINT-GERMAIN-DE-CONFOLENS</b> .....	47
<b>1 – PRÉSENTATION DU LAC ET DE L'ÉTUDE</b> .....	48
1-1 – Le lac de Saint-Germain en Confolens et son bassin versant .....	48
1-2 – Contexte et objectifs de l'étude .....	49
<b>2 – MÉTHODOLOGIE</b> .....	50
2-1 – Pour l'étude sédimentaire du lac .....	51
2-2 – Pour l'étude qualitative de l'eau du lac .....	57
2-3 – Pour l'étude de l'occupation du sol du bassin versant du lac .....	60
<b>3 – RÉSULTATS</b> .....	61
3-1 – La sédimentologie du lac .....	61
3-2 – La qualité de l'eau du lac .....	76
3-3 – Les causes extérieures à la situation qualitative et quantitative du lac .....	92
<b>4 – DISCUSSION...</b> .....	107
4-1 – ... sur l'occupation du sol .....	107
4-2 – ... sur le bilan des flux entrant et sortant .....	110
4-3 – ... sur la dynamique et le bilan sédimentaire .....	112
4-4 – ... sur la qualité de l'eau du lac .....	116
<b>5 – CONCLUSION ET POSSIBILITÉS D' ACTIONS</b> .....	129
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	135
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	139



*Il y a la recherche tout court, qui élabore des concepts, qui met au point des méthodes, qui nous donne une vision plus exacte de la Nature, à partir de laquelle le chercheur a le devoir de rechercher des applications en faveur du bien commun.*

*Jean Tricart, 1978, p. 58.*



## INTRODUCTION

Comme l'a révélé le contenu du premier volume de cette HDR, nous avons consacré nos années de recherche universitaire à abonder les connaissances fondamentales de la géographie limnologique grâce aux programmes académiques (AUF, ANR, PHC), tout en œuvrant pour la géographie appliquée par le biais de contrats, pour rendre la recherche utile à la société civile. En effet, venir en AIDE à tous les acteurs des milieux aquatiques qui le demandent, est, et a été, le fil conducteur de nos activités scientifiques. Réfléchir aujourd'hui à cette thématique sous ses multiples aspects, qu'ils soient positifs ou négatifs, permet alors de discuter du rôle du géographe dans la vie de la cité tout en justifiant notre pensée et nos recherches géographiques par une réflexion épistémologique. Cependant, il convient auparavant dans cette introduction, de définir ce que sont la géographie appliquée et la géographie limnologique.

Globalement, la géographie, science depuis l'Antiquité devenant un métier au XX<sup>e</sup> siècle, est façonnée par deux composantes : la scientifique qui décrit, analyse et fait la synthèse des données naturelles et humaines d'un espace géographique, grâce à des méthodes rigoureuses, et l'appliquée qui met ce savoir au service de l'action car « toute bonne étude géographique est susceptible d'apporter une information, donc d'être utilisable » (Beaujeu-Garnier, 1975, in Robic et al., 2011, p. 315). Le terme de géographie appliquée, tel qu'il a été utilisé par Michel Phlipponneau dans son ouvrage de 1960, *Géographie et action. Introduction à la géographie appliquée*, est traduit d'une locution britannique utilisée vraisemblablement « pour la première fois par H.J. Heberston vers 1890 et popularisée par l'école de L. Dudley Stamp » (Phlipponneau, 1999, p. 22), lui-même ayant publié la même année, *Applied geography*. À la différence des travaux de « science pure » destinés à parfaire les connaissances, la géographie appliquée répond à une finalité pratique, celle d'être utile, de répondre à la demande d'un utilisateur, qu'il soit politique, gestionnaire ou simplement une personne privée, et ce, avec les mêmes méthodes de recherche, la même nécessaire objectivité (Juillard, 1962). Et c'est le maréchal et ingénieur Vauban (1633-1707) qui apparaît comme le « père » de la géographie appliquée, « ce n'est pas qu'il soit le premier à mettre les recherches géographiques au service de l'action, mais il est bien le premier à préconiser leur emploi systématique » (Phlipponneau, 1960, p. 20). L'objectif de la recherche appliquée « est de trouver une solution ou de faire des propositions ou des recommandations » (Gumuchian et al., 2000, p. 80 et suiv.), sur une question ou un problème liés à l'aménagement ou à l'environnement. Il s'agit donc d'une aide à la décision.

La géographie appliquée doit être distinguée de la recherche-action même si, dans l'esprit de nombreux géographes, elles correspondent à la même chose, dans la mesure où la recherche-action s'inscrit aussi comme une réponse à des questions d'actualité émanant des acteurs de la société civile. Néanmoins, elle « joue un rôle critique par rapport à la science que l'on pourrait qualifier d'institutionnelle », et peine « à trouver pleinement sa place entre recherche fondamentale et recherche appliquée » (Gumuchian et al., 2000, p. 85).

Si l'étude des lacs dans leur ensemble est désignée par la limnologie, terme créé en 1892 par François-Alphonse Forel pour qualifier « l'océanographie des lacs », selon une démarche géographique englobante, depuis la création de l'Association Internationale de Limnologie en

1922 par le biologiste allemand August Thienemann, cette discipline, en étant presque exclusivement dominée par la biologie (Naumann, 1931, Rawson, 1942, Welch, 1952, Ruttner, 1963, Golterman, 1975, Margalef, 1983, Stella, 1984, Schwoerbel, 1987, Wetzel, 2001 et Akbulut N.E., 2004 in Touchart *et al.* 2014), en lien avec la dégradation des eaux, s'est éloignée des sciences humaines. Ce n'est que plus tard, après 1992, que le plan d'eau, lac ou étang, est devenu, comme le souhaitait Forel, un réel objet de recherche placé au cœur du fonctionnement hydrographique (Touchart *et al.*, 2014). Cette mise en avant menée par Laurent Touchart inscrit la refondation de la géographie limnologique en France (Broc, 2010), courant très bien décrit par Pascal Bartout (2015) qui apporte à la géographie un nouvel et complet objet d'étude : le plan d'eau pris en tant que système à part entière, qu'il soit naturel ou artificiel, son bassin versant ainsi que son bassin de vie (Touchart *et al.*, 2014). En effet, pour être complète, l'homme et ses activités doivent être intégrés à chaque étude lacustre environnementale car, pendant trop longtemps, l'importance, pourtant déterminante, des interventions anthropiques a été sous-estimée dans le fonctionnement de ces milieux (Bernard, 2005, Finger-Stich, 2013, Bouleau & Pont, 2014, in Bartout, 2015). Ainsi, la géographie limnologique française, en mettant en contact le lac, le bassin versant et ses acteurs, enrichit la limnologie notamment par la prise en compte des faits, passés et présents, de société (Touchart *et al.*, 2014). Cette évolution thématique, qui permet de croiser des données humaines comme l'histoire et l'économie d'un bassin, et des données naturelles telles l'hydrologie, la morphologie ou la physico-chimie de ce même bassin, apparaît indispensable aux problématiques actuelles de la gestion des milieux aquatiques. Ainsi, la géographie limnologique permet plus facilement à la limnologie, recherche fondamentale principalement axée sur les thématiques biologiques, d'être aussi une recherche appliquée au service des territoires.

La gestion de l'eau et des plans d'eau se trouve ainsi au cœur de la géographie limnologique et, aujourd'hui, avec l'importance grandissante des questions environnementales, les propriétaires ou gestionnaires de milieux aquatiques ont une réelle volonté de gestion optimale de leurs plans d'eau (dans toute leurs dimensions ou d'une partie). Trois exemples peuvent être donnés, le premier sur la question de l'érosion, le deuxième sur celle de l'envasement, et le troisième sur le problème de la qualité de l'eau :

- les rivages des lacs évoluent sous l'action de processus mêlant érosion et sédimentation, où l'eau apparaît sans doute comme l'élément à l'action morphogène la plus importante. La vitesse et l'ampleur de l'érosion vont alors dépendre de la nature du substrat, du couvert végétal, de l'exposition de la berge et de la quantité d'énergie disponible, sans oublier le marnage des plans d'eau (Maleval et Astrade, 2003). L'érosion modèle la majorité des littoraux lacustres selon des rythmes différents, pour atteindre une position d'équilibre (Baxter et Glaude, 1980). « Ce modelage se produit sous l'effet combiné des processus naturels et d'actions anthropiques » (Maleval et Astrade, 2003, p. 29). Mais bien souvent, l'homme, pour protéger les aménagements situés juste en arrière du trait de côte, empêche l'acquisition de la position d'équilibre des littoraux en installant des ouvrages en dur destinés à contrer l'érosion. Le choix de ces ouvrages de protection constitue cependant un problème récurrent qui concerne l'ensemble des rivages (Boillat *et al.*, 2006), qu'ils soient marins, océaniques ou lacustres tant leurs effets peuvent être néfastes. « Ces aménagements ne constituent pas une solution à long terme contre l'érosion car ils accentuent la réflexion des vagues, entraînant un

affouillement du pied de la rive et le transport de sédiments au large » (Matthey *et al.*, 2004, p. 16) et créent, dans les lacs, un obstacle empêchant le développement d'une ceinture de végétation naturelle. Ainsi, sur ce sujet, l'objectif de la géographie limnologique est d'éclairer les gestionnaires sur les processus de l'érosion littorale, sur ses causes, naturelles et humaines, ainsi que sur les conséquences de l'aménagement d'ouvrages de protection en dur pour pallier à l'érosion.

- Les lacs aménagés sur le cours d'une rivière fonctionnent souvent comme un réceptacle pour l'eau et les produits solides et dissous, provenant de l'érosion du bassin d'alimentation et des processus internes au lac comme l'érosion des marges littorales. Toutes les matières qui ne sont pas évacuées par l'émissaire se répartissent et s'accumulent dans la cuvette lacustre. En profondeur, celle-ci se transforme alors progressivement par un envasement lié aux dépôts d'éléments à la fois détritiques et biogènes. Si de nombreuses études ont porté, partout dans le monde, sur la caractérisation physico-chimique et biologique des sédiments (Jung *et al.*, 2007, Konan *et al.*, 2013, Jenny, 2013, Thévenon *et al.*, 2014, Kouakou *et al.*, 2014, Guédon *et al.*, 2014), peu apprécient la morphologie et l'évolution des fonds : quelques auteurs ont travaillé sur la répartition des sédiments (Sikirdji, 1982, Peiry, 1988, Maleval, 2002, Konan *et al.*, 2013) et leur quantification (Maleval, 2002, Chassiot, 2015) dans le but d'établir un bilan sédimentaire lacustre (Maleval, 2006). Cependant, si les effets de la sédimentation sur les lacs de barrage sont multiples, le plus important, d'ordre physico-économique, est la réduction de la capacité utile du réservoir puisque tout lac est inexorablement condamné à se combler (Morris et Fan, 1998). Ce devenir contrarie alors les activités liées au lac dont l'alimentation en eau potable ou l'écrêtage des crues, voire la sécurité de l'ouvrage (Andrieu *et al.*, 1997 ; Derville *et al.*, 2001). Ainsi, l'objectif de la géographie limnologique est d'apporter aux gestionnaires des connaissances sur l'envasement et ses causes, en mettant en avant les processus lacustres et humains pour, *in fine*, assurer durablement la fonction du plan d'eau.

- Si l'évaluation de la qualité sanitaire de l'eau des milieux aquatiques (essentiellement selon des critères bactériologiques et physico-chimiques) émane de circulaires nationales issues du code de la santé publique mis à jour au 1<sup>er</sup> janvier 2017, la qualité écologique est organisée au niveau européen par la directive-cadre européenne sur l'eau (Directive 2000/60/CE) et transcrite en France par la loi sur l'eau et les milieux aquatique (LEMA) de 2006. Toutefois, la DCE, qui définit les objectifs de qualité écologique des milieux aquatiques (état bon ou mauvais) et des conditions de référence (Steyaert et Ollivier, 2007), ne s'applique pas aux plans d'eau de moins de 50 ha (Dufour et Piégay, 2009, Finger-Stich, 2013). Cette restriction a été particulièrement étudiée et critiquée par les géographes-limnologues dont l'objet d'étude est l'étang (Bartout et Touchart, 2015, 2013), car la gestion et l'évaluation de leur qualité amènent de fait, à des connaissances partielles, c'est-à-dire limitées aux usages définis par les gestionnaires (Mitroi *et al.*, 2016). En effet, les exigences de qualité de l'eau des milieux aquatiques varient selon leurs usages : si les activités de pêche ne requièrent aucun suivi particulier, la baignade nécessite un suivi approfondi, tout comme les eaux destinées à l'alimentation en eau potable qui doivent répondre à certaines normes de qualité (Reignier et Kerrien, 2015), régies par la directive 1998/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Ces normes portent sur de multiples paramètres, notamment biologiques, physico-chimiques et radiologiques, permettant aux agences régionales de santé

de classer l'eau en trois catégories de qualité décroissante (A1, A2 et A3), afin de définir les traitements de l'eau brute (clarification, désinfection, affinage) visant à réduire la concentration ou à éliminer les substances dissoutes ou en suspension pour que l'eau atteigne la qualité sanitaire nécessaire à la distribution. Parce que cette question de la qualité peut être un défi pour certains réservoirs, tant certaines perturbations et pollutions peuvent contrarier les fonctions des plans d'eau, l'objectif de la géographie limnologique est d'apporter des connaissances aux gestionnaires sur la qualité de l'eau, en mettant en avant les paramètres environnementaux en charge de son évolution de façon à assurer durablement les usages des milieux aquatiques selon les normes qui y sont liées.

Ces trois exemples révèlent les possibilités de la géographie limnologique dans la gestion des milieux aquatiques. Pour cette raison, les gestionnaires ayant besoin de l'aide de spécialistes, font appel aux géographes limnologues. Le but étant de répondre aux questions concrètes et pragmatiques des gestionnaires tout en préconisant des actions et des mesures optimales de gestion, conservation ou restauration.

Par exemple, sur la question de l'érosion, pour éviter l'aménagement d'ouvrage en dur sur le trait de côte, des interventions pionnières offrant non seulement une certaine efficacité mais aussi une intégration paysagère, ont été entreprises (Boillat *et al.*, 2006), grâce à l'ingénierie éco-morphologique qui crée des aménagements intéressants de génie biologique, mais encore trop faiblement exploités (Iseli & Wehrli, 1995 *in* Boillat *et al.*, 2006). En France, la reconquête des berges du lac du Bourget, engagée en 2000 par le Conseil Général de la Savoie, vise à leur « redonner un caractère naturel par la création de plages et roselières pour permettre aux hommes et à la nature de vivre en harmonie durablement » (Lotito, 2011). En Suisse, le passage d'un milieu artificialisé à « naturel » (exemple de la démolition des enrochements au lac de Zurich pour créer la plage de Cerlier) est devenu une obligation pour les cantons depuis janvier 2011, grâce à une loi fédérale (Huber, 2014), et d'ici à 2030, de nombreux projets verront le jour, notamment dans le canton de Genève (Pidoux, 2014). L'objectif de ces actions est de protéger, revaloriser et revitaliser par le génie biologique, pour favoriser le développement durable et naturel des littoraux atteints par l'érosion. L'avantage étant que si la renaturation sert à la nature à la mauvaise saison (protection naturelle), elle sert aussi à l'homme à la belle saison, car il se réapproprie le milieu naturel auparavant inaccessible (De Cesare, 2014). L'objectif de la géographie limnologique est donc de proposer des méthodes douces et durables pour la protection des littoraux lacustres, fragiles, rares et convoités.

Sur la question de la sédimentation et de la qualité de l'eau, après la définition des sources de sédiments et de pollution expliquant l'envasement des cuvettes lacustres, la dégradation des eaux et les problèmes qui leur sont liés (comme la diminution du volume utile ou les problèmes de potabilité), la géographie limnologique préconise des actions visant à diminuer les pressions anthropiques et à améliorer la qualité de l'eau. Ainsi, dans le cadre de sédiments et de pollution provenant du bassin versant d'un lac, il peut s'avérer nécessaire de sensibiliser les hommes sur leurs pratiques et leurs conséquences, afin de réduire l'érosion des sols et le transfert de polluants (exemple des agriculteurs et de leur méthode de travail du sol ou encore des propriétaires d'étangs sur leur calendrier de vidange). Il peut être également envisagé des travaux légers comme les fosses destinées à retenir les sédiments et les matières polluantes avant qu'ils n'arrivent au lac (Jigorel *et al.*, 2003).

Cette démarche inédite de la géographie limnologique aide les gestionnaires à faire des choix politiques objectifs et raisonnés.

En partant d'un constat simple, celui qu'une partie des géographes physiciens français portent sur leur travail universitaire, la première partie de ce second volume traite du rôle du géographe dans la vie de la cité, du XIXe siècle à aujourd'hui, et permet ainsi de montrer que le sentiment actuel des géographes physiciens est, sans doute, le résultat du cheminement d'un long fleuve... pas toujours tranquille ! Elle sera également l'occasion de discuter des différents aspects de nos travaux de géographie appliquée dans le domaine limnologique, pour montrer, en autres, les consolidations scientifiques, les critiques ou encore les dérives. La seconde partie présentera le cœur de nos recherches universitaires d'aide à la gestion, en s'intéressant au lac charentais de Saint-Germain-de-Confolens.



## PREMIÈRE PARTIE

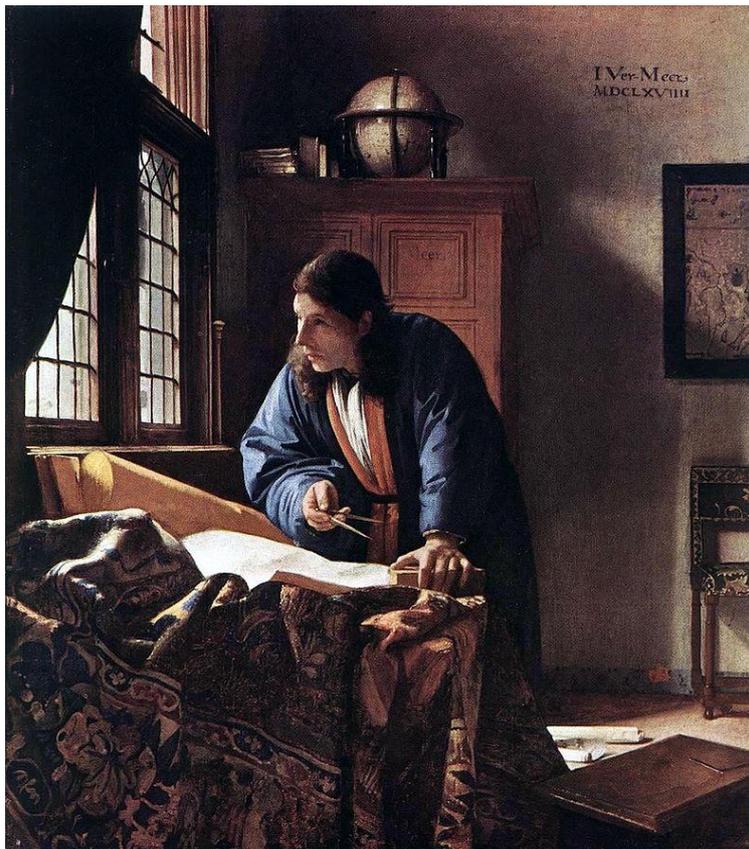
### LE RÔLE DU GÉOGRAPHE DANS LA VIE DE LA CITÉ

*Napoléon n'a cessé de se passionner pour la géographie, mais cette discipline, en principe désintéressée, est devenue progressivement pour lui un instrument de pouvoir.*

*A l'intérieur, comment mener une politique efficace sans une connaissance précise des territoires ? A l'extérieur, comment conduire des actions diplomatiques ou militaires sans de bonnes cartes et sans des descriptions topographiques détaillées ?*

*Quand on connaît la passion réformatrice de Napoléon, quand on le suit dans ses déplacements incessants à travers l'Europe, on ne saurait s'étonner de voir fleurir sous le Consulat et sous l'Empire une certaine géographie résolument tournée vers l'action.*

Numa Broc (2010), p. 13.



*Le géographe* de Johannes Vermeer, 1669  
(Huile sur canevas, 53 x 47 cm, Francfort).

## 1 – GEOGRAPHIE PHYSIQUE ET APPLIQUÉE : CONSTAT, HISTOIRE ET CRITIQUE

Pour rappel, l'expression *géographie physique* provient de l'*Essai de géographie physique* (1752) de Philippe Buache, géographe du roi. Si par la suite, cette expression a été plus ou moins utilisée ou remplacée par *histoire naturelle* ou *géographie de la nature* (1780), elle a été imposée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, par Albert de Lapparent, géologue puis géomorphologue, après que Louis Figuiet, écrivain, Elisée Reclus en 1868 et Paul Vidal de La Blache en 1883, tous deux géographes, l'aient choisie pour leur ouvrage<sup>1</sup> (Broc, 2010). Cette science s'intéressant aux aspects naturels de la Terre a été, pendant plus d'un demi-siècle, « envisagée en France dans toute son ampleur » grâce au *Traité de géographie physique* d'Emmanuel de Martonne en 1909 (Broc, 2010, p. 8), reliant toutes les branches de la géographie physique. Le traité conduit à une vision globale du milieu et au succès de la géographie physique (Claval, 1998). C'est ainsi qu'il convient de rappeler qu'à l'origine, la discipline géographique était de la géographie physique : « Pendant fort longtemps, la *géographie* s'est surtout intéressée aux aspects naturels de la Terre et l'utilité de lui adjoindre un qualificatif n'apparaissait pas » (Broc, 2010, p. 7). De fait, la *Géographie Universelle* de Malte-Brun à partir du XIX<sup>e</sup> traite du monde sous son aspect physique (Broc, 2010). Si les questions humaines et économiques datent du début du XX<sup>e</sup> siècle, elles n'ont attiré l'attention qu'à sa fin (Claval, 1973).

### 1-1 – Constat actuel du ressenti d'un petit panel de géographes physiciens

En partant du fait que « la géographie physique possède une longue tradition d'implication et de gestion de l'environnement dans des milieux biophysiques très divers » (Lespez *et al.* 2017), une première demi-journée d'échange a été organisée en septembre 2017 à l'Ecole Nationale Supérieure de Paris, pour réfléchir collectivement aux enjeux de la géographie physique depuis l'émergence de la géographie de l'environnement, par la relation de la recherche appliquée et de la gestion. Une dizaine de géographes physiciens, principalement des géomorphologues, provenant de Lyon, Paris, Caen, Brest, Rennes, Angers et Limoges, ont partagé leur expérience et échangé sur 1) l'avenir de la géographie physique en France, et 2) les types de relations existants entre le monde scientifique et la sphère opérationnelle, en répondant notamment, à des questions sur l'expertise, la production de données et leur utilisation.

Si les discussions ne reflètent que les avis des universitaires présents, de mon point de vue, le bilan des discussions semble inquiétant tant les géographes physiciens se sentent en retrait, mais se mettent également eux-mêmes en retrait. En effet, sur la question de l'avenir de la géographie physique en France, la majorité des avis sont négatifs depuis l'émergence, en lien avec l'évolution de la discipline, de la géographie de l'environnement prenant en compte l'homme dans les études, puisqu'il existe une interaction des faits naturels et des faits sociaux. La géographie physique pure, souvent dénigrée par les géographes non physiciens, aurait alors semble-t-il un problème existentiel car, même si elle existe et est active, elle manquerait de visibilité, et les seuls à parler de géographie physique seraient les géographes de l'environnement ou, de façon négative, les géographes humains qui la combattent, sur un ton moins académique qu'ironique. Est-ce de l'humilité ou de la bêtise de la part des géographes

---

<sup>1</sup> Description physique du globe pour Figuiet (1864), Description des phénomènes de la vie du globe pour Reclus et Géographie physique et économique pour Vidal de La Blache.

physiciens de ne pas se mettre en avant ? Une certaine forme de frustration est donc ressentie par la majorité des géographes physiciens qui se posent la question de savoir si la géographie physique n'est pas en cours de disparition, d'autant qu'au fil du temps et des maquettes, son enseignement a disparu dans de nombreuses universités comme à Limoges ou dans 5 des 10 universités parisiennes, remplacé par des cours de géographie environnementale, et que « dans la nomenclature des familles disciplinaires des cursus universitaires de 2006, la géographie physique fait partie des sciences de l'univers et non plus de la géographie » (Gautier et al., 2016, p. 330). De plus, comme l'ont écrit Marc Calvet et Christian Giusti dans la postface de l'ouvrage de Numa Broc, il n'existe plus que trois laboratoires de recherche CNRS associés à une université, dévolus exclusivement ou majoritairement à la géographie physique (Edytem à Chambéry, Géolab à Clermont-Ferrand-Limoges et Pierre Birot à Meudon). C'est ainsi que les effectifs des géographes physiciens sont faibles car ils « n'ont jamais atteint le tiers du total des géographes » (Calvet et al., 2010, p. 690) et qu'ils sont en constante diminution. Cela explique peut-être en partie la faiblesse du nombre des universitaires présents à cette demi-journée d'échange.

Sur la question de la géographie physique appliquée, les géographes présents ont pratiquement tous été sollicités à un moment donné, par un organisme ayant besoin de faire appel à des experts, pour avoir des réponses claires sur un point précis. Cela apparaît bien évidemment logique, dans la mesure où, compte tenu de nos nombreuses années de spécialisation thématique, nous sommes et apparaissions comme des experts dans notre domaine. Nous devons ainsi mettre en œuvre tous nos moyens (méthodes rigoureuses, instrumentation pour produire des données propres à un site, analyse des résultats, comparaison avec des données existantes, critiques et proposition de solutions adaptées) pour apporter notre aide, conseiller, aider les demandeurs à faire les bons choix et répondre aux questions posées. Cependant, trop de géographes physiciens se sentent mal à l'aise avec le rôle d'expert, ont des difficultés à l'assumer mais également des difficultés pour s'engager ou se positionner, par exemple sur une action à mener ou un avis à donner : le retrait domine. Pourquoi ? Ne serait-ce pas, en partie, dû à l'histoire difficile de la discipline ?

## **1-2 – Éléments de compréhension : l'évolution chaotique de la géographie physique et de la géographie appliquée**

Trois auteurs français apparaissent, parmi d'autres, résolument incontournables pour traiter de cette partie sur les éléments de compréhension de l'évolution de la géographie. Tout d'abord, deux géographes humains, le premier, Michel Philipponneau, géographe urbain tourné vers l'action, a publié, en 1960, *Géographie et action. Introduction à la géographie appliquée*, puis en 1999, *La géographie appliquée. Du géographe universitaire au géographe professionnel*. Le second, Numa Broc, épistémologue, a écrit, en 2010, *Une histoire de la géographie physique en France*. Et, un géographe physicien, Jean Tricart, géomorphologue, a publié en 1962, *L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée*, puis, en 1978, une brillante synthèse intitulée *Géomorphologie applicable*. Il en a fait en effet consacrer de nombreuses années de sa carrière à montrer l'importance des débouchés de la géomorphologie pour l'aménagement, afin que celui-ci soit le plus rationnel possible.

L'histoire de la géographie appliquée, chère à Michel Phlipponneau, ne peut se faire qu'au regard de la géographie fondamentale et, comme l'ont perçu et montré Philippe Pinchemel (1996) et Michel Phlipponneau (1999), géographie fondamentale et appliquée n'ont pas existé de façon égale à partir de la Grande Guerre. Auparavant, c'est l'aspect utilitaire qui était, depuis l'Antiquité, le seul aspect géographique pour 1) parfaire la connaissance de la terre grâce aux explorations et à la découverte de nouvelles contrées, et 2) servir à l'aménagement, comme faire des choix efficaces d'implantation de nouvelles voies de communication (routes, canaux) notamment, grâce à la prise de conscience de certains phénomènes géomorphologiques dès le XVIII<sup>e</sup> siècle (Tricart, 1962), et grâce aux cartes ; celles de Cassini jusqu'au 1<sup>er</sup> Empire, les cartes de l'État-Major conçues à des fins militaires, dont la réalisation s'étale de 1818 à 1878, et les cartes au 1 :50 000 à fin civile, dès 1898 (Broc, 2010) : « l'homme désire connaître et comprendre le cadre dans lequel il vit et qu'il peut aménager » (Phlipponneau, 1960, p. 16). La géographie organisait les connaissances.

### **1-2-1 – De la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à aujourd'hui, une coexistence difficile mais pas impossible a – À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : le prestige géographique et une géographie appliquée marginale**

À partir de 1850, les différentes branches de la géographie physique ont émergé, suivies, à partir de 1864, de la géographie économique. Et, grâce à l'apparition de la géographie à l'université, d'abord en sciences en 1886, puis en Lettres, avec la présence de Vidal de La Blache à Nancy, à partir de 1872 (puis à la Sorbonne après 1899), la discipline a trouvé son unité. « D'une géographie d'amateurs ou de non-spécialistes, on passera ainsi assez vite à une géographie de professionnels, de *vrais* géographes » (Broc, 2010, p. 88). Vidal, qui insistait « sur l'importance d'une bonne connaissance de la géographie physique » (Claval, 1998, p. 146), « n'a cessé de rechercher les liens complexes qui unissent les hommes à leur milieu physique » (Broc, 2010, p. 213). C'est au XX<sup>e</sup> siècle que son influence a été la plus sensible grâce à la fascination pour la géomorphologie des géographes français, principaux élèves de Vidal (dont Gallois, Camena d'Almeida, de Martonne ou Demangeon), marquant une mutation profonde de la discipline, par l'introduction de la notion scientifique. C'est à cette époque que « la géographie physique moderne naît réellement en France » et représente un progrès indiscutable (Claval, 1998, p. 148). Cependant, cette géographie universitaire exigeante a eu tendance à se replier sur elle-même en se coupant de la société, car, d'une part, l'unicité des faits étudiés de la géographie vidalienne, par le biais des monographies régionales descriptives, empêchait toute généralisation, et d'autre part, la démarche scientifique de la géographie de De Martonne s'est coupée des milieux naturels en écartant le projet humaniste et historisant de Vidal (Bertrand, 2002). Les géographes étaient donc globalement mal armés pour donner un côté pratique à leurs recherches.

Néanmoins, les sociétés de géographie créées, dès 1821, grâce à l'intérêt que portait Napoléon I<sup>er</sup> au côté utilitaire de la géographie, étaient ouvertes aux décideurs et à l'action, et soutenues par les milieux d'affaires ou les gouvernements (Phlipponneau, 1960 et 1999). La géographie universitaire n'a donc pas totalement écarté la géographie appliquée. En effet, la société *La Garonne navigable* fondée à Bordeaux en 1901, avec pour objectif l'amélioration de la navigation au bénéfice du port Bordelais, a fait appel à deux géographes, Camena d'Almeida et Onésime Reclus, pour trouver, avec ingénieurs et armateurs notamment, des solutions. Celles-ci ont été le reboisement du bassin garonnais pour contrer les transports de

particules et la formation de bancs sédimentaires dans le lit du fleuve (Kalaora et al., 1984, in Broc, 2010).

**b – Dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle : une géographie universitaire dominante tentant d'éliminer la géographie appliquée**

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, les géographes, menés par Emmanuel de Martonne, ont tenté d'évincer la géographie appliquée, pour trois raisons : 1) éviter les dérives géopolitiques (à l'image de la géographie allemande qui a manqué d'éthique scientifique avec « la *Geopolitik* du général Karl Haushofer, machine de guerre au service du pangermanisme »<sup>2</sup> (Phlipponneau, 1999, p. 17), 2) la faiblesse du nombre de professeurs et maîtres de conférences en 1920 (seulement 20), qui devaient ainsi 3) privilégier la formation des enseignants et le côté scientifique de la discipline. La recherche était ainsi soutenue par le prestige des chaires. L'*Association de géographes français* regroupait les universitaires et les travaux étaient publiés dans les *Annales de Géographie*, créées en 1891, par Vidal de la Blache, puis, à partir de 1923, également dans le *Bulletin de l'Association de Géographes Français*. En France, cette tendance a été exclusive jusqu'en 1960 alors qu'au lendemain de la Deuxième Guerre mondiale, la France, en pleine reconstruction et transformation technique, économique et sociale, offrait « un énorme champ d'application aux travaux géographiques » (Phlipponneau, 1999, p. 7) ; les géographes en retrait, les ingénieurs et autres disciplines comme les économistes, les sociologues ou les architectes, comprenant l'intérêt des problèmes spatiaux, ont donc investi le terrain, tout en se réservant les postes à responsabilités des grandes administrations notamment (Phlipponneau, 1999). « Au nom du libéralisme économique, l'aménagement de l'espace s'opère alors au gré des intérêts particuliers et non selon des méthodes géographiques rationnelles » (Phlipponneau, 1960, p. 16). Seulement, outre les erreurs commises en l'absence de la réflexion géographique, l'inconvénient du retrait de la géographie est l'empiétement des autres disciplines sur le domaine géographique traditionnel, pouvant amener « la géographie française vers une mort lente, mais sûre » (Phlipponneau, 1960, p. 71).

Fort heureusement, cette tendance pour la géographie universitaire n'a toutefois pas été tout à fait exclusive, illustrée dans trois domaines géographiques :

- dans le domaine géopolitique, quatre géographes, Demangeon, Gallois, de Martonne et de Margerie ont eu un rôle important mais discret en fournissant, à partir de 1915, « au ministère de la Guerre des notes d'information sur les différents théâtres d'opérations ». De plus, consultés à titre d'experts dans la préparation des traités de paix de 1919-1920, « ils ont participé au tracé des frontières des nouveaux états d'Europe centrale et balkanique » (Broc, 2010, p. 442).

- dans le domaine de l'aménagement, Jean Gottmann est le géographe qui, avant la deuxième guerre mondiale, s'est le plus mobilisé pour la cause de la géographie appliquée à l'aménagement, en faisant une synthèse des diverses expériences étrangères, notamment

---

<sup>2</sup> « En s'éloignant des analyses précises de la réalité concrète, en mettant au service d'une idéologie politique des notions non vérifiées de géographie générale, les disciples de Ratzel (géographe allemand, 1844-1904) ont contribué à conduire leur pays et le monde à une catastrophe et ont discrédité un aspect des recherches géographiques dont d'autres travaux montrent pourtant le grand intérêt » (Phlipponneau, 1960, p. 25).

américaine et israélienne (Claval, 1998). Grâce à lui, les géographes rendent alors hommage à Vauban qui a « défini si excellemment, il y a deux siècles, les principes de la planification régionale » (Phlipponneau, 1960, p. 22) pour l'aménagement des territoires. Gottmann avait également noté que la thèse d'Albert Demangeon sur la *Picardie* (1905), une des premières et des plus classiques thèses régionales, proposait des solutions aux conséquences des erreurs passées (Phlipponneau, 1960).

- dans le domaine hydrologique, des géographes lyonnais et grenoblois ont intégré, à côté d'ingénieurs, d'élus et d'acteurs économiques, la *Commission d'Etudes Rhodaniennes*, dont les président et secrétaire étaient les géographes André Cholley et Maurice Pardé (Broc, 2010). La raison de cette intégration était la construction, entre 1936 et 1948, du barrage de Génissiat, dans la gorge de Bellegarde en aval de Genève, pour laquelle des études hydrologiques étaient nécessaires ; les fonctions de ce lac-réservoir étant la navigation, l'irrigation et la production d'électricité. C'est alors que la géographie universitaire s'est ouverte à la sphère politique et économique locale pour contribuer à l'aménagement d'un fleuve par la création d'un barrage-réservoir (Béthemont, 1996). Dans le même temps, Louis Gallouédec, professeur agrégé à l'origine des monographies fluviales, a, en tant que président du Conseil général du Loiret entre 1934 et 1936, mis ses compétences de géographe au service de la politique : « il milite en faveur du développement de la navigation de la Loire tandis qu'il s'oppose à divers projets de détournement des eaux du fleuve pour l'alimentation de la ville de Paris » (Broc, 2010, p. 401). Si ses recherches ont été utiles pour améliorer la navigation et protéger des inondations, le maître de l'hydrologie classique, qui était « jusque-là l'apanage d'ingénieurs » (Claval, 1998, p. 210), est Maurice Pardé, qui, en ayant consacré sa thèse au Rhône (1925), -et sa vie aux crues à travers la France et le monde- a été à la base du programme d'aménagement de ce fleuve. Grâce à son ouvrage *Potamologie* (1949), « science dont il a jeté les fondements » (Loup, 1974, p. 135), Maurice Pardé a aussi contribué à rapprocher universitaires et ingénieurs pour une « alliance féconde entre les Mathématiques, l'hydraulique fluviale, dont l'importance va sans dire, et la Géographie ! » (Pardé, 1949, p. 335). Il a donc réconcilié la Théorie et la Pratique » (Broc, 2010, p. 402), en croisant les approches de l'ingénierie et de la géographie, notamment la spatialisation, les dynamiques à l'œuvre et l'action des hommes. La géographie appliquée française a donc intéressé très tôt le domaine fluvial et lacustre, au même titre d'ailleurs que les allemands, qui, au début du XXe siècle, ont mêlé science pure et science appliquée dans la mesure où, systématiquement, elle permettait l'aménagement des grands fleuves d'Europe centrale (Broc, 2010).

### **c – Dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle : la géographie appliquée de Michel Phlipponneau**

Michel Phlipponneau est entré dans la recherche appliquée grâce à son travail, tout à fait classique, de thèses en géographie humaine et physique qui débouchaient, en conclusion, sur des applications. La première, sur la vie rurale de la banlieue parisienne (1955), faisait de l'aménagement du territoire en proposant de limiter les emprises urbaines. Sa thèse complémentaire sur la morphologie littorale de la baie du Mont-Saint-Michel, « montrait comment l'analyse des rapports entre les formes de l'estran et l'action des marées et des rivières, pourrait limiter les risques de colmatage, affectant le paysage et la rentabilité de l'usine {marémotrice des îles Chausey en projet} » (Phlipponneau, 1999, p. 38). Si la première a été ignorée des responsables politiques, la seconde intéressait EDF. Néanmoins, le

changement d'orientation de la production électrique française (nucléaire) a interrompu la collaboration scientifique.

• **Géographie et action. Introduction à la géographie appliquée (1960)**

Malgré les quelques interventions ponctuelles de géographie appliquée (principalement de géographie physique) dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la géographie était considérée, au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, par le monde professionnel, comme une *science pure*, une *discipline de culture*, alors que dans le même temps, le monde mettait au premier plan des problèmes d'ordre géographique (Phlipponneau, 1999). En effet, « au lendemain de la guerre, la reconstruction, la politique d'équipement et de transport, l'urbanisation, la modernisation de l'agriculture et des industries, etc., constituent un énorme chantier et autant d'invitations pour les géographes à se mobiliser » (Knafou, 1997, p. 302 et suiv.). D'ailleurs, la parution, en 1947, de l'ouvrage du géographe professionnel Jean-François Gravier, *Paris et le Désert français*, doctrine d'action régionale, met en avant les insuffisances et les problèmes de l'aménagement du territoire. « La question du rôle de la géographie humaine dans la cité est posé, dès 1949, par Maurice Le Lannou qui prend parti pour une géographie humaine et régionale qui ne soit pas *coupée de la vie et de l'action* » (knafou, 1997, p. 303). De même, « la géographie physique française ne prend pas le grand virage de l'écologie au moment où les problèmes de pollution l'exigeraient, au début des années 60 » (Claval, 1998, p. 247). Ainsi, en 1960, Michel Phlipponneau, investi dans le domaine de l'aménagement, a publié, pour favoriser l'émergence de la composante utilitaire de la géographie, son premier ouvrage : *Géographie et action. Introduction à la géographie appliquée*. Puisque « toutes les branches spécialisées de la géographie sont susceptibles de donner lieu à des recherches appliquées » (Phlipponneau, 1960, p. 87), son objectif était de placer la composante scientifique de la géographie française au service de l'action, comme c'était déjà le cas dans beaucoup de pays, où les géographes répondaient aux demandes des politiques comme en Belgique, en URSS, aux Pays-Bas ou au Royaume-Uni ; la géographie y était une science concrète, utile et appliquée car les résultats pratiques des travaux scientifiques favorisaient l'essor et les progrès de la géographie (Gerasimov, 1956, in Beaujeu-Garnier, 1975). Un exemple peut être donné avec *la Business Geography* des USA née de la crise économique de 1930, de la deuxième guerre mondiale et de l'expansion de l'après-guerre (Beaujeu-Garnier, 1975), pour laquelle la collaboration du géographe était indispensable ; en 1965, plus de 600 géographes travaillaient pour le gouvernement fédéral américain (Phlipponneau, 1999). La géographie française avait un rôle essentiel à jouer.

• **L'organisation du colloque national de géographie appliquée (1961) par le centre de géographie appliquée de Strasbourg : point de départ de la géographie appliquée**

C'est à partir de l'expérience acquise grâce aux « aménagements intégrés<sup>3</sup> » des bassins fluviaux, ceux du Sénégal et du Niger en l'occurrence, que Jean Tricart et d'autres géographes ont été amenés « à élaborer la conception d'un Centre de géographie appliquée, puis à le réaliser » (Tricart, 1962, p. 115). Cette expérience a été propice au développement de la géographie appliquée tout entière, grâce à la collaboration étroite d'ingénieurs et géographes.

---

<sup>3</sup> L'aménagement intégré de J. Tricart est la prise en compte, de manière coordonnée, de ce qui se passe sur le site étudié mais aussi à son amont (par exemple un lac et son bassin versant).

Par exemple, dans le cas du Moyen-Niger, leur recherche portait sur l'extension et la mise en valeur agricole des terres (par la stabilisation des eaux du lac Faguibine au niveau offrant le maximum de terre à la culture), en appréhendant le milieu géographique dans sa globalité (Tricart, 1962). Après cela, « on s'est aperçu que notre discipline pouvait être d'un égal secours en France même, et le Ministère de l'Agriculture s'est assuré notre collaboration permanente » (Tricart, 1962, p. 116).

De vocation à la fois régionale et mondiale, le Centre de géographie appliquée de Strasbourg, associé au CNRS, a été créé en 1947, avec à sa tête Jean Tricart, qui en 1962, a publié avec *L'épiderme de la terre, une esquisse d'une géomorphologie appliquée*. Le Centre de géographie appliquée de Strasbourg, en plus de dispenser un enseignement spécifique de géographie appliquée, réalisait, dès 1953, un grand nombre de travaux sous contrat (Tricart, 1968), demandés et rémunérés par divers organismes (Phlipponneau, 1960, p. 74), comme des études sur la circulation en Alsace, pour un comité régional, des expertises sur les problèmes de morphologie littorale à Saint-Servant en Bretagne (Meynier, 1955), ou encore des recherches morphologiques sur le Queyras, pour le génie rural, à la suite de l'inondation catastrophique de juin 1957 qui dévasta de « magnifiques maisons, propres, élégantes et spacieuses » tout juste achevées (Tricart, 1962, p. 60) ; cette recherche a permis de préconiser des solutions moins onéreuses (traitement d'ensemble du bassin) que celles proposées par les ingénieurs. En effet, si ceux-ci « se méfient de la Nature » (Tricart, 1962, p. 22), les urbanistes, eux, l'ignorent (p. 55).

Initié en partie par l'ouvrage de Phlipponneau, le Centre de géographie appliquée de Strasbourg a organisé, en avril 1961, le colloque national de géographie appliquée où universitaires et décideurs ont été réunis. Ce colloque a été « le point de départ de la géographie appliquée dans la plupart des universités françaises » (Phlipponneau, 1999, p. 8), car, pour chaque thématique de la géographie, les échanges ont donné lieu à des rapports définissant les formes et les domaines d'application de cette géographie utilitaire, comme l'aménagement du territoire, l'agriculture, la protection contre les phénomènes naturels ou encore les ressources en eau. Les géographes universitaires ont donc répondu aux besoins des organismes privés et de l'administration, comme le ministère de l'Agriculture pour lequel des géographes participaient aux activités et faisaient la liaison avec le Centre de géographie appliquée dès que nécessaire (Tricart, 1962). Cette démarche a été facilitée par la création à Londres, en 1966, sous l'impulsion d'Omer Tulippe, de la Commission de géographie appliquée de l'Union Géographique Internationale (UGI) (Knafou, 1997). Juste retour des choses puisque la création de l'UGI en 1922, union savante, s'était faite aux dépens des sociétés de géographie qui avaient pour finalité, notamment de promouvoir la géographie utilitaire. La commission a considéré comme appliqués, certes les travaux commandés par un utilisateur mais aussi ceux pouvant l'être (Phlipponneau, 1999). D'ailleurs, sans ces travaux spontanés de recherche (thèses, travaux d'étudiants, articles...), la géographie appliquée n'aurait pas connu un tel essor (Phlipponneau, 1999).

Même si le champ d'application de la géographie en aménagement de l'espace rural et urbain est vaste et aisé, pour déceler les problèmes et suggérer des solutions (Phlipponneau, 1960), l'exemple de la géographie physique permet aussi de bien montrer son ancienneté et son

utilité dans les recherches appliquées ainsi que la richesse des applications. Grâce au colloque, lors duquel Jean Tricart était le rapporteur pour la géographie physique, la géomorphologie s'est rapprochée, selon la conception d'André Cholley (Tricart, 1973), des diverses branches de la géographie physique car la nature est un tout (Tricart et al., 1979), « un tissu d'interactions complexes » (Tricart, 1962, p. 52) qui « ignore totalement notre découpage en branche du savoirs » (Tricart, 1978). En effet, la climatologie, l'hydrologie, la géologie et la biogéographie doivent être liées pour comprendre les processus morphologiques et être utiles sur de nombreux points comme l'aménagement ou le développement agricole prenant en compte la conservation des ressources en terre ou en eau, ressources écologiques irremplaçables (Tricart, 1978 ; Tricart et al., 1979). L'éclaircissement de notions fondamentales et méthodologiques a rendu la géomorphologie apte aux applications (Tricart, 1965). Ainsi, comme l'a vigoureusement démontré Jean Tricart dans *Géomorphologie applicable* (1978), la géomorphologie, forte de son ouverture, est une science appliquée car elle est désormais capable de répondre aux besoins de la société, en permettant d'apprécier la stabilité des terrains et des écosystèmes, « de prévoir les contraintes et, par conséquent, les raisons d'échec et les possibilités de solution » (Beaujeu-Garnier, avant-propos). « Les rapports entre géomorphologie et aménagements humains donnent lieu au plus grand nombre d'application » (Phlipponneau, 1999, p. 148), notamment dans le choix des sites d'habitat, d'infrastructures et d'activités pour éclairer par exemple sur le danger que pourrait générer une dynamique tels un glissement de terrain ou une inondation ; « Vouloir l'ignorer serait une manifestation d'orgueil stupide qui, bien souvent, deviendrait criminelle » (Tricart 1978, p. 149). Jean Tricart a comparé les urbanistes à des « enfants qui édifient de magnifiques châteaux de sable sur la plage humide où, inéluctablement, avec une précision d'horloge, la mer reviendra et balaiera tout... » (Tricart, 1962, p. 56). « L'optique dynamique s'impose en matière d'aménagement » car « étudier un aménagement c'est déterminer comment une action s'insérera dans la dynamique naturelle » (Tricart, 1973, p. 427). « Nous passons ainsi de la géomorphologie appliquée à l'aménagement régional... » (Tricart, 1978, p. 172).

Il convient de rappeler qu'en 1956, a été créée, à Rio de Janeiro, sur la proposition du néerlandais Herman Theodoor Verstappen, la Commission de Géomorphologie appliquée de l'UGI. Cette création, intervenue 10 ans avant celle de géographie appliquée, montre que cette branche de la géographie était déjà une science appliquée (Phlipponneau, 1960, p. 95), comme Jean Tricart l'a parfaitement bien démontré avec son ouvrage *l'Epiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée* (1962), dans lequel il expose « les principes les plus modernes d'une discipline en plein essor et montre de quelle manière elle peut aider à résoudre les difficultés (Tricart, 1962, p. 10). Cette commission répondait à un triple besoin : recenser les diverses études de géomorphologie appliquée, comparer les méthodes et les résultats, et informer des services qu'elle peut rendre, comme 1) la lutte contre l'érosion pour la protection des sols, à l'image de l'étude de Jean Vogt (Tricart, 1959), ou 2) la protection des littoraux grâce aux travaux d'André Guilcher et de James Alfred Steers, mais aussi pour 3) la construction des ouvrages d'art, en particulier pour le choix des sites d'implantation des barrages et la connaissance des bassins d'alimentation (Phlipponneau, 1960). L'exemple de la rupture, en décembre 1959, du barrage de Malpasset à Fréjus montre combien la géomorphologie est utile car, comme l'ont écrit Maurice Pardé (1949) et Jean Tricart (1962), il ne suffit pas de calculer les caractéristiques d'une digue, il convient aussi de mener une

étude géologique et géomorphologique pour déterminer le site d'implantation : « la plupart des dégâts, voire des catastrophes qui s'abattent sur certaines réalisations de génie civil résultent non d'un vice interne de l'ouvrage mais d'une mauvaise implantation dans un milieu naturel insuffisamment connu ou mal utilisé » (Tricart, 1962, p. 22). « Les barrages ne peuvent être conçus et entrepris rationnellement sans de bonnes connaissances géologiques. Les sols et les roches des bassins et des talwegs doivent donc être un souci essentiel de l'ingénieur hydraulicien » (Pardé, 1949, p. 43). Le géomorphologue et l'ingénieur ont donc tout intérêt à collaborer, car « le développement de la géomorphologie appliquée, comme tout progrès scientifique, est un gain net pour la société entière » (Tricart, 1962, p. 23). Cependant, comme ce sont bien souvent les critères économiques, politiques et techniques qui président au choix des ouvrages et de leur emplacement, et non les conditions géomorphologiques qui y ont généralement un faible poids, il n'est pas rare que la décision soit médiocre, voire mauvaise (Tricart, 1978).

#### • La géographie appliquée en marche

De jeunes géographes se sont alors intéressés aux problèmes locaux en réalisant, avec les nouveaux outils (ordinateur) et les méthodes modernes (quantitatives) de la *nouvelle géographie*, venue des pays anglo-saxons, des expertises géographiques sous contrats, dans de multiples domaines, dont celui de la culture ou de l'aménagement, domaine favorisé ensuite dans les années 1980 « par la décentralisation, la montée en puissance des administrations territoriales et l'intégration à l'Europe (Knafou, 1997, p. 312). Les collaborations se sont multipliées : en ville, les géographes travaillent avec des sociologues, des architectes ou avec les ingénieurs des Ponts. C'est aussi le retour en force de l'environnement grâce à Pierre George et Jean Tricart qui ont perçu les problèmes qui lui sont liés comme la pollution. Mais ce n'est que dans les années 1980-1990 que les géographes physiciens se sont véritablement penchés sur ces problèmes, par la voie de la préservation ou de la conservation, utile à la géographie appliquée (érosion des terres arables, ravinement, risques...) (Claval, 1998). Les géographes humains s'y sont également intéressés pour la dimension culturelle et sociale. Un nombre considérable de géographes ont mis la géographie appliquée au centre de leur préoccupation (44,8 % de géographes ont eu une activité d'expert entre 1986 et 1990 (in Knafou, 1997)), comme Jacqueline Beaujeu-Garnier (1975) avec le lancement des atlas régionaux qui « aboutissent à des perspectives d'aménagement et à des possibilités de prévision » (p. 299 et suiv.). Grâce à ces atlas, le passage de la géographie classique à la géographie appliquée s'est fait dans la plupart des régions et des départements de géographie, car en fonction des problèmes d'aménagement et de développement, propres à une région, les géographes ont été sollicités pour des études (Phlipponneau, 1992). À partir de ces années, la discipline devient alors majeure pour les décideurs politiques, qui demandent des travaux (essais prospectifs de démographie, d'expansion économique, études d'impacts aux problèmes d'environnement...), car la géographie répondait aux besoins de connaissance des territoires et de leur évolution. « Les géographes apprennent à tirer de leurs approches des leçons claires » (Claval, 1998, p. 435), et rendent leurs résultats accessibles aux décideurs, accès facilité grâce à la chorématique de Brunet qui permet de représenter les phénomènes spatiaux de l'espace géographique. À la fin des années 1980, il existait des centres importants de géographie appliquée comme à Strasbourg ou Toulouse (Phlipponneau, 1999). Le souhait d'André Allix, en 1957, de voir « l'accès enfin systématique de la géographie

française aux applications utiles pour éclairer l'action » était une réalité (in Knafou, 1997, p. 303). Celui de Vauban, pour qui « la recherche et la description géographique seraient sans objet si elles ne devaient pas servir à proposer les moyens d'améliorer la situation existante, à préparer les décisions de l'homme d'action » (Phlipponneau, 1960, p. 22), l'était aussi, mais il a fallu attendre deux siècles.

C'est ainsi que, facilité par la réforme du système des thèses en 1984 (de la thèse d'Etat à la thèse nouveau régime) (Phlipponneau, 1999), « beaucoup d'étudiants de doctorat choisissent leur domaine d'étude en fonction des demandes émanant des organismes publics ou privés, qui financent leurs travaux » (Claval, 1998, p. 444). Ce fait nouveau participe à la « réflexion sur la géographie dite *professionnelle* au vu de la place croissante qu'occupent les métiers autres que l'enseignement, dans les débouchés des études géographiques » (Knafou, 1997, p. 298). Etre utile devient capital pour toutes études géographiques, même librement choisies et réalisées (Phlipponneau, 1960). Dans les décennies suivantes, les formations professionnalisantes se sont donc naturellement multipliées et les étudiants y étaient, et y sont aujourd'hui, plus nombreux que ceux des préparations aux concours de l'enseignement. Les géographes de formation sont recrutés sur des besoins spécifiques tels que l'aménagement du territoire, le développement économique local, le tourisme, l'environnement, la gestion des milieux et des paysages, l'espace rural et littoral, ou encore la cartographie. Les études de géographie ont donc été modifiées en profondeur.

### **1-2-2 – Le XX<sup>e</sup> siècle : un siècle de tensions géographiques n'ayant pas épargné la géographie appliquée**

La géographie a été une discipline prestigieuse jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. Son prestige s'est étioilé au fil du siècle et des crises, dont la dernière, dès la fin des années 1960, a duré pendant plus de 30 ans.

#### **a – La géographie physique en crise, sauvée par le géosystème de Georges Bertrand, devient une science sociale et applicable**

Au début du XX<sup>e</sup>, le risque d'éclatement existait au sein même de la géographie physique, en raison de branches trop spécialisées minées par des querelles internes (Claval, 1998), et de l'hégémonie de la géomorphologie dont les conséquences ont été la marginalisation des autres branches de la géographie physique, et l'intégration de certains géographes, comme Pierre Rognon, géomorphologue spécialiste des régions arides, aux Sciences de la Terre. Cette tendance n'a fait que progresser à partir de 1950, tandis que la géographie humaine est allée vers les sciences sociales (Broc, 2010). Il n'y avait, à cette époque, dans la géographie physique, ni démarche naturaliste, ni démarche sociale. Le statut scientifique et utilitaire ainsi que la réconciliation des diverses branches de la géographie physique, sont venus, à partir des années 60, du géographe Georges Bertrand. Il a proposé le concept de géosystème, introduit en 1960 par le géographe soviétique Sochava (Bertrand, 2002), pour mieux comprendre la structure et le fonctionnement du système géographique naturel, à une certaine échelle d'espace et de temps. En effet, à l'interface de la nature et de la société, la géographie physique s'intéresse au « physique de l'espace géographique » (lithologie, hydrologie...) progressivement anthropisé, le tout interagissant, et dont la finalité est de mieux répondre à

la demande sociale (Bertrand, 1982). En effet, grâce à cette structure explicative qu'est le géosystème, adoptée par la majorité de la communauté scientifique française, tel Jean-Paul Bravard dans le domaine fluvial, la géographie physique a évolué : « le temps n'est plus d'une géographie physique autonome ; le temps est venu d'une géographie globale, ouverte à l'interdisciplinarité, prenant en compte les éléments constitutifs de l'environnement » (Gumuchian et al., 2000, p. 19). Ainsi dotée d'une nouvelle méthodologie, la géographie physique, en travaillant sur les nombreux composants (biotique, abiotique et anthropique) et mécanismes à l'œuvre dans un espace ou un territoire (dimensions naturelle et sociale), permet donc de connaître le fonctionnement du géosystème et de prévoir, dans une certaine mesure, son évolution (Bertrand, 2002). En ce sens, la géographie devient une science sociale et une science applicable (Claval, 1998), car « les interrogations environnementales d'actualité sont avant tout des interrogations sociales à dimension économiques et culturelles » (Gumuchian et al., 2000, p. 19), comme la gestion environnementale d'espaces lacustres. L'environnement redonne de la consistance à la géographie physique (Bertrand, 2002).

### **b – Les critiques dirigées vers la géographie appliquée**

En 1961, simultanément au colloque de géographie appliquée, Pierre George, qui voulait que la géographie soit en prise directe sur les questions d'actualité (démographie, développement de l'aménagement...) et soit capable d'aider à la prise de décisions (Claval, 1998), a remis en cause l'existence de la géographie appliquée pour tenter de la remplacer par la *Géographie active*, arguant du fait que le géographe, pouvant manquer d'objectivité dans son expertise, devait rester libre du choix de ses travaux, dont la valeur serait telle « que le décideur, l'homme d'action, en appliquerait tout naturellement les enseignements » ! (Phlipponneau, 1999, p. 28). Franchement, le décideur, qui a besoin d'une réponse rapide à une question précise, prendra-t-il le temps de trouver lui-même dans des travaux scientifiques généraux, des éléments pouvant inspirer son action ? (Phlipponneau, 1999). Pierre George reproche à Michel Phlipponneau « un manquement aux devoirs que les universitaires doivent à leur mission » (Claval, 1998, p. 288). En fait, comme l'a écrit Jacqueline Beaujeu-Garnier en 1975, les plus grands géographes voyaient dans la géographie appliquée, « une sorte de trahison, une limitation à la liberté du savant » (p. 312 in Robic *et al.* 2011). Et, avant Pierre George, Max Sorre en 1954 et André Meynier en 1957 « ont affirmé leur répugnance à abandonner le domaine de la recherche pure pour se lancer dans les applications plus pratiques » (p. 311) car « la mission traditionnelle et essentielle des universitaires est de se consacrer à la recherche pour faire progresser les connaissances dans le cadre de leur discipline » (Claval, 1998, p. 227). Toutefois, Max Sorre, « qui semble si hostile à la géographie appliquée, avait pourtant dans sa thèse sur les *Pyrénées méditerranéennes* établi un véritable plan régional d'aménagement et de mise en valeur » (Phlipponneau, 1960, p. 73).

Ces critiques négatives ont eu pour conséquence de diriger la plupart des jeunes étudiants vers la composante scientifique de la géographie puisqu'en effectif, les géographes formés à l'action étaient largement minoritaires comparés à ceux destinés à l'enseignement et à la recherche. Il convient également de rappeler que l'expression, la géographie appliquée, largement utilisée dans la littérature géographique internationale, a généré une polémique chez les géographes français, tentant d'imposer de nouveaux termes : à côté de la *géographie*

active de Pierre George, ont été proposées la *géographie volontaire* de Jean Labasse et Jean Gottmann, la *géographie applicable* de Jacqueline Beaujeu-Garnier ayant donné lieu à la *Collection de Géographie Applicable*, à partir de 1972, la *géographie impliquée* d'Armand Frémont et la *géographie citoyenne* de Denis Retaillé (Phlipponneau, 1999). Cela dit, la terminologie, à la fois critiquable mais significative (Tricart, 1968), est sans doute moins importante que la finalité : être utile à la société, et « le terme de *géographie appliquée* reste aujourd'hui le plus communément admis en raison de sa reconnaissance internationale (Knafou, 1997, p. 299).

Même avec de multiples tentatives et déclarations pour anéantir la géographie appliquée, il y eut, pour elle, un réel intérêt, tant elle était indispensable, notamment dans l'aménagement du territoire. Cependant, cet intérêt pour la géographie appliquée n'a pas été sans conséquence : probablement inquiets, certains géographes et responsables institutionnels, par le biais d'un numéro spécial d'*Hérodote* en 1995, ont dénoncé une « dérive pernicieuse de la géographie » et, 3 ans plus tard, le GIP-RECLUS (Groupement d'intérêt public - Réseau d'études des changements dans les localisations et les unités spatiales), qui bénéficiait de financements importants de l'Etat, a dû cesser son activité alors qu'il a « contribué au rayonnement de la géographie française dans le monde et à la reconnaissance du rôle qu'elle peut jouer dans la cité en répondant par des travaux sous contrat et en formant des géographes professionnels, à la demande des hommes d'action » (Phlipponneau, 1999, p. 34). La communauté géographique française n'a pas réagi au grand étonnement de la communauté internationale (Phlipponneau, 1999). Malgré ces efforts de sabotage de certains, la géographie utilitaire n'a pas disparu, les recherches appliquées se sont largement développées tout en alimentant la recherche fondamentale : « le vieux débat opposant recherche fondamentale et recherche appliquée en géographie ne semble plus de mise, tant il apparaît évident que l'une et l'autre ne peuvent que s'enrichir mutuellement, la recherche fondamentale étant à l'amont et dans le même temps indispensable pour permettre l'essor de travaux de recherche appliquée » (Gumuchian, 2000, p. 84). De plus, certains géographes comme Yves Lacoste, après avoir fermement condamné la géographie appliquée avec Pierre George, s'est ravisé en reconnaissant qu'elle peut contribuer à résoudre les problèmes de la géographie (Phlipponneau, 1999).

### **c – La crise entre la géographie physique et la géographie humaine... réconciliées par la géographie environnementale au service des territoires**

Si la géographie physique a dominé jusqu'en 1950 la géographie française, le risque d'éclatement entre les géographes physiciens et les géographes humains pointait, car la géographie universitaire et exigeante, initiée par Vidal de La Blache et reprise par de Martonne, « apparaissait comme une discipline ingrate, difficile voire rébarbative » (Broc, 2010, p. 217). La place occupée par cette géographie physique était si forte que la géographie humaine en a été diminuée (Le Lannou, 1949). Les tensions ont perduré. Et si dans les années 1950, la plupart des géographes « ne désirent pas remettre en cause le schéma admis depuis le début du siècle, mais essaient de l'élargir pour l'adapter aux sociétés industrielles urbanisées pour lesquelles il n'a pas été conçu, quelques-uns estiment en revanche nécessaire de reprendre l'ensemble de la discipline et de refonder son cadre théorique » (Claval, 1998, p. 238). Certains universitaires comme Jean Tricart et Max Derruau travaillent à la fois sur les

aspects physiques et humains d'une région : le *Précis de géomorphologie* de Derruau date de 1956 tandis que son *Précis de géographie humaine*, de 1961. Mais, d'autres vont soit vers la géographie humaine, soit vers la géographie physique sans que les études des uns intéressent les autres, et vice-versa. Pendant ce temps, les « problèmes du monde des hommes » ne sont pas abordés (Claval, 1998, p. 242), car si les travaux sont utiles à la géographie, ils ne le sont pas pour la société.

Avec les années post-soixante-huitardes, les méthodes modernes de la *nouvelle géographie* ont touché tous les pans de la géographie (Phlipponneau, 1999), et ont participé à résoudre les problèmes et les questions de société grâce à la possibilité d'étudier le présent d'une région, et non plus le passé, avec des procédés plus objectifs qu'intuitifs (Claval, 1998). Cependant, elle dissocie un peu plus la géographie physique et la géographie humaine (Phlipponneau, 1999), l'une éclatant vers les sciences naturelles avec le thème de l'environnement, l'autre vers les sciences économiques et sociales (Pinchemel, 1967). Et, dans les années 1990, la volonté de rupture avec le passé est réelle car les géographes humains, dont les générations ont été renouvelées (Knafou, 1997), ont rejeté en bloc la géographie physique, pourtant exercée par des géographes. Roger Brunet ou Georges Bertrand, qui a déclaré que « la géographie physique n'existe pas », désiraient tout simplement l'écarter de cette *nouvelle géographie*, totalement dévouée aux sciences sociales. En effet, les milieux ne seraient « plus naturels, mais économiques, sociaux, politiques... car l'Homme, grâce à la technique toute-puissante, est en mesure de domestiquer la nature. On passe d'un espace rugueux et souvent hostile, celui-là même qu'étudiait la géographie physique, à un espace quasi-géométrique fait de points, de lignes, d'aires et de réseaux... à partir desquels on peut élaborer des cartes abstraites dites chorématiques » (Broc, 2010, p. 645). La discipline était donc « éclatée en cercles d'affinités » (Claval, 1998, p. 347), jusqu'à ce que Jacqueline Beaujeu-Garnier réconcilie les deux géographies, en déclarant, en 1984, pour conclure le congrès de Paris, « la multiplication des courants est un gage de vitalité et de richesse et toute crise, quand on la surmonte, peut avoir des conséquences bienfaites » (*in* Phlipponneau, 1999, p. 31) et bienveillantes. En effet, le développement de la pluralité a réhabilité la géographie et à relier ses composantes physique et humaine.

A la fin du XX<sup>e</sup> siècle, la géographie peut être définie par la réponse d'Yvette Veyret à Fernand Joly qui a déclaré que la discipline géographique n'était ni sociale, ni physique mais une science de l'environnement : « la géographie physique est clairement une science sociale et l'homme doit être la référence de toutes les études » (1998, *in* Broc, 2010, p. 651). Faut-il rappeler que pour Vidal de La Blache et Elisée Reclus, déjà, la géographie physique devait toujours déboucher sur l'homme (Broc, 2010) ? Le nouveau champ d'application de la géographie physique peut alors être son utilité : répondre aux immenses besoins de connaissance des milieux pour leur gestion ou leur aménagement. Cela permet alors de réunifier la géographie physique et la géographie humaine sur le plan environnemental, au service des sociétés : si la société du XX<sup>e</sup> siècle avait neutralisé ou maîtrisé la nature au nom de l'humanisme, aujourd'hui, avec les problèmes et crises environnementales comme la dégradation ou l'épuisement de certaines ressources naturelles, et de la croissance de la sensibilité environnementale au sein de la société civile, « c'est bien d'un retour à la nature qu'il s'agit », et « la géographie se situe au cœur de ce débat » (Bertrand, 2002, p. 68).

L'amélioration des conditions de vie de l'homme constitue « la finalité des recherches appliquées dans le domaine de la géographie physique » (Phlipponneau, 1960, p. 95). De fait, si les premiers jalons de la géographie environnementale ont été « synthétisés dans un numéro spécial de la revue *Hérodote* intitulé « Écologie/Géographie » et paru en 1982, avec notamment les analyses de Jean Tricart (1982) et Georges Bertrand (1982) » (Blanchon, 2016, p. 273), la géographie environnementale a véritablement été mise sur le devant de la scène au début du XXI<sup>e</sup> siècle.

Face à cette histoire géographique difficile n'ayant épargné ni la géographie physique, ni la géographie appliquée, les géographes physiciens en général, géomorphologues en particulier, ressentiraient-ils tous, aujourd'hui, tout le poids de l'histoire qui leur est défavorable, et une certaine forme de frustration liée à l'essor récent de la géographie environnementale ? La réponse est à nuancer selon si l'évolution de la géographie physique (qui n'est plus autonome) vers la géographie environnementale a été intégrée, ou non. À ce sujet, deux géographes, Emmanuèle Gautier et Pierre Pech, ont ouvert la réflexion dans un article intitulé *La reconstruction d'une « géographie naturaliste »*, paru dans l'ouvrage *Manifeste pour une géographie environnementale* (Chartier et al., 2016), en parlant de « renaissance d'une certaine géographie physique, en particulier sous la forme d'une géographie environnementale ». Cela concerne « le repositionnement de la géographie naturaliste (...) par rapport à des enjeux environnementaux liés à des objectifs de préservation ou de restauration des écosystèmes, mais aussi par rapport à des enjeux économiques liés au développement local ou à des projets territoriaux » (Gautier et al., 2016, p. 326). La géographie étant devenue une science sociale du territoire, la géomorphologie, « assujettie à la demande et aux pratiques sociales » (Valadas, 2004, p. 135) est donc devenue « une affaire de société » (p. 136). « Le géomorphologue doit désormais être à l'écoute à la fois de la nature et du corps social » (p. 135), ne serait-ce qu'en terme de risques. Elle est donc un outil fondamental pour l'aménagement (Valadas, 2004). Il faut bien rappeler que si les physiciens perdent le contenu social, ils perdent leur identité géographique en se rapprochant trop des autres disciplines scientifiques, et si les géographes humains perdent le contenu naturel, ils perdent leur identité géographique en ne se distinguant plus des autres sciences sociales. La géographie est bien une discipline carrefour se plaçant « à la rencontre des sciences humaines et des sciences de la nature » (Tricart, 1968, p. 10). Les géographes physiciens doivent donc intégrer leur recherche, aussi spécialisée soit-elle, dans des programmes globaux en s'associant à des recherches de géographie humaine et économique (Phlipponneau, 1966 et 1999), et à des programmes pluridisciplinaires touchant à des questions environnementales (Gautier et al., 2016), à l'image du programme PULSE (ANR CEP&S 2010) pour lequel les sciences exactes ont fait appel à la géographie.

Le contenu de la discipline pouvant toutefois diverger d'un géographe physiciens à un autre, les géographes « classiques » peuvent tout à fait se sentir incompris et se mettre ainsi, volontairement ou inconsciemment, en retrait, malgré la richesse de leurs activités universitaires, et dont la création récente (1996) de la revue *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, montre la volonté d'affirmation de la géomorphologie et de la géographie physique (Knafou, 1997). D'ailleurs, peut-être que le faible nombre de géographes physiciens présents à la demi-journée d'échange est représentatif d'une certaine forme de

réticence sur l'évolution de la discipline et de la géographie physique ou, au contraire, d'acceptation de cette évolution. Ainsi, malgré le changement de paradigme intervenu dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, l'« ancienne » géographie et la « nouvelle » géographie coexisteraient encore, comme cela avait été déjà observé à la fin du siècle dernier (Knafou, 1997). Cependant, se réunir pour y réfléchir va dans le bon sens et deux autres journées d'échanges sont prévues au printemps 2018 pour en rediscuter et envisager un ouvrage collectif. Pour les géographes physiciens ayant « opportunément choisi de s'engager dans la construction d'une telle approche » (Gautier et al., 2016, p. 331), c'est-à-dire ayant intégré l'évolution de la discipline, ni mise en retrait, ni frustration ne semblent être présentes. Notre orientation originelle physicienne et notre démarche géosystémique permettent, dans les recherches menées, une approche naturaliste pour compléter les analyses de faits humains, en explorant la relation du social et du naturel ; la géographie physique permet ainsi une vision géographique globale, et de surcroît fort utile, des milieux.

Sur le point de l'expertise, qui a fait l'objet d'une discussion au cours de la demi-journée d'échange, il convient de rappeler qu'un décret de 1958 a autorisé les facultés des Lettres à délivrer un diplôme d'expert-géographe (Knafou, 1997), pour leur enseignement portant sur les techniques de la géographie appliquée (Philipponneau, 1960). Dans son ouvrage de 1999, Michel Philipponneau consacre tout un paragraphe à la variété et l'ancienneté du rôle d'expert, tandis qu'en 2016, Emmanuèle Gautier et Pierre Pech rappelle que nos « recherches sont aussi liées à la capacité de répondre à une demande d'expertise dans le cadre de projets visant à mieux gérer les milieux naturels » (p. 336). Ainsi, si nous en doutions, ce rôle d'expert est le nôtre si nous voulons être utile à la société civile. Qui d'autre pourrait l'avoir mieux que nous, puisque grâce à notre discipline, nous sommes au cœur des questions de société qui permettent alors de montrer notre utilité en répondant à la demande sociale, en formulant un avis et en proposant des solutions optimales et modèles d'évolution. En effet, pour être constructif, il ne faut plus hésiter à s'engager dans la prospective, exercice facilité par l'utilisation des SIG, même si cela, comme l'a expliqué Peter Haggett (1983, in Knafou, 1997), était difficile pour un géographe, en raison de la part importante de l'histoire, domaine des certitudes, dans sa formation, et de la prévalence des approches descriptives. Pour notre part, le géographe devant désormais avoir ce rôle dans la vie de la cité, nous sommes résolument tournés vers l'action et ne faisons qu'appliquer la prédisposition même de notre discipline (Beaujeu-Garnier, 1975) : l'utilité de la géographie est la demande sociale sur des thématiques de gestion, d'aménagement, de développement ou d'environnement (Gumuchian, 2000).

## **2 – DISCUSSION AUTOUR DE NOS TRAVAUX DE GÉOGRAPHIE ENVIRONNEMENTALE APPLIQUÉE**

Cette habilitation est le résultat d'un itinéraire pris au moment opportun, grâce à un certain nombre de propositions individuelles et collectives, dont l'assemblage et la cohérence apportent une vraie expérience de géographie appliquée. Cela grâce à 1) la géographie physique qui, en raison des problèmes environnementaux, prend de l'importance et demeure donc d'une grande utilité pour comprendre les rapports entre le milieu physique, l'homme et ses actions, et encore plus à 2) la géographie limnologique en lien avec la ressource en eau, sa qualité et les évolutions morphologiques des cuvettes lacustres, contraignant notamment la distribution de l'eau ou l'aménagement.

## **2-1 – Nos méthodes de travail et la présentation de nos travaux**

Au fil de l'histoire géographique, si dans un premier temps, la tâche du géographe était de collaborer à l'amélioration de la connaissance par des inventaires précis, dans un second temps, il leur a été demandé un travail d'orientation et de prévision, nécessaire à la prise de décision, pour enfin, dans un troisième temps, faire du suivi et de la vérification (Beaujeu-Garnier, 1975). Les études que nous faisons rassemblent l'ensemble de ces tâches.

### **2-1-1 – Pourquoi sommes-nous sollicités pour faire de la recherche appliquée ?**

En France, les gestionnaires des lacs sont principalement les agences de l'eau et l'ancienne ONEMA, devenue l'AFB (Agence Française pour la Biodiversité), depuis le mois de janvier 2017. Si ces structures qui rassemblent principalement des ingénieurs de sciences (notamment des biologistes), apparaissent incontournables pour l'élaboration des stratégies de gestion des milieux aquatiques, la géographie limnologique a su révéler son importance, notamment grâce à ses méthodes, issues de la discipline géographique.

*Primo*, le terrain est au centre de la méthodologie car « c'est le point fort de la géographie » (Bertrand, 2002, p. 88) ; les géographes sont en effet des femmes et des hommes de terrain qui obtiennent leurs données, et donc leurs résultats, en interrogeant la nature. « La nature – c'est-à-dire l'univers physique envisagé globalement comme système – est interrogée » (Bertrand, 2002, p. 67). Pour Vidal de La Blache, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le travail de terrain était fondamental (Claval, 1998), car le géographe, par ses observations et relevés (d'ordre topographique, géologique et d'occupation du sol notamment), en repère les changements. Il est confronté aux réalités : « avec les livres on ne fait que de la géographie médiocre, avec les cartes on en fait de la meilleure, on ne la fait très bonne que sur le terrain » (Vidal de La Blache, in Broc, 2010, p. 214). Le travail de terrain se fait également au plus près des territoires et de ses habitants par le biais d'enquêtes et de rencontres avec les différents acteurs, dans le but de connaître les manières de faire, d'écouter diverses anecdotes ou encore d'apprécier les mentalités. Ce travail manque aux ingénieurs qui ont, pour la plupart, abandonné, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle l'attitude du naturaliste pour prendre celle du physicien et du mathématicien, avec la mise au point et l'utilisation de modèles réduits ayant leurs limites (Tricart, 1965), dans le sens où ils ne « rendent pas compte de tous les éléments constitutifs du milieu » (Phlipponneau, 1999, p. 147). Comme le disait Maurice Pardé, qui savait ce dont il parlait puisqu'il était titulaire de deux thèses d'Etat, une de géographie en faculté de lettres et une de potamologie en sciences, la formation mathématique et les formules complexes doivent être « un stimulant pour des hypothèses rationnelles, et point un instrument infaillible de découverte » (Pardé, 1949, p. 330). Elles ne peuvent « suppléer à l'observation » car « les spécialistes des formules, armes à deux tranchants, risquent de divaguer s'ils oublient la géographie » (Pardé, 1949, p. 332). En fait, elles doivent « représenter un moyen, non une fin » (Phlipponneau, 1999, p. 154). Ainsi, comme vu précédemment, si au cours de l'histoire les ingénieurs ont profité de la quasi-absence des géographes dans la vie publique, ces derniers, aujourd'hui, réinvestissent le terrain délaissé par les ingénieurs.

*Secundo*, contrairement à l'analyse fractionnée d'un milieu, comme la géographie a pu le faire jadis ou comme les ingénieurs et autres disciplines le font (hydrologie, biologie...), le point fort

de la géographie physique d'aujourd'hui est l'analyse intégrale d'un milieu au travers du géosystème. En géographie limnologique, le géosystème de Georges Bertrand devient le limnosystème, un terme pour la première fois utilisé en 1887, par Stephen Forbes, limnologue américain, puis en 1989, par Jean-Michel Jaquet, géologue suisse, pour intégrer les liens existants entre un lac et son bassin (Touchart et al., 2018). Si ce terme a ensuite été repris par les géographes limnologues français depuis la fin des années 1990 (Touchart et al., 2018), il a été récemment redéfini par Laurent Touchart et Pascal Bartout (2018) pour le compte de la géographie limnologique : « le limnosystème est l'ensemble des interactions naturelles (...) et socioculturelles (...) se produisant sur un territoire centré sur un plan d'eau, ce dernier se conduisant à la fois comme un aval collecteur et un amont moteur » (p. 52). Cette approche fondamentale permet d'avoir une réflexion et un point de vue global lié à l'insertion du social dans l'analyse de la nature. Pour illustrer l'importance d'une étude limnosystémique, il est possible de citer un professionnel : « pour l'étude du lac de Saint-Germain-de-Confolens, ce sont tous les « à-côtés » du sujet qui ont porté le plus d'informations en reliant des domaines traités d'ordinaire séparément (comme les flux de biomasse ou les flux de sédiments étudiés mis ici en relation avec l'évolution de l'occupation du sol), et c'est cela qui fait que cette étude est particulière, plus complète et plus pertinente que les autres études de bathymétrie et de qualité des eaux auxquelles j'ai participé. Ton ouverture sur les sciences humaines y est sans doute pour beaucoup, tu t'intéresses à d'autres aspects que les chiffres bruts, et ce sont les aspects humains (usages, perception du milieu...) qui rendent ces études nécessaires et, au final, utiles pour les commanditaires ; les chiffres en soi n'intéressent personne. C'est sans doute la première étude constructive que je fais avec un partenaire académique depuis que je travaille » (Frédéric Pitois, Limnologie SARL, com. orale).

*Tertio*, notre formation géographique générale (physique et humaine, cartographique...) et notre spécialisation thématique depuis nos années de doctorat (géographie limnologique) amènent naturellement à la connaissance approfondie d'un milieu, ici les plans d'eau. Cette maturité scientifique, recherchée par les gestionnaires des milieux aquatiques, fait que nous apparaissions comme des experts. De plus, si les géographes spécialistes d'un milieu appartiennent à une région marquée par ce milieu, comme c'est le cas pour l'équipe castelroussine et orléanaise de géographes-limnologues œuvrant dans la Brenne, ou pour l'équipe limougeaude œuvrant en Limousin et périphérie, régions de lacs et étangs, une vraie relation de confiance est créée entre les universitaires et les gestionnaires, ceux-ci étant aussi très attachés à leur territoire. Michel Phlipponneau savait que les géographes peuvent être utiles en appliquant « leurs savoir-faire aux problèmes des régions où ils se trouvent pour éclairer bien des problèmes qui s'y posent » (Claval, 1998, p. 285). En géographie limnologique, les applications restent principalement du domaine de l'universitaire (moins du professionnel), compte tenu de la jeunesse de la discipline.

*Quarto*, si les géographes sont compétents dans diverses branches de la géographie humaine et physique (hydrologie, géologie et biogéographie), utiles à l'étude des limnosystèmes, il existe néanmoins des compétences pour lesquelles ils doivent s'associer à des spécialistes. C'est le cas notamment pour la biologie qui occupe une position centrale dans le géosystème lacustre. Vidal de La Blache insistait déjà sur cette ouverture que devait avoir la géographie, car la complémentarité est fondamentale pour mener à bien une étude, comme l'a expliqué,

plus tard, Jean Tricart avec la catastrophe tragique du barrage de Malpasset, situé à côté de Fréjus. De fait, les géographes sont rarement isolés, ils travaillent dans une équipe faisant partie d'un vaste réseau pluridisciplinaire auquel ils font appel pour répondre à une sollicitation. En confrontant les points de vue et les expériences, l'équipe aide à éviter des erreurs et du gaspillage de temps et de moyens (Tricart, 1968). Dans ces équipes formées pour une action collective, le géographe est aussi, souvent (voire toujours, c'est le cas pour nos études), le responsable du projet, car sa formation globale complète la formation mathématique et scientifique des collaborateurs. Il a donc le rôle de coordinateur. « L'équipe de recherche est l'incarnation de la synthèse, le point de rencontre d'expériences diverses mais qui ont un dénominateur commun : l'esprit géographique (Tricart, 1959, p. 87).

*Ultimo*, la vision et la méthode, spécifiques à la géographie, séduisent les commanditaires en leur apportant beaucoup : le rapport au terrain, l'utilisation des SIG avec l'imagerie aérienne et satellitaire, le rendu cartographique (spatialisation), les méthodes comparative et prospective, la recherche bibliographique ainsi que le champ d'étude, du minéral au culturel en passant par le biologique, sont recherchés par les gestionnaires car ils gagnent en exactitude et connaissance de leur territoire. Le sens de la synthèse, le sens de l'espace et le sens des réalités sont primordiales.

Ainsi, les modes de fonctionnement des autres disciplines et les techniques traditionnelles n'étant pas suffisantes pour répondre aux besoins, la géographie limnologique apparaît incontournable aux décideurs et gestionnaires. Concrètement, notre utilité se traduit par leurs sollicitations car, n'étant pas à la recherche de contrat, nous ne répondons à aucun appel d'offre, comme le font les sociétés privées. Ce n'est tout simplement pas notre rôle d'universitaire. Par conséquent, ceux qui ont besoin de nous viennent nous chercher et la demande est réelle, comme en témoignent nos activités et nos dernières demandes de rendez-vous (l'agence de l'eau Adour-Garonne pour le barrage de Lavaud en Charente ou encore les maires de communes riveraines du barrage d'Eguzon dans l'Indre). Notre rôle, celui de la géographie en général, est d'être utile, en aidant ceux qui en ont besoin. Cette demande extérieure, comme l'a écrit Michel Phlipponneau (1999), apporte de la valeur ajoutée à la géographie. Il s'agit réellement de valorisation de la recherche universitaire. Les raisons pour les commanditaires sont ainsi motivées par nos compétences, notre expertise.

### **2-1-2 – Présentation synthétique de nos travaux de recherche appliquée**

En sachant que le point commun de nos recherches concerne l'aide à la gestion des plans d'eau, le tableau 1 ci-après, reprend les principaux programmes de recherche contractuelle mais aussi académique, et synthétise les raisons ayant initié les études et les objectifs des gestionnaires.

<b>AIDE A LA GESTION DES MILIEUX AQUATIQUES</b>					
<b>Lacs - Etangs - Rivière</b>	<b>Raisons de la collaboration</b>	<b>Gestionnaires - Partenaires</b>	<b>Objectifs des gestionnaires</b>	<b>Durée de la collaboration</b>	<b>Montant du financement (hors sociétés privées)</b>
Sidi Mohammed Ben Abdellah (Maroc)	Fonction d'alimentation en eau potable (AEP) à pérenniser	ABHBC (Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia)  PHC Toubkal	Connaître les origines et les pourcentages des sédiments participant à l'envasement du lac pour mettre en place des mesures conservatoires	3 ans (2016 - 2018)	40 000 €
Saint-Germain-de-Confolens (Charente)	Fonction d'AEP à pérenniser	SEP du Confolentais (Syndicat d'Eau Potable)  puis SIAEP du Confolentais (Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable)	Etude à l'échelle du limnosystème pour comprendre l'origine des pollutions lacustres et agir pour les diminuer	1 an (mars 2015 - mars 2016)  + 7 mois (mai 2015 - déc. 2015)  + 17 mois (juin 2017 - octobre 2018)	12 093 €   2 500 €   10 000 €
Léman : rivage de Thonon-les-Bains	Forte érosion observée sur les rivages communaux pouvant affecter le patrimoine bâti	Mairie de Thonon-les-Bains  (service des Espaces Verts)	Connaître les causes et les vitesses moyennes du processus pour apporter les meilleures solutions	3 ans (2011 - 2013)  + 1 an (2014 - 2015)	-   7 500 €

			(douces) au problème		
Léman : plage du Foron et plage du Guido (Sciez)	Forte érosion observée sur les rivages communaux	Association Syndicale des Copropriétaires du Domaine de Coudrée	Obtenir des informations générales sur le processus pour que la préfecture autorise l'alimentation artificielle de la plage en sédiments	2 mois (janvier 2016 - février 2016)	-
Plans d'eau périurbains d'Ile-de-France	Compétences géographiques (visions sociale et naturelle) recherchées par les biologistes	ANR CEP&S 2010	Mieux comprendre la relation plan d'eau/société et cartographier l'évolution de l'occupation du sol en périphérie lacustre pour lier l'urbanisation (ou pas) à la qualité écologique des milieux aquatiques	4 ans (2010 - 2013)	17 540 €
La Couze et Saint-Pardoux (Haute-Vienne)	Compétences géographiques et limnologiques recherchées par les physiciens	Pe@rl s/c AREVA	Connaître les processus de migration et de sédimentation en milieu fluvial et lacustre	3 mois (septembre 2010 - déc. 2010)	3 800 €

Tableau 1 : Nos principales activités d'aide à la gestion des milieux aquatiques

L'intérêt des expériences contractuelles pour l'activité universitaire ainsi que pour les partenaires sera développé dans la partie consacrée au bilan de nos activités scientifiques appliquées.

### **2-1-3 – La mise en place et le déroulement des études contractuelles**

#### **a – En amont de la partie scientifique, le rôle administratif du géographe**

En partant du principe que le plus important pour le géographe, « c'est d'être capable de réagir face à des situations concrètes et de les analyser » (Claval, 1998, p. 388), après la rencontre avec le commanditaire et son équipe, au cours de laquelle sont exposées leur demande (souvent des problèmes), ainsi que les moyens que nous sommes capables de mettre en œuvre pour y répondre, notre rôle, en tant que responsable des projets, est d'élaborer des protocoles de recherche (dont un exemple est présenté en annexe), construits sur le temps imparti à l'étude (une année minimum dans la majorité des cas comme pour les études thononaise et confolentaise). Pour cela, il est nécessaire de constituer une équipe opérationnelle à partir de notre réseau. Cette équipe peut rassembler d'autres géographes, comme pour l'étude thononaise avec un géographe du laboratoire EDYTEM, des chercheurs d'autres disciplines, tels les sédimentologues de l'INSA de Rennes pour le contrat confolentais, ou encore des sociétés d'études créées par d'anciens géographes (TM Carto à Limoges) ou hydrobiologistes (Limnosphère à Rennes ou Corridor à Lyon, intégrée ensuite à Ingetec en Île-de-France). Ces collaborations sont bénéfiques car, en regroupant des spécialistes, elles permettent d'augmenter les compétences pour répondre aux besoins ; elles sont aussi utiles, ne serait-ce que pour les analyses d'échantillons de sédiments ou d'eau, les départements de géographie disposant rarement de laboratoire ou, s'ils existaient, ont disparu, comme ce fut le cas à Limoges malgré la présence de l'UMR de Géographie Physique et Environnementale (GEOLAB).

Dans les protocoles de recherche apparaît la méthodologie scientifique à mettre en œuvre pour l'obtention des données qui permettront l'analyse. Cette méthodologie s'appuie sur une instrumentation du milieu étudié ainsi que sur la répétition des prélèvements (eau et/ou sédiments), des mesures (physico-chimiques et/ou d'érosion par exemple) et des observations (exemple du niveau d'eau ou des formes littorales), à un pas de temps régulier, afin que l'analyse ne soit pas biaisée par des événements ponctuels. Enfin, les fiches financières de l'ensemble des collaborateurs de l'étude sont jointes au protocole de recherche.

Le protocole ainsi établi est remis au commanditaire et à son équipe, après avoir été présenté oralement au cours d'une réunion prévue à cet effet. Si la proposition est acceptée (ce qui a toujours été le cas puisque nous sommes sollicités), la recherche commence réellement.

#### **b – La partie scientifique, le rôle du géographe**

Au début de l'étude, le géographe coordonne les différents partenaires et les missions de terrain (auxquelles il participe), la première étant celle de l'instrumentation du site (exemple des sondes thermiques et des pièges à sédiments dans le lac de Saint-Germain de Confolens), les suivantes sont destinées aux relevés et prélèvements. Au fur et à mesure de la collecte des données de terrain, des résultats des analyses en laboratoire et de la consultation de documents internes, le géographe, « patient observateur des données physiques et des faits

économiques et sociaux » (Beaujeu-Garnier, 1975, in Robic *et al.* 2011, p. 310), lie les études entre elles, compare avec les données existantes antérieures à l'étude, montre les relations qui existent entre les différents processus et faits observés. Les études traditionnelles constituées par une juxtaposition de travaux spécialisés manquent de réflexion méthodologique et sont une base insuffisante pour l'action (Tricart, 1973). Par exemple, à la manière de Georges Bertrand (1991), pour une même étude, celle de Saint-Germain-de-Confolens, nous passons du fonctionnement naturel, physico-chimique et biologique du lac, au fonctionnement paysager et anthropique du bassin-versant. La géographie est la discipline la mieux armée pour comprendre l'interaction homme-nature car le géographe saisit et comprend les rapports entre des faits pouvant sembler indépendants à des spécialistes de science pure (Phlipponneau, 1960). Dans nos études, la prise en compte du fait anthropique se limite pour l'instant à l'impact économique et social sur le complexe territorial naturel, c'est-à-dire aux modifications apportées et à leurs conséquences sur l'état et le fonctionnement du géosystème (Bertrand, 2002). Ce travail permet d'établir le diagnostic du site étudié, c'est-à-dire l'établissement des faits, point de départ nécessaire de toute étude destinée à éclairer des choix (Tricart, 1965). Tricart expose précisément le cheminement méthodologique que doit avoir un chercheur pour établir un diagnostic afin de répondre aux besoins pratiques (Tricart, 1973 ; Tricart *et al.*, 1979). Rappelons que les premiers diagnostics ont été réalisés dès le XIX<sup>e</sup> siècle par Élie de Beaumont, géologue, et Alexandre Surell, ingénieur de terrain des Ponts et Chaussée, grâce à leur démarche scientifique et professionnelle, dont la finalité était de trouver des solutions (Tricart, 1978) à la violence des torrents des Hautes-Alpes liée notamment aux défrichements et au surpâturage (Matagne, 2016). A partir de là, la géographie exclusivement descriptive, est passée au stade explicatif ouvrant, finalement, la voie à la géographie appliquée (Broc, 2010).

Avec le diagnostic, la démarche prospective portant sur l'évolution la plus probable commence. Si cette évolution apparaît néfaste pour le milieu, son environnement ou pour la fonction du plan d'eau, nous proposons de poursuivre l'étude afin d'acquérir des données supplémentaires (comme celles liées à l'érosion du rivage lémanique sur la commune de Thonon-les-Bains). Si demandées par le commanditaire, nous proposons des solutions, les plus adaptées au milieu (comme le génie végétal pour la protection du littoral thononais ou l'aménagement d'une passerelle de bois pour stopper l'érosion liée au piétinement), en présentant leurs avantages et leurs inconvénients. De fait, nous aiguillons le choix du gestionnaire, à qui la décision appartient. Et c'est en ce sens que nous aidons à la gestion des milieux : nous préparons les choix des décideurs. Ces choix, guidés par les connaissances scientifiques, nous font rejeter, au nom de l'éthique professionnelle, les postures technocratiques (Tricart *et al.*, 1979).

Pour résumer, Jean Tricart et Jean Kilian (1979) ont proposé un organigramme des différentes étapes d'une étude, aboutissant à une prise de décision. Cet organigramme est repris dans le tableau 2, après avoir été adapté à nos travaux de géographie limnologique.

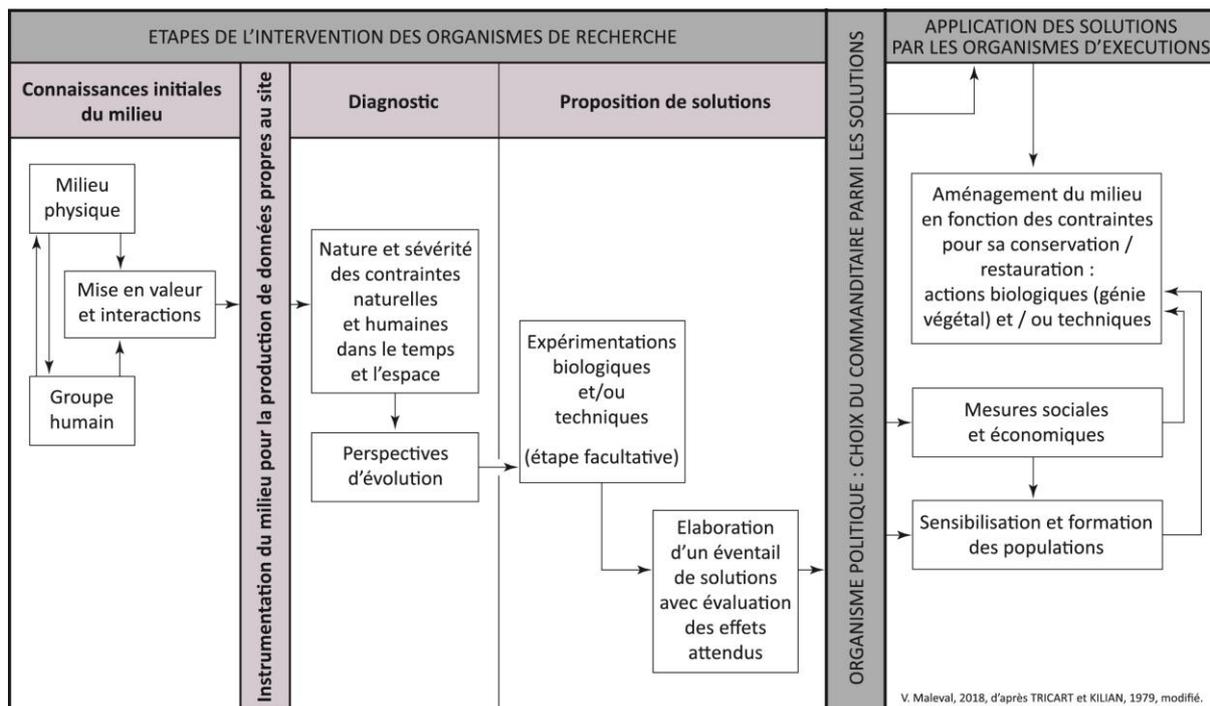


Tableau 2 : « Programmation des études ».

Bien entendu, tout au long du travail scientifique, le coordinateur reste en contact avec les gestionnaires et sert d'intermédiaire entre les gestionnaires et les partenaires de l'étude. Parfois, des réunions de mi-parcours et des conférences sont organisées, les premières pour informer de l'avancée de l'étude (exemple à Thonon-les-Bains), les secondes, pour informer les différents acteurs du territoire, de l'étude qui est en cours comme ce fut le cas à Confolens. En fin d'étude, le rapport est remis au commanditaire (dont un exemple est mis en annexe) et les résultats sont présentés au cours d'une conférence interne (Thonon) ou publique (Confolens).

## 2-2 – Nos travaux appliqués peuvent-ils être assimilés à de la recherche scientifique ?

La partie épistémologique a montré que depuis 1950-60, la partie utilitaire de la géographie a été vivement opposée à la recherche fondamentale, des géographes critiquant leurs confrères ayant une activité appliquée. Bien que nous abordions brièvement notre propre expérience, la question est moins de savoir ce qu'il en est réellement aujourd'hui, que de montrer un exemple concret d'apports en fondamentale, issus de nos travaux.

### 2-2-1 – Des critiques toujours d'actualité...

Tout comme dans les années 1950 où de jeunes géographes français, séduits par les applications de la géographie, se sont heurtés à des résistances (Phlipponneau, 1999), il faut bien avouer que pour certains collègues, les travaux contractuels sont difficilement considérés comme un travail universitaire. Nous avons effectivement constaté du désintérêt, voire du dédain de la part de collègues au cours de discussions ou réunions d'équipe, où il est possible d'entendre des choses du style « ce n'est pas ton rôle mais celui des bureaux d'études » ou « tu crois en faire mais tu ne fais pas de géographie appliquée » et ce, sans connaître

réellement les tenants et aboutissants de nos travaux. À croire que le discours n'a que peu évolué depuis le temps où le géomorphologue Gaston Beudet pensait que si la géographie physique répondait à cette demande, elle devrait renoncer à la recherche fondamentale car elle deviendrait un « simple bureau d'étude » (1982, in Broc, 2010). À Limoges, où la plupart des géographes ont conscience de l'importance du champ des applications, notamment à l'échelle régionale avec le récent projet de création d'une plateforme de transfert de la recherche vers la société civile (projet GEOLAB non retenu n'émanant pas de la géographie limnologique), les points de vue sont peut-être un peu différents. Quoi qu'il en soit, la demande existe et la géographie, comme l'ont rappelé d'éminents géographes, se doit d'être utile et rigoureuse, « étrangère aux querelles d'écoles trop fréquentes dans l'Université et trop souvent accompagnées de stériles rivalités de personnes » (Tricart, 1962, p. 156), et du désir d'empêcher les autres de travailler et réussir (Tricart, 1968).

### **2-2-2 – ... mais une « unité de doctrines et de méthodes » (Juillard, 1962, p. 48) ...**

Si Louis Josserand, en 1958, disait que la géographie devait se risquer « à ne plus avoir seulement la culture pour objet, à être plus qu'une étude désintéressée ou une discipline académique, à pénétrer davantage dans la réalité du moment, à orienter la vie de la Cité, à souhaiter être utile » (p. 366 et suiv.), la question est de savoir « pourquoi une étude entreprise dans un dessein pratique aurait-elle une valeur scientifique moindre qu'une étude entreprise dans un dessein parfaitement désintéressé ? » (Phlipponneau, 1960, p. 76). En effet, parce que nous traitons de vrais problèmes avec de vraies données (Phlipponneau, 1999), et parce que ces travaux sont réalisés pour la société, « nous pensons même qu'une recherche, dont les résultats pourront orienter une décision (...), doit être conduite avec une rigueur scientifique d'autant plus grande que ses incidences peuvent être plus considérables » (Phlipponneau, 1960, p. 76). Nous ne pouvons pas en effet nous permettre des approximations de méthodes ou d'analyses.

Réciproquement, il faut reconnaître qu'en l'absence des « progrès réalisés dans le domaine de la science pure, les recherches appliquées n'auraient pu connaître un aussi large développement. Les responsables de travaux sous contrat se seraient vite déconsidérés en employant des méthodes obsolètes » (Phlipponneau, 1999, p. 54). Les recherches théoriques et les recherches appliquées sont donc indissolublement liées car « la théorie naît de la pratique, la pratique est enrichie par la théorie » (Krotov, 1967, in Robic et al. 2011, p. 312). En 1978, Tricart réfute également toute opposition : « opposer une recherche fondamentale et une recherche appliquée n'a pas de sens » (p. 189), et réfute toute différence car, en fondamentale comme en appliquée, l'établissement des faits, la construction de la problématique de la recherche s'appuie sur des acquis, des réflexions ainsi que sur l'expérience du terrain. Toute recherche est un travail rigoureux et progressif pour éclaircir une situation, un fait ou un ensemble de faits à l'aide d'outils et de méthodes spécifiques (Gumuchian et al, 2000). Ainsi, dès les débuts de la géographie appliquée en France, Etienne Juillard refusait « deux géographies, l'une, discipline désintéressée, « universitaire », l'autre, pragmatique, « engagée » (Josserand, 1958, p. 367), car la géographie appliquée « n'abandonne pas son attitude scientifique », la recherche pure et l'action collaborent (Juillard, 1962, p. 48), « l'application est la nature même de la science » (Tricart, 1978, p. 190).

En bref, la géographie appliquée impliquant un questionnement et un raisonnement scientifiques peut être plus que de la recherche appliquée, de la recherche *impliquée*, et « défendre une *géographie impliquée* dans la vie de la cité n'est pas scandaleux » (Gumuchian, 2000, p. 402), les travaux de recherches appliquées n'étant pas moins « nobles » mais visant à une meilleure insertion de l'Homme dans son environnement (Tricart, 1978, p. 191). « Sans la recherche appliquée, la connaissance scientifique progresserait beaucoup plus lentement » (Phlipponneau, 1999, p. 24).

### **2-2-3 – ... et un apport en connaissance fondamentale menant à des publications**

La géographie appliquée amène à la production de données des milieux étudiés. Les rapports qui en découlent, même s'ils sont construits comme un travail de recherche pourvu d'un plan rigoureux présentant le contexte, la méthodologie, les résultats et les enseignements, avec utilisation de figures et photographies, sont considérés comme de la littérature grise, en théorie accessible à tous, aux gestionnaires et élus comme aux techniciens, mais en pratique souvent difficiles à se procurer par manque de référencement et absence d'ISNN<sup>4</sup>. Et, selon Rémy Knafou (1997), « pour l'essentiel, en France comme ailleurs, les géographes demeurent des experts dont les compétences sont enfermées à l'intérieur d'une littérature *grise* » (p. 12). À notre sens, tout rapport doit faire l'objet d'une publication scientifique car la réalisation d'études sous contrat est une chance pour le géographe de valoriser ses compétences, son expérience et son savoir. En effet, le chercheur, qui a le devoir de publier, en rendant publique ce qu'il sait, est valorisé et reconnu (celui qui ne publie pas est connu sur un autre terrain -pas forcément positif-). Il suffit simplement de signaler aux commanditaires, par le biais d'une note dans les contrats, que les résultats feront l'objet d'une publication scientifique (et ce point n'a jamais causé de souci). La publication permet aussi de dissuader certains à piller les travaux géographiques sans en citer les sources (Phlipponneau, 1999), comme ce fut le cas pour un rapport de Jean Tricart « recopié successivement par toute une série de bureaux d'études qui l'avaient présenté comme leur propre travail et s'étaient fait payer pour cela » ! (Tricart et al., 1979, p. 288).

Il convient donc de publier ses résultats de recherche à finalité pratique, sans craindre « de heurter la communauté géographique qui a toujours tendance à ne reconnaître de valeur qu'aux travaux de science pure » (Phlipponneau, 1999, p. 59), d'autant que leur valeur est scientifique par, outre la rigueur et la méthode, leur apport en connaissance fondamentale. L'exemple de l'apport lié à l'étude du lac de Saint-Germain-de-Confolens est représentatif dans la mesure où il a permis de porter de nouvelles connaissances en géographie limnologique sur la question des bilans sédimentaires lacustres (cf. 2<sup>ème</sup> partie de ce volume). Par conséquent, comme l'a mentionné Michel Phlipponneau en 1999, la géographie appliquée permet d'améliorer et d'abonder les connaissances car son côté utilitaire, « en accordant une priorité aux processus par rapport aux vues théoriques sur la modélisation » (p. 150), contribue à faire progresser la discipline géographique en général, limnologique en particulier.

---

<sup>4</sup> International Standard Serial Number ou Numéro international normalisé des publications

## **2-3 – Quel est le bilan de nos activités scientifiques appliquées ?**

Issue de notre expérience personnelle, la discussion qui suit contient inévitablement une part de subjectivité, dans la présentation des aspects positifs et négatifs des applications géographiques. Les nombreux points évoqués, à la fois pour le monde universitaire et le monde professionnel, témoignent de la complexité des collaborations et des relations humaines et professionnelles.

### **2-3-1 – De multiples retombées pour l’universitaire et l’université**

#### **a – Des avantages révélateurs de nos compétences et de notre utilité**

- Grâce aux activités de géographie appliquée, les géographes, qui gagnent une utilité sociale, révèlent leur sérieux et leur aptitude à communiquer. Le sérieux peut cependant avoir un côté désagréable dans la mesure où il convient d’être exigeant avec les collaborateurs, notamment sur les délais de rendu des résultats, mais cela est vital pour, d’une part, garder notre crédibilité, et d’autre part, ne pas nuire à l’image des universitaires et à celle de la géographie appliquée. Considéré comme expert, le géographe peut être invité à des débats et émissions relatifs à des faits d’actualité dans son domaine de recherche. C’est notre cas pour des questions environnementales (à la radio locale sur la thématique de la radioactivité au lac de Saint-Pardoux, à la télévision régionale et nationale sur la géographie de la Vienne, les aspects économiques du Léman et du barrage des Trois Gorges en Chine -offres déclinées en raison d’incompatibilité de calendrier-). De plus, nos études font l’objet d’articles dans la presse locale (dans le *Messenger* à Thonon, la *Charente Libre* à Confolens et le *Populaire* à Limoges sur le lac de Saint-Pardoux) et étrangère (au cours d’une mission au Japon avec une étudiante japonaise, nos travaux de thèse portant notamment sur le lac de Saint-Pardoux ont fait l’objet d’un article dans la presse locale en 2001).

- Toute recherche s’inscrivant au sein d’un processus global dynamique (Gumuchian, 2000), débouche sur de nouvelles interrogations. Il est ainsi commun que le commanditaire veuille poursuivre l’étude pour l’approfondir. Par exemple, 1) l’étude des rivages lémaniques sur la commune de Thonon-les-Bains a commencé par un diagnostic de la situation littorale et des causes, pour se poursuivre par l’acquisition des rythmes d’érosion et la proposition de solutions pour des sites clefs. 2) L’étude limnologique du lac de Saint-Germain-de-Confolens a été prolongée une première fois pour l’étendre au bassin versant sur le thème de la qualité de l’eau, puis une seconde fois, pour réaliser le suivi de la sédimentation lacustre (en cours). De plus, il faut bien avouer que lorsque nos propositions sont suivies d’actions concrètes de la part des gestionnaires (à l’image des travaux effectués sur les rivages lémaniques ou à Saint-Germain-de-Confolens), il est appréciable de constater que notre travail a un véritable intérêt, et d’en apercevoir les effets au fil du temps. Cela donne l’impression d’avoir contribué à l’amélioration et d’être réellement utiles.

- Les gestionnaires nous font donc confiance et c’est probablement la raison pour laquelle les contrats se prolongent et que de nouveaux arrivent. En effet, après l’étude thononaise, la commune de Sciez a voulu une étude générale de l’érosion pour les plages du Foron et du Guido, et depuis l’étude confolentaise, nous avons eu une demande de renseignement de l’agence Adour-Garonne pour le lac charentais de Lavaud. Si le bouche à oreilles de la part des commanditaires et des administrations permet de compléter et d’étendre géographiquement

notre réseau, il permet aussi de multiplier les applications, car sans doute avons-nous été reconnus utiles et compétents. Toutefois, nous ne prenons, sur une même période, qu'un seul contrat, de façon à conserver du temps aux autres activités universitaires, comme la recherche académique.

- La confiance accordée par les commanditaires présente un avantage scientifique essentiel, comme le notait déjà, en 1960, Michel Phlipponneau, à savoir l'accès à des bases de données et à une documentation à diffusion interne aux structures de gestion, qui serait refusé à un chercheur « pur ». Ce fut le cas pour les études haut-savoyarde et charentaise, tels des plans d'aménagements, de dépenses pour tenter de contrer l'érosion littorale, des résultats d'analyses d'eau ou encore des bathymétries. Ces documents sont essentiels notamment pour connaître l'évolution des milieux ou encore effectuer des comparaisons entre les données. Outre l'accès à ces informations, il convient de mentionner que leur publication dans des articles scientifiques a toujours été, à ce jour, possible grâce à l'autorisation des gestionnaires.

- Enfin, les applications géographiques sous contrats présentent un avantage indéniable : comme pour avancer, la recherche a besoin d'argent et que ses crédits, provenant la plupart du temps du CNRS et des programmes de recherche, sont souvent insuffisants, l'argent issu des contrats améliore les conditions de travail des enseignants-chercheurs (équipement et fonctionnement). Les enveloppes sont gérées par une structure universitaire (l'AVRUL pour Limoges), et depuis huit ans, la source de financement de nos activités provient exclusivement des contrats. Le contrat thononais a, par exemple, financé 2 ans de recherche au Maroc (programme SIGMED intégré après son commencement), tandis que le programme confolentais a financé du matériel informatique et de terrain, des missions de terrain, des participations à des colloques et permet d'employer un doctorant sur 6 mois. Nos relations avec les gestionnaires permettent également aux étudiants de M2 de réaliser des stages rétribués (d'un montant supérieur à la rétribution légale) comme c'est le cas pour un étudiant de l'Université d'Orléans qui doit réaliser une synthèse bibliographique sur la question de la sédimentation lacustre, pour le compte du syndicat confolentais (il est impossible de confier un travail de géographie limnologique à un étudiant limougeaud en raison de l'absence de cette spécialité dans sa formation géographique). Comme l'a écrit Michel Phlipponneau, les décideurs demandent aux géographes universitaires, appréciés pour leur expertise, « des travaux sous contrat dont le produit représente (peut représenter) l'élément essentiel du budget de fonctionnement des centres de recherche » (1999, p. 8).

Évidemment, les contrats présentant des avantages financiers et matériels, des questions de déontologie dans la recherche se posent. Une minorité de collègues, au nom de l'éthique scientifique, se refuse à voir rémunérer des consultations ou des rapports (Phlipponneau, 1999). Néanmoins, à partir du moment 1) où l'universitaire garde son indépendance et son objectivité dans les analyses et interprétations du travail qu'il doit rendre, et 2) où les enveloppes sont gérées par un service ou une association universitaire, il n'y a aucune raison pour que la discipline en pâtisse : la géographie n'est pas bradée au détail comme pouvaient le dire les partisans de la géographie active ! En son temps, Roger Brunet a dû convaincre les

étudiants que leur implication dans la recherche contractuelle n'a rien de *sale* (Phlipponneau, 1999).

Sur la question financière, nous avons souvent entendu que les commanditaires préféreraient contracter avec les universitaires pour une question de coût, sous-entendu que c'est plus avantageux que s'ils passaient par une société privée. Dans notre cas, dans la mesure où nous faisons aussi appel à des sociétés privées d'études pour constituer les équipes de travail, c'est faux, car plus coûteux dans le sens où le total de la prestation comprend à la fois les honoraires des sociétés privées auxquelles nous faisons appel, et les honoraires universitaires. Les raisons pour les commanditaires ne sont pas d'ordre financier, ils privilégient la qualité de l'expertise.

#### **b – Les inconvénients : lourdeur administrative, mauvaise décision et forte réaction**

- L'image des universités peut parfois être écornée en raison de la lourdeur de certains services administratifs et des tentatives de certains collègues pour ralentir un dossier. Il paraît en effet inconcevable d'attendre plusieurs semaines, et souvent plusieurs mois, des conventions rédigées ou des contrats validés. Ce fonctionnement qui ne permet pas de répondre efficacement aux exigences des universitaires investis dans la recherche appliquée, pourrait dissuader les commanditaires de passer de nouveaux contrats ou de nouvelles conventions. D'où la volonté, comme indiqué dans le premier volume de cette habilitation, de créer une structure, l'AIGLE, pour optimiser la partie administrative.

- Si les études, par leurs résultats, doivent orienter la décision du gestionnaire, en revanche, cette décision ne nous appartient pas. Il faut donc s'attendre et être prêt à accepter que la décision prise soit différente, voire contraire aux suggestions faites ; d'autres critères, plus déterminants, pouvant l'emporter (Tricart, 1978). Par exemple, au cours d'une réunion à la mairie de Thonon-les-Bains portant sur les solutions à apporter pour protéger le littoral de l'érosion (génie végétal *versus* enrochement), une élue a clairement dit que l'aspect économique peut être décisif (la solution douce préconisée a été par la suite retenue et mise en œuvre). De plus, un choix peut parfois être plus ou moins contre-productif. Un exemple peut être donné avec la décision du gestionnaire du lac de Saint-Germain-de-Confolens d'arrêter le fonctionnement du déstratificateur de la masse d'eau en saison estivale (2016), après que les résultats de terrain aient montré son sous-dimensionnement, favorisant ainsi l'eutrophisation du lac. Certes, la suspension de l'aération s'est accompagnée d'une nette dégradation de la qualité de l'eau (concentration importante de métaux). Néanmoins, comme les expérimentations en géographie physique présentent l'avantage d'avoir des effets nets et rapides permettant de confirmer ou infirmer des faits et/ou des conséquences découlant d'une décision (Phlipponneau, 1999), à l'image de cet exemple, des travaux pour pallier au problème ont été menés : une nouvelle rampe d'aération pour compléter le dispositif existant a été installée au printemps suivant.

- A ce jour, le second et dernier inconvénient concerne la forte réaction de certains acteurs lorsque leur activité, ayant des effets néfastes sur le milieu, est pointée du doigt. L'exemple le plus représentatif eut lieu à Thonon-les-Bains avec Sagradranse, société d'exploitation de granulats. En effet, notre étude a démontré que le prélèvement des sédiments fluviaux au débouché de la Dranse dans le Léman exacerbe l'érosion des rivages de la commune, dans

la mesure où les sédiments prélevés ne pouvaient y être redistribués naturellement par la dérive littorale. Si cette étude a confirmé les suspicions de différents organismes de la région comme le CELRL ou la CIPEL (Conservatoire des Espaces Littoraux et Rivages Lacustres ; Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman), elle a aussi permis de compléter le dossier des services de la préfecture statuant sur les demandes de renouvellement des autorisations à exercer une activité interdite (le prélèvement de sédiments dans les milieux océanique et lacustre est interdit depuis les années 1980). Les services de la préfecture n'ayant pas autorisé Sagradranse à poursuivre son activité, nous avons eu droit, de la part du directeur des établissements, à un mail incendiaire nous menaçant d'une action en justice pour diffamation !

### **2-3-2 – Les aspects de la collaboration des enseignants-chercheurs avec le monde professionnel**

Le partenariat entreprise-université présente de nombreux atouts, très bien décrits par Michel Phlipponneau (1960, 1999), ainsi qu'un aspect prestigieux et bénéfique comme le mentionnait le bulletin *Limousin Université* de janvier 2016, même s'il peut également avoir des côtés négatifs. Les différents aspects de cette collaboration université-entreprise-gestionnaire, exposés ci-après, sont issus de notre expérience.

#### **a – Les points forts pour la sphère universitaire : tremplin étudiant et notoriété universitaire**

Les universités bénéficient de la collaboration avec la sphère privée en créant des synergies avec le monde économique. En premier lieu, les travaux d'universitaires sous contrats amènent des possibilités de stages pour les étudiants qui travaillent ainsi sur des applications géographiques ou sur de réels sujets d'entreprises (cas de Simon Cailliez en M2). En second lieu, ils peuvent créer des emplois à durée déterminée (cas de Radouane Hout en doctorat), mais aussi à durée indéterminée pour les étudiants formés à l'application, car rien n'est plus formateur qu'un travail réalisé sous contrat (Phlipponneau, 1999). Certains se lancent également dans la création de leur propre entreprise, à l'image de Thierry Moreau, géographe physicien de formation qui a créé sa société de cartographie (TM Carto) après avoir été employé par une société d'étude sur les recommandations d'un ancien professeur de géographie de Limoges. En effet, si le géographe universitaire a une utilisation simple et habituelle de l'informatique, le professionnel a une connaissance parfaite et approfondie des techniques géomatiques, recherchées par les commanditaires.

Enfin, la recherche appliquée accroît la réputation de l'université et profite à leur image, à l'image des universités américaines qui encouragent vivement les universitaires à donner une partie de leur temps à des travaux appliqués, dans le sens où les compétences des universitaires sont valorisées. Elle accroît également la qualité des enseignements de l'universitaire en renforçant l'expérience pratique (Phlipponneau, 1960). Dès leur première année, les étudiants ont alors des exemples concrets de l'utilité de la discipline et de ce vers quoi, outre l'enseignement, leur formation peut les conduire.

**b – Les points forts pour la sphère privée : intégration dans la recherche et la pédagogie et poursuite des études sur le plan technique**

La formation, la curiosité scientifique des géographes toujours ouverts à la discussion (y compris sur des sujets éloignés de leur domaine) et leur accès à l'actualité scientifique, permettent d'aborder tous les « à-côtés » d'un sujet, et de faire des ponts entre eux car ils tendent au questionnement et à l'expérimentation (matériel, protocole...) (Frédéric Pitois, Limnologie SARL, com. orale). Ce point permet alors au professionnel d'intégrer un vrai processus de recherche (dans le sens où il ne livre pas simplement une étude pour laquelle il est rémunéré), au cours duquel il bénéficie de temps pour développer des méthodologies complexes. En bénéficiant de l'expertise et de la connaissance des chercheurs, le professionnel peut également remettre en question des méthodes de travail, mais aussi compléter et actualiser ses connaissances pour finalement maintenir une veille active sur les techniques les plus récentes de cartographie SIG : « il est clair que sans cette collaboration, bon nombre de développements demandant une longue maturation ne pourraient être menés, faute de temps, d'opportunités, d'expérimentations et surtout de moyens (potentiel humain, niveau de formation, accès à des données spécifiques) » (Thierry Moreau, TM Carto, com. orale).

Le fait de travailler avec les universitaires est aussi pour la plupart des sociétés d'études (TM Carto, Ingetec), une caution scientifique appuyée par le CV des enseignants-chercheurs et par la présence des logos du CNRS et du laboratoire de recherche sur les documents de travail (protocole d'étude, rapport, diaporama...). Cette caution est aussi un atout pour asseoir la confiance des commanditaires. De plus, du point de vue des professionnels, l'analyse géographique faisant la synthèse de multiples données, appuyées par des références bibliographiques, apporte un complément aux expertises et au savoir-faire des partenaires du privé. Les collaborations accroissent les compétences de chacun.

Notre collaboration avec la sphère privée permet l'intégration du professionnel dans le monde universitaire par le biais de cours dispensés (exemple du géographe de TM Carto à l'université de Limoges pour des interventions en licence, ou d'un hydrobiologiste d'Ingetec (anciennement Corridor) à l'université de Chambéry pour un cours de master), mais aussi par le biais des publications scientifiques, se révélant être un atout pour leur CV lorsqu'ils répondent à des appels d'offres (pour les articles publiés dans les revues HCERES, nous mettons toujours le nom du collaborateur privé en deuxième position).

Enfin, les sociétés d'études ayant participé aux travaux de géographie appliquée peuvent poursuivre le travail avec les commanditaires sur des aspects purement techniques. Ce fut le cas pour la société Corridor qui s'est occupée de la réalisation technique des solutions proposées sur les rivages lémaniques de Thonon pour contrer l'érosion. C'est également le cas pour la société Ingetec à qui nous avons fait appel pour réaliser les travaux pour contrer la sédimentation au lac de Saint-Germain-de-Confolens.

En bref, les collaborations université-entreprises amènent aux deux structures de la valeur ajoutée.

### **c – Les abus de la collaboration université-monde professionnel pouvant éloigner le géographe de son indépendance et objectivité, ou d'une étude**

Le risque pour l'universitaire pratiquant la géographie appliquée est la perte de son indépendance scientifique, son objectivité, sa rigueur et son sens critique vis-à-vis des gestionnaires qui pourraient être tentés de le manipuler (Phlipponneau, 1960, 1999). Fonctionnaire, il doit garder à l'esprit l'intérêt général et environnemental pour ne pas, sans les ignorer, entrer dans des considérations privées. Ce point essentiel peut être rapproché de l'intervention du géographe Jean-Paul Bravard à la commission parlementaire (2016) sur l'usage et la gestion équilibrée des cours d'eau. Il est intervenu pour critiquer la volonté des services de l'Etat d'effacer les seuils des cours d'eau pour, soi-disant, restaurer la continuité écologique des cours d'eau. Bien que fonctionnaire, il s'est élevé contre les services de l'Etat car, en tant que scientifique, seuls le sens commun et les résultats ont de l'importance, et ce, même s'ils vont à l'encontre des lois. « Notre discipline ne conservera son caractère scientifique qu'en préservant sa stricte indépendance garante de son objectivité » (Josserand, 1958, p. 367). Bien évidemment, en géographie appliquée, « le géographe a le devoir de remettre à l'organisme qui subventionne ses recherches ses propres conclusions et non celles qu'attend peut-être cet organisme » (Phlipponneau, 1960, p. 81). Pour l'instant, nous n'avons pas été confrontés à cela et, au contraire, le réseau fait appel à nous pour notre objectivité : la société Ingetec et le gestionnaire du parc de Clères (Conseil départemental de Seine-Maritime), n'arrivant plus à communiquer, se trouvaient en situation de stand-by entre les phases 1 (diagnostic) et 2 (plan d'actions) de l'étude. Pour résoudre le conflit, notre neutralité nécessitait d'exprimer les choses difficiles à dire pour un professionnel financé (il est courant d'entendre que l'avis d'un privé est biaisé), et difficile à entendre pour un gestionnaire (critiques de sa politique). N'étant tenu à aucun devoir de réserve, notre rôle d'expert scientifique public, pour réamorcer la discussion et tirer les réflexions vers le haut, était d'exposer simplement les faits, tous, pour en tirer les conclusions, y compris celles qui fâchent (animaux en surnombre -1500 dont 1000 en liberté- sur le petit espace du parc de Clère - 13 ha-, générant une forte érosion et sédimentation ; espèces pas forcément adaptées comme le kangourou). En effet, le géographe, à l'abri des pressions, doit faire part des dysfonctionnements, des incohérences et des enjeux (Phlipponneau, 1999). La géographie limnologique tente ainsi d'éclairer les débats, surtout s'ils tendent à la polémique (Touchart et Graffouillère, 2004), car avoir l'avis d'un scientifique facilite les choses et les discussions, dans l'ambiance parfois survoltée des comités de pilotage où tous essaient de minimiser les faits ou les résultats d'étude, pour défendre leur point de vue ou leur intérêt propre.

Les partenariats évidemment basés sur une collaboration constructive, un partage des uns et des autres, peuvent parfois amener à de désagréables surprises : une société d'étude (qui n'existe plus aujourd'hui), fondée par un ancien géographe limougeaud, nous a demandé, en 2012, de travailler avec elle, sur le suivi piscicole et sédimentologique de l'Artaude en Corrèze, au niveau du barrage des Chaumettes. Après avoir établi et rédigé un protocole d'étude mentionnant la méthodologie, le matériel nécessaire, les résultats attendus et la fiche financière, nous n'avons plus entendu parler d'elle ! Peu scrupuleuse, elle voulait l'apport géographique universitaire sans la participation du géographe à la recherche.

En conséquence, depuis toujours, la géographie est utile : « à toutes les époques, la géographie a ainsi rendu à l'humanité le double service de contribuer à l'élargissement et à l'aménagement de son domaine » (Phlipponneau, 1960, p. 15), même si, il fut un temps (et un peu encore aujourd'hui) où ni les utilisateurs, ni surtout les géographes ne paraissaient en avoir parfaitement conscience. Tout comme Michel Phlipponneau (1960, p. 68), « nous considérons que le géographe, qui doit sa formation à la société à laquelle il appartient, a le devoir de mettre à sa disposition les connaissances et l'expérience qu'elle lui a permis d'acquérir » ; il ne doit pas s'enfermer dans sa tour d'ivoire. Pour reprendre les mots de Jean Tricart, les applications sont un stimulant irremplaçable, et nous avons foi en notre travail et notre utilité (Tricart, 1965).

La partie suivante est donc un exemple de ce que peut faire la géographie appliquée dans le domaine de la géographie limnologique.



## SECONDE PARTIE

### L'ASPECT UTILITAIRE DE LA GÉOGRAPHIE LIMNOLOGIQUE : EXEMPLE DE L'ÉTUDE LIMNOLOGIQUE DU LAC DE SAINT-GERMAIN-DE-CONFOLENS

*L'eau constitue le nœud de la géographie physique...  
et un thème majeur de la géographie tout court.*

*J.P. Vigneau (1987), in N. Broc (2010), p. 579.*



Vue du delta de l'Issoire à son embouchure dans le lac de Saint-Germain-de-Confolens

Si les recherches appliquées à l'hydrologie continentale s'inscrivent dans la thématique générale de l'environnement, les liens entre l'hydrologie et les autres branches géographiques sont la raison essentielle du concours des géographes pour l'étude géosystémique des milieux aquatiques et de leur bassin versant. Dans *L'épiderme de la terre* (1962), Jean Tricart a détaillé les rapports existants entre l'hydrologie et la morphologie, dans le cadre de bassins versant torrentiels et de grands aménagements hydrauliques, grâce à une étude minutieuse du bilan de l'eau. Le rôle de l'homme sur l'hydrologie en général est alors compris et ne provient pas seulement de l'exploitation hydroélectrique liée aux retenues d'eau, mais également aux effets de multiples autres actions comme le remembrement, le drainage, l'irrigation, l'aménagement de lacs, l'urbanisation... amenant tout logiquement à la question de la pollution, elle-même déterminant de multiples applications géographiques. Dans le domaine lacustre par exemple, « on doit rendre aux lacs alpestres leur pureté originelle, ce que les Américains avaient déjà depuis longtemps réussi à faire à Chicago pour le lac Michigan, a été réalisé pour les lacs d'Annecy et du Bourget » (Phlipponneau, 1999, p. 155). Ce cheminement a permis d'intégrer la géographie physique, via la géomorphologie, à l'écologie et l'environnement, c'est-à-dire à l'étude de l'être vivant et de son milieu. Ainsi, « l'approche géographique permet de passer d'un thème apparemment purement technique à une problématique d'organisation du territoire » (Phlipponneau, 1999, p. 156), comme l'étude de géographie limnologique le montre ci-après.

## 1 – PRESENTATION DU LAC ET DE L'ETUDE

### 1-1 – Le lac de Saint-Germain de Confolens et son bassin versant

En Charente, le lac de Saint-Germain de Confolens, dont les caractéristiques apparaissent dans le tableau 3, a été mis en eau au début des années 70 sur l'Issoire, juste en amont de sa confluence avec la Vienne (bassin de la Loire), par la construction d'un barrage-poids haut de 13 m et d'une longueur de 67,50 m. L'Issoire, tributaire du lac, naît en Haute-Vienne dans les monts de Blond à environ 400 m d'altitude et reçoit les eaux de multiples affluents, dont la Courrière et la Marchadaine en rive gauche (figure 1), avant de pénétrer dans le lac après un parcours d'environ 38 km sur le plateau cristallin de la marge occidentale du Limousin, datant de l'ère primaire (BRGM, 1983) ; le terrain granitique calco-alcalin, et arénisé du Confolentais, a permis de modeler des collines mollement ondulées. L'altitude moyenne du bassin versant est de 255 m avec un point culminant à 511 m et si les pentes maximales atteignent 11,6°, la moyenne est à 3,4°. Le lac, encaissé dans la vallée de l'Issoire, reçoit les eaux d'un vaste bassin versant rural (BV) de 284 km<sup>2</sup>, à cheval sur la Charente (7 communes) et la Haute-Vienne (11 communes). L'Issoire a un débit moyen annuel de 2,8 m<sup>3</sup>/s et si l'hiver correspond à la saison de ses hautes-eaux (Qmoy de 4,3 m<sup>3</sup>/s), l'été coïncide aux basses eaux (Qmoy de 0,8 m<sup>3</sup>/s) (P. BOULANGER et B. SAVY, 2015). Ainsi, comme la grande majorité des cours d'eau limousins et angoumois, l'Issoire a un régime de type pluvio-évaporal océanique (les précipitations moyennes annuelles du bassin versant sont de 850 mm).

C'est pour alimenter en eau potable le Confolentais dit Charente-Limousine (pour son appartenance non seulement géomorphologique, mais aussi historique, culturelle et linguistique -langue d'oc- au Limousin malgré son rattachement administratif à la Charente), que ce réservoir a été créé. Le volume prélevé annuellement pour l'AEP d'environ 14 000 habitants (7979 abonnés au 31 décembre 2015) dépasse le million de m<sup>3</sup> (1 256 221 m<sup>3</sup> en 2015). L'eau est traitée à Saint-Germain de Confolens à la station de Bellevue située à 250 m du barrage, en rive gauche. La fonction exclusive du lac représente un enjeu considérable pour la population mais aussi pour la structure qui gère à la fois la retenue et la distribution de l'eau : le Syndicat d'Eau Potable (SEP) du confolentais.

Début du remplissage	Décembre 1971
Fin du remplissage	Janvier 1972
Cote normale de remplissage (m)	135
Superficie à la cote 135 NGF (ha) *	20,7
Périmètre à la cote 135 NGF (km) *	5,07
Volume à la cote 135 NGF (m <sup>3</sup> )	740 000
Capacité utile théorique (m <sup>3</sup> )	627 000
Profondeur maximale (m)	8
Profondeur moyenne (m)	3,57
Taux de renouvellement des eaux (jours)	6,5
Date d'installation du déstratificateur	1996

Tableau 3 : Caractéristiques originelles du lac de Saint-Germain de Confolens

\* Données calculées dans MapInfo d'après l'image aérienne de 1972

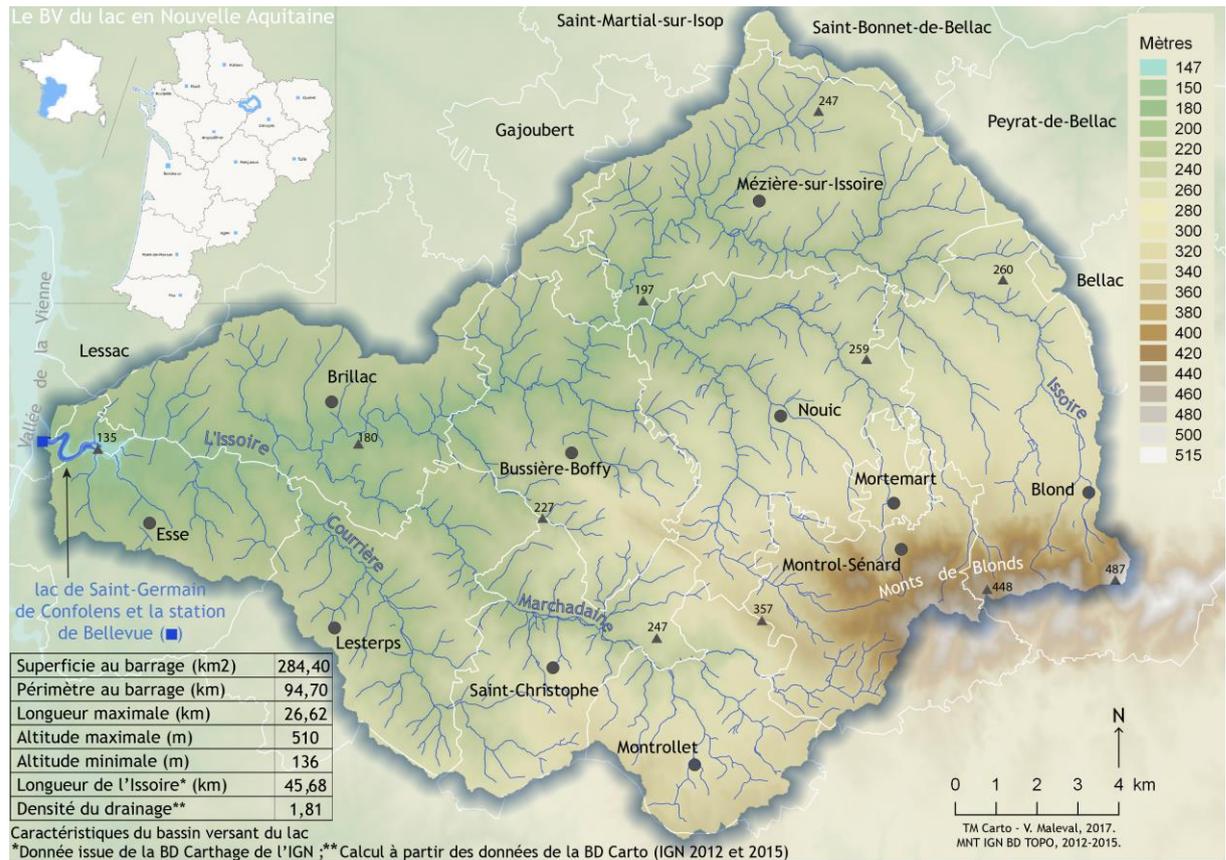


Figure 1 : Le bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens

Il convient de remarquer que si localement, Saint-Germain de Confolens est appelé et considéré comme un lac, ses caractéristiques morphométriques, selon la bibliographie scientifique (Touchart, 2000 ; Touchart et Graffouillère, 2004 ; Bartout, 2006) le classent aussi dans la catégorie stagnustre. En effet, tout comme ses congénères limousins, sa faible superficie (moins de 60 ha) et son petit volume d'eau (moins d'1 million de m<sup>3</sup>) font de lui un étang, bien qu'il ait la profondeur d'un lac. Saint-Germain de Confolens est donc un lac de très petite taille.

### 1-2 – Contexte et objectifs de l'étude

Dans le cadre des modifications environnementales liées notamment au dérèglement climatique, les scientifiques prévoient, pour la plupart des régions du monde, que l'accès des populations à l'eau potable constituera un des principaux enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle, en raison des menaces pesant sur la ressource (exemple de la pénurie et de la pollution avec, dans le même temps, une demande croissante). Il semblerait que cette question de l'approvisionnement en eau soit, depuis un certain temps, un défi pour la retenue de Saint-Germain de Confolens, tant certains dysfonctionnements ont été observés par le SEP et la population (pour un goût désagréable de vase), alors même que celle-ci augmente (5663 abonnés représentant environ 13 000 personnes dans les années 70). En effet, dès 1974, des traces de fer et manganèse

nécessitant un traitement supplémentaire avant la distribution ont été détectées dans l'eau. En 1987, la présence d'insecticide (lindane) et herbicide (triazine) apparaît avant celle des pesticides (atrazine et simazine à partir de 1995) que les procédés de traitement ne peuvent totalement éliminer. Sans compter qu'au début des années 90, l'eau, de qualité déjà insatisfaisante, se détériore fortement en été par la croissance démesurée des algues (cyanophycées) (Boulanger, Savy, 2015), et récemment, les teneurs en matières organiques ont atteint la limite de potabilisation : 9 mg/l mesurés pour une limite maximale à 10 (SEP, 2015). Ainsi, les quelques études effectuées ponctuellement sur la qualité de l'eau ou la sédimentation du lac ont montré qu'au fil du temps, non seulement la qualité des eaux brutes se dégrade mais que le lac s'envase également rapidement, malgré le traitement thermique du lac par l'aménagement, en 1996, d'une aération forcée des eaux lacustres pour pallier aux conséquences de l'envasement (déficit d'oxygène, relargages d'éléments indésirables pour la potabilisation comme le fer, le manganèse, l'ammoniaque et les sulfures, eutrophisation et proliférations de cyanobactéries en années sèches). Face à cette situation difficile et coûteuse<sup>5</sup> pour la filière de traitement avant distribution, la décision de procéder, sur un délai d'un an minimum, à une étude de synthèse sur le fonctionnement sédimentaire et physico-chimique de la retenue dans son bassin versant, a été jugée primordiale pour cerner les dysfonctionnements persistants dégradant la qualité de l'eau.

L'objectif est de mettre en avant les paramètres environnementaux en charge de l'évolution de ce lac à enjeu déterminant (AEP) pour, *in fine*, conserver la distribution d'une eau répondant aux normes de potabilité.

## 2 – METHODOLOGIE...

Après avoir proposé un protocole d'études répondant aux enjeux environnementaux du lac (Maleval, 2015), j'ai rassemblé une équipe pluridisciplinaire pour aider à la partie technique tant le travail de terrain et d'analyses était, sur 12 mois, conséquent. J'ai ainsi fait appel à des scientifiques du secteur public (INSA de Rennes) et privé (dont un géographe de formation ayant monté une société de cartographie et un ex-hydrobiologiste de l'INSA ayant ouvert un laboratoire de limnologie).

Concrètement, pour connaître le fonctionnement physique et l'évolution morphologique de la retenue d'eau de Saint-Germain, l'étude a été articulée autour de 3 volets :

- un bilan sédimentaire permettant d'évaluer le volume utile et la dynamique de la sédimentation,
- un suivi physico-chimique des eaux du lac, des eaux de l'Issoire et de celles exportées au-delà du lac,
- une étude pour évaluer l'influence du bassin versant sur la qualité des eaux et le volume solide entrant dans la retenue. Le tout au regard des contraintes de traitabilité de l'eau distribuée.

---

<sup>5</sup> Par exemple, plus de 20 000 € ont été dépensés pour le traitement de l'eau pour les seuls mois de juillet et août 2006 (Boulanger, Savy, 2015) ; 461 000 € pour l'année 2015.

Pour aboutir aux résultats, le protocole ci-après, relativement complet de mesures, d'observations et d'analyses grâce, notamment, à une instrumentation *in situ*, a été mis en œuvre durant une année complète, d'avril 2015 à mars 2016.

## **2-1 – ... POUR L'ETUDE SEDIMENTAIRE DU LAC**

Un lac n'est pas seulement un milieu qui interrompt un cours d'eau, c'est le maillon d'une chaîne complexe, en relation directe avec son bassin versant. Pour cette raison, il convient de comprendre les mécanismes et les imbrications qui se produisent entre une rivière et un lac, « milieux si différents, et pourtant si complémentaires dans la gestion de la ressource au niveau d'un bassin versant » (Savy, 2006). Ainsi, en simultanément à l'étude du lac lui-même, les échanges s'exerçant du BV vers le lac, et au-delà, ont été étudiés. Ces échanges apparaissent particulièrement importants à connaître, au regard de la taille du bassin d'alimentation.

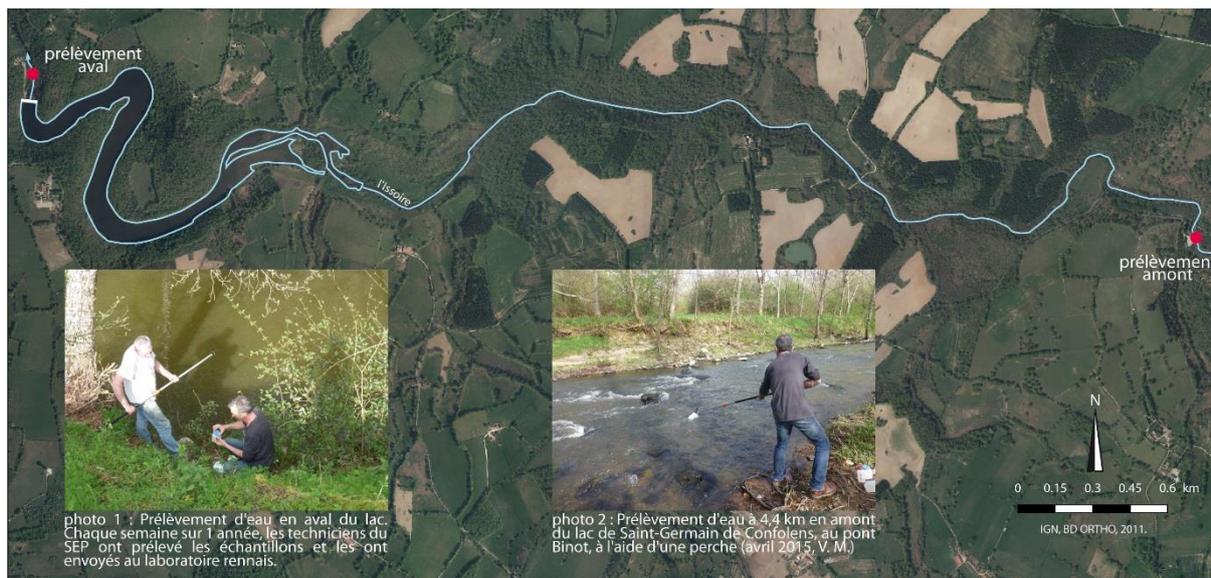
### **2-1-1 – Prélèvements amont et aval d'eau de l'Issoire et analyses**

Les principaux échanges étudiés entre le BV et le lac ont été les MES, principaux apports solides de tous ceux en présence (Forel, 1892 ; Collet, 1925), possédant à eux seuls « une valeur représentative très suffisante » (Fournier, 1960, p. 26), ainsi que les nutriments dont le phosphore, dans la mesure où les valeurs relevées dans la littérature spécialisée sont importantes : le lac de Saint-Germain de Confolens recevrait plus de 80 % de phosphore d'origine agricole et la charge de son bassin serait de 1,8 kg/ha (Tymen, 1997). Ces matières entrent avec les eaux de l'Issoire<sup>6</sup>, elles-mêmes en relation avec les précipitations<sup>7</sup>. Cette étude a été conduite sur un cycle hydrologique complet, d'avril 2015 à mars 2016, de façon à observer les variabilités saisonnières. Chaque semaine, les techniciens du SEP ont prélevé 1 litre d'eau en amont du lac, au pont Binot (figure 2) et, une fois par mois, 3 litres d'eau pour l'analyse d'autres paramètres : l'azote, le fer, le manganèse, la chlorophylle A et le phytoplancton. En raison de l'inégale répartition verticale et transversale des particules transportées en suspension dans une section mouillée (Fournier, 1960), « l'eau a été prélevée à environ 25 cm au-dessous de la surface dans la section du lit où le courant est le plus rapide » (Maleval, 2006). Pour avoir une connaissance précise du rôle joué par le lac, le même travail a été conduit juste en aval de la retenue pour mesurer les sorties du lac. Au total, 104 échantillons d'eau ont été prélevés puis analysés au laboratoire de Rennes (Limnologie SARL).

---

<sup>6</sup> Débit moyen annuel de l'Issoire de 2,8 m<sup>3</sup>/s avec des HE en hiver (4,3 m<sup>3</sup>/s en moyenne) et des BE en été (0,8 m<sup>3</sup>/s).

<sup>7</sup> Précipitations moyennes annuelles du bassin versant : 850 mm ; chaque semaine de l'année d'étude, les données pluviométriques ont été collectées.



**Figure 2 : Localisation des points amont et aval des prélèvements d'eau de l'Issoire (V. Maleval)**

Afin de compléter les résultats, il a été conduit, au cours de l'été 2016, trois campagnes de prélèvements d'eau (à la fin des mois de juillet, août et septembre) dans les affluents de l'Issoire pour évaluer la qualité de l'eau pénétrant dans le lac, et connaître le rôle du bassin d'alimentation sur la qualité de l'eau lacustre. Dix sites de prélèvements (figure 3) ont été choisis en fonction de leurs particularités amont à savoir la présence de labours, de vergers et d'étangs mais aussi de regroupements humains (lieu-dit, village de vacances) ; ils sont représentatifs de l'ensemble de l'occupation du sol du BV. Les analyses ont porté sur les paramètres déjà étudiés sur l'Issoire (MES, formes du phosphore, de l'azote, COT et COD, phytoplancton et chlorophylle A). L'objectif est de connaître les contributions des affluents à la dégradation de la qualité de l'eau et d'en identifier l'origine (érosion de terres, rejets d'eau usée, vidange d'étangs...). En raison du prélèvement mensuel (de juillet à septembre), les contributions relatives aux flux ont été évaluées par la moyenne des concentrations des trois campagnes, pondérée par la surface des sous-bassins. Cette méthode autorise également la comparaison des sous-bassins entre eux par rapport à la qualité moyenne des eaux dans l'ensemble du bassin versant : si la contribution est inférieure à la quote-part de superficie, la qualité de l'eau est meilleure que la moyenne, et réciproquement.

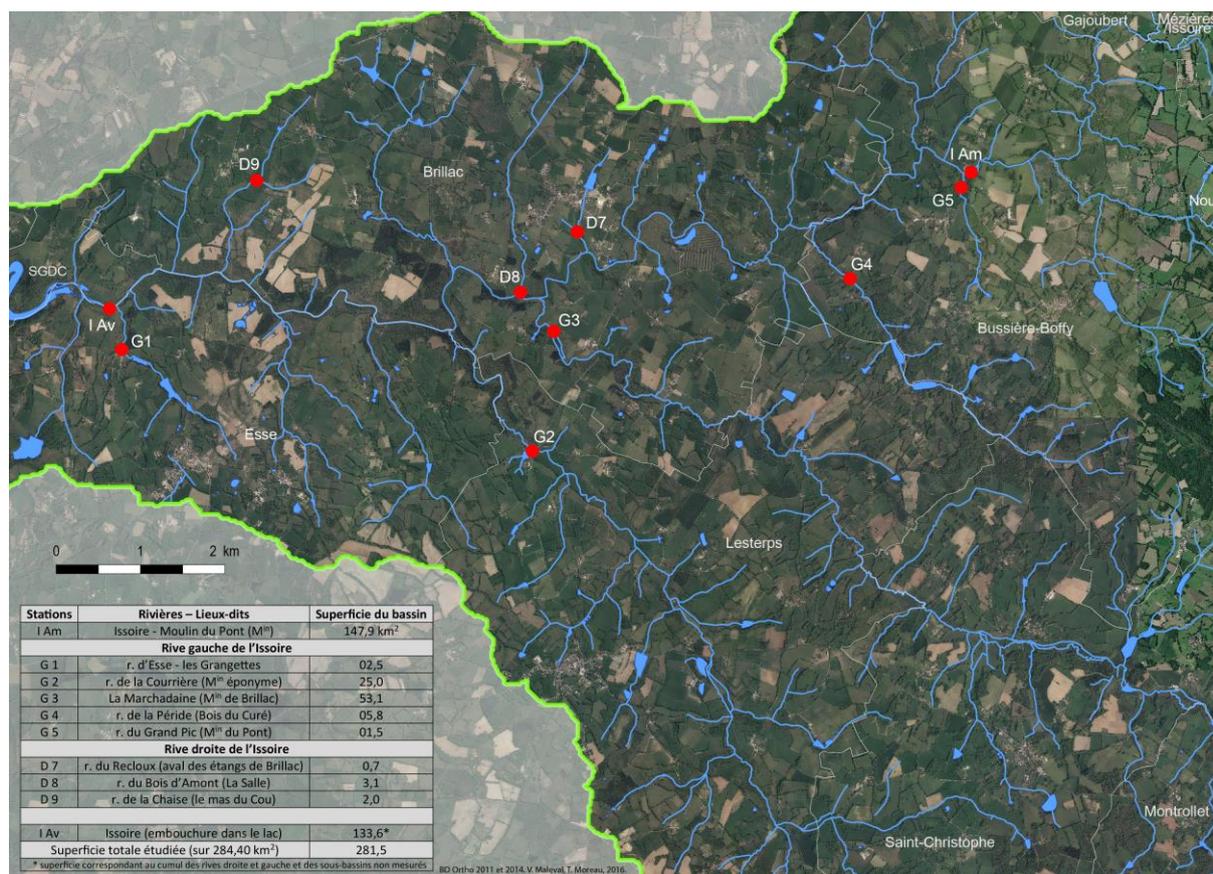


Figure 3 : Localisation des points de prélèvements d'eau dans le BV du lac

Ces résultats, complétés par ceux issus de l'étude à l'intérieur même de la retenue, permettent la connaissance du fonctionnement du lac de Saint-Germain de Confolens.

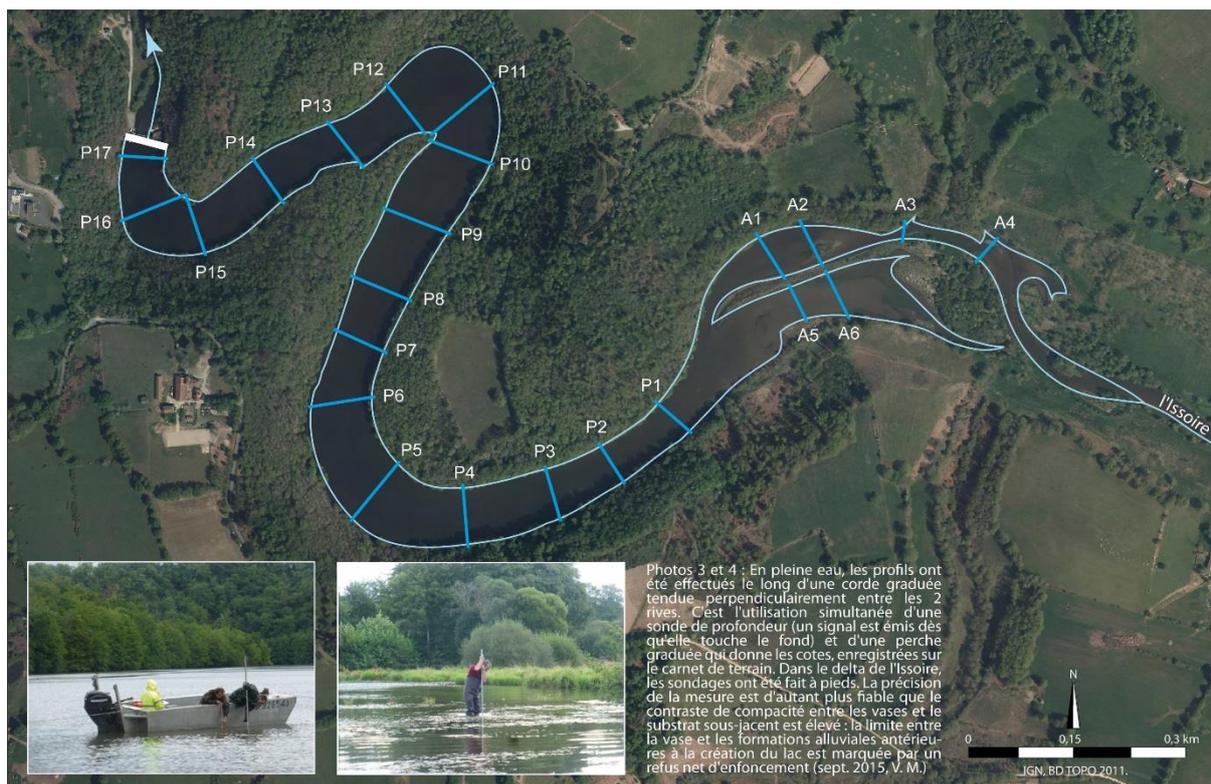
## 2-1-2 – Etude de la cuvette lacustre

Le fonctionnement de la machine lacustre procédant à la fois, et d'une manière indissoluble, des dimensions verticales et horizontales (Touchart, 2000, p. 10), l'ensemble de la cuvette a été étudié : le fond, communément nommé le plafond, se raccordant au littoral par l'intermédiaire de talus sous-lacustres plus ou moins inclinés.

### a – Le travail bathymétrique

Comme il a été impossible de récupérer les études faites à l'occasion de la création du lac, dont la carte topographique précise de la vallée de l'Issoire envoyée, le premier travail de terrain a consisté à procéder aux relevés bathymétriques le long de 23 profils (dont 7 en amont) afin d'obtenir 1) les isohypses originelles de la cuvette, 2) les isobathes actuelles, 3) le volume de la sédimentation abyssale et 4) la nature des sédiments. La bathymétrie a été faite par l'utilisation simultanée d'un GPS, d'une sonde électronique de profondeur et d'une perche graduée avec un embout de 30 mm (figure 4) : tandis que la sonde indique la hauteur d'eau, le refus d'enfoncement de la perche ou l'accroissement de l'effort donne la cote originelle du

fond du lac. L'épaisseur du dépôt correspond alors à la différence entre la cote de l'interface eau-sédiment et la cote du fond originel. A proximité du trait de côte, les relevés sont espacés de 2,5 m, et de 5 m en pleine eau. Le rendu cartographique a été élaboré par le traitement informatique des données dans les logiciels *ArcView* et *Surfer*. Il convient de noter que la bathymétrie, faute de vidange complète du lac depuis sa création, n'est pas biaisée par la dessication qu'auraient pu subir les sédiments en période d'assec (Maleval, 2002). Ces résultats sont comparés à ceux des 2 études bathymétriques du lac, effectuées en 1994 et 2001, pour compléter l'évolution sédimentaire de la cuvette.



**Figure 4 : Localisation des profils bathymétriques du lac de Saint-Germain de Confolens (V. Maleval)**

### **b- Le suivi sédimentologique : utilisation de sédimentomètres et analyses des sédiments**

Ce suivi est indispensable pour connaître les particularités des dépôts à savoir, le rythme, la variabilité, les taux et la nature des sédiments au cours de l'année étudiée. Il passe par l'instrumentation du lac et des analyses en laboratoire.

Pour assurer le suivi sédimentologique, trois pièges à sédiments<sup>8</sup> ont été installés dans le lac, en continu durant 1 an ; ils constituent « la seule technique permettant d'estimer le flux particulière de sédimentation dans la colonne d'eau sur de courtes périodes d'étude » (Banas, 2001) car la marge d'erreur est inférieure à 20 % (Rosa *et al.*, 1994 *in* Banas *et al.*, 2002). Les taux moyens annuels sont exprimés en  $\text{mm.an}^{-1}$ . Le matériel a été immergé à des endroits stratégiques en termes de morphologie lacustre, de bathymétrie et d'hydrodynamique (figure 5). Ainsi, le sédimentomètre déposé en amont de la retenue est représentatif des plus faibles

<sup>8</sup> Modèle conçu par l'INSA et déposé à l'INPI.

profondeurs et de la dynamique de l'Issoire, celui du centre, entre les 2 méandres lacustres, caractérise les profondeurs intermédiaires moins soumises au courant fluvial, et le troisième, en aval, sert de référence aux profondeurs les plus importantes pour le lac étudié (moins de 8 m) à la dynamique exclusivement lacustre. Ces appareils, déposés sur le plafond, sont destinés à recueillir les matières qui décantent le long de la colonne d'eau sus-jacente. Leur relevé saisonnier présente l'avantage de mettre à jour l'évolution intra-annuelle de la sédimentation abyssale autant en termes quantitatif que qualitatif. En effet, les matières décantées et séchées au laboratoire de l'INSA ont été analysées (matière sèche, teneur en matière organique, granulométrie laser, teneurs en eau et en matière sèche, en azote et phosphore totaux) et observées au microscope électronique à balayage (MEB).

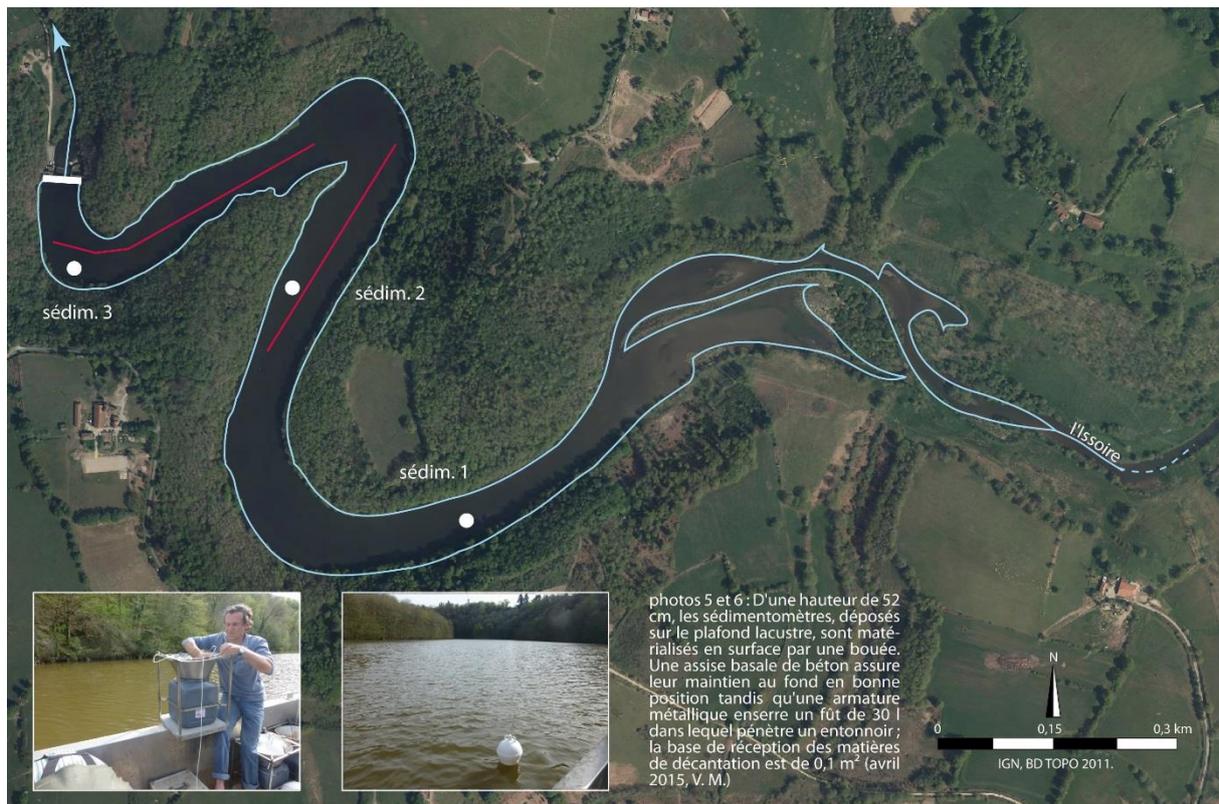


Figure 5 : Localisation et caractéristiques des sédimentomètres (V. Maleval)

### c – La morphologie et l'évolution littorale

Entre terre et lac, la nappe d'eau lacustre modèle le contour de la cuvette, depuis 44 ans, grâce à son pouvoir d'érosion au sens large. Elle transforme les anciens versants de l'Issoire en littoraux. Si les modelés résultant de cette transformation ont largement été décrit par les limnologues (Forel, 1892, Delebecque, 1898, Collet, 1925, Dussart, 1966, *in* Maleval, 2002), ce sont les microfalaises, les surplombs et festons qui ont été particulièrement étudiés dans le sens où ils livrent au lac des sédiments pouvant migrer jusqu'au fond. Cette livraison est trop souvent négligée dans les bilans sédimentaires alors même que l'érosion littorale peut, parfois, participer pour près d'un tiers au comblement d'une cuvette (Maleval, 2002). De ce fait, pour affiner le bilan sédimentaire du lac de Saint-Germain, cette étude porte des précisions sur la vitesse de recul des marges ainsi que sur leur participation au volume de

sédimentation de la cuvette puisque par érosion des berges, le lac lui-même est producteur de sédiments (Maleval, 2002). Pour acquérir ces données, l'étude morphologique a été menée en 2 temps : la 2<sup>ème</sup> campagne de relevés topographiques est intervenue, en raison des exigences de l'étude, en octobre-novembre 2016, soit 1 an après la 1<sup>ère</sup>. La comparaison des cotes permet alors d'évaluer les modifications morphologiques du littoral (hauteur des microfalaises, profondeur horizontale des berges sous-cavées notamment) mais aussi les rythmes d'érosion sur l'année étudiée. Ces dernières données ont été comparées aux calculs des vitesses moyennes annuelles de recul du littoral, obtenues par la division des mesures des encoches littorales (profondeur horizontale des surplombs et/ou festons) par le nombre d'années d'existence du lac, soit 44 ans (le remplissage du lac, commencé fin 1971, s'est achevé en janvier 72). L'extrapolation donne inévitablement une vitesse d'évolution *a minima* en raison des limites des mesures de terrain (Maleval, 1999) : la ligne de rivage des berges sous-cavées ou festonnées (par exemple par la présence d'un arbre) est considérée comme étant à sa position de 1972, alors qu'il est probable que les limites originelles aient disparu (exemple d'une berge originelle dont le surplomb, creusé suite à la création du lac, s'est écroulé et a été déblayé depuis longtemps -par exemple dans les années 80-). De plus, ces mesures (hauteur des microfalaises, profondeur des surplombs et/ou festons et longueur de littoral) ont permis de calculer, dans *MapInfo*, le volume de sédiments érodés depuis 1972. Pour ce calcul, les portions littorales n'ayant plus ou pas, ni surplomb, ni feston (qu'une microfalaise), ont été automatiquement placées dans la classe la plus faible de surplomb, donnant ainsi un volume *a minima*.

Tout autour du lac, sur 6,56 km de rivage, 40 profils d'une longueur maximale de 2 m ont été effectués en septembre 2015 (figure 6) ; le littoral nord a fait l'objet de 33 profils en raison de sa tendance à être modelé par l'érosion contrairement au littoral sud où la roche saine affleure. La position des profils a été choisie en fonction des changements des modèles d'érosion observables et non selon un découpage du rivage en tronçons réguliers (Maleval, 2006). Le long des profils, les mesures de hauteur des microfalaises ont été relevées à l'aide d'une règle graduée munie d'un niveau à bulle, tous les 10 cm en moyenne dans le premier mètre, c'est-à-dire à proximité du trait de côte, puis tous les 20 cm en moyenne. Lorsque le rivage était festonné et/ou sous-cavé, il a fait l'objet de mesures supplémentaires (profondeur du feston et/ou du surplomb) pour affiner les calculs de vitesse d'érosion et de volume. Pour la seconde campagne, l'emplacement des profils à remesurer était repérable sur le terrain par un pieu de bois coloré de peinture et une jalonnette en bambou qui se distingue bien dans le paysage. La principale limite de cette méthode réalisée sous l'eau, est la possibilité d'erreur dans la lecture de la mesure pouvant être liée à la présence, par exemple, de brindilles ou cailloux sous la règle graduée. Le travail de terrain a été effectué en partie par la société Métrage et Image (géomètre à Limoges). Le traitement des données a été fait avec les logiciels *Autocad*, *Illustrator* et *MapInfo*.



**Figure 6 : Localisation des profils topographiques en fonction de la lithologie littorale**

## 2-2 – ... POUR L'ETUDE QUALITATIVE DE L'EAU LACUSTRE

La compréhension globale des processus de qualité de l'eau du lac, et leur implication en termes de gestion de la masse d'eau a obligé à la prise de mesures ponctuelles et régulières dans le temps et de mesures en continu.

### 2-2-1 – Suivi de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau est sans doute le paramètre le plus connu car le plus contrôlé par le SEP compte tenu de la fonction d'AEP du lac de Saint-Germain. Cependant, la présence excessive et croissante de certains composants dans cette eau a rendu obligatoire la mise en place d'un suivi annuel de l'eau lacustre. Ainsi, pour comprendre l'origine des perturbations, des échantillons d'eau ont été prélevés trimestriellement la première année (les 15 avril, 11 juin, 27 juillet, 16 septembre, 10 décembre 2015 et 17 mars 2016), puis chaque mois au cours de l'été 2016 (les 26 juillet, 24 août et 19 septembre). Ils ont été prélevés à l'emplacement des sédimentomètres, à 50 cm sous la surface pour le point amont, à 50 cm sous la surface et 50 cm au-dessus du fond pour les points médian et aval. De plus, certains paramètres de qualité de l'eau ont été mesurés, en 13 points lacustres, en surface et en profondeur (absence de mesures en profondeur à l'emplacement du sédimentomètre amont en raison de la faible hauteur de la colonne d'eau), grâce à une sonde multiparamètres YSI 6600 V2 (figure 7). Les mesures ont porté sur les paramètres mesurés dans l'Issoire et ses affluents et ont donc

concerné la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous et la phycocyanine (pigment spécifique aux cyanobactéries). En laboratoire, les analyses ont concerné les formes de l'azote, du phosphore, du fer et manganèse, du carbone organique dissous et total, des MES, de la chlorophylle A et du phytoplancton (seulement en surface pour les 3 derniers paramètres). Les résultats, interpolés sous SPW et présentés sous forme de profils, rendent compte de la distribution longitudinale et verticale des principaux marqueurs du fonctionnement du lac.

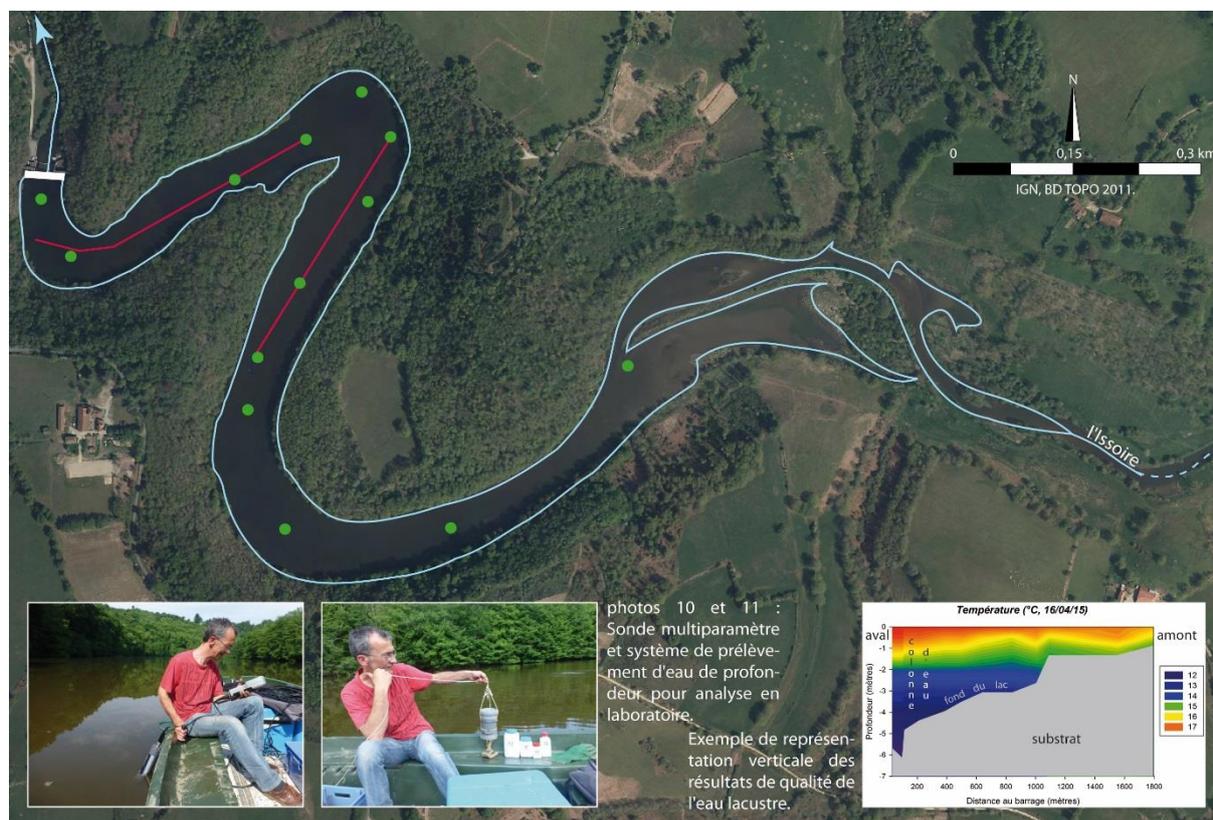


Figure 7 : Localisation des profils verticaux (V. Maleval)

Pour comprendre les dysfonctionnements de la retenue de Saint-Germain, ce protocole qualitatif d'étude de l'eau a été couplé à une étude thermique, tant les caractéristiques physique, biologique et chimique de la retenue, sont dépendantes de la température.

### 2-2-2 – Suivi thermodynamique de la retenue

Comme la distribution géographique des températures (et de la lumière) à l'intérieur d'un lac conditionne la répartition spatiale de nombreuses autres caractéristiques lacustres, comme la disponibilité en oxygène des eaux de profondeur ou encore l'étagement et la zonation biogéographique (Touchart, 2002), l'étude thermodynamique de Saint-Germain est apparue inévitable. L'objectif de ce suivi est la connaissance du comportement thermique du lac sur une année, en sachant que celui-ci n'est plus conditionné par le contexte géographique (climatique et hydrologique essentiellement) du lac. En effet, depuis 1996, le lac de Saint Germain est équipé, dans sa partie aval, d'un aérateur à injection d'air destiné à casser la stratification thermique de la colonne d'eau et à oxygéner les eaux profondes pour lutter contre le développement excessif des micro-algues, néfastes à la potabilité de l'eau. Pour

l'étude, entre mai 2015 et mars 2016, 10 sondes thermiques enregistreuses ont été installées en continu dans le lac, par le biais de deux chaînes de bouée comportant chacune 5 sondes. Pour comparer les effets du déstratificateur, la chaîne amont a été localisée en dehors de son influence, la seconde, à proximité du bulleur aval (figure 8). Pour obtenir la répartition verticale des températures, les sondes ont été disposées le long de la chaîne de bouée, en fonction de la profondeur : une à 50 cm sous la surface, une au fond et 3 intermédiaires à 1 m, 2 m et 3 m. Puis, pour connaître le rôle thermique de la nappe d'eau lacustre, une sonde a été localisée au pont Binot, en amont du lac dans l'Issoire, une autre, juste en aval (cf. localisation des sondes sur la figure 2) ; cette dernière, malgré toutes les précautions prises dans le choix du site, a disparu, ne laissant aucune possibilité de récupération des données : « l'implantation d'une station fluviale est délicate, du fait du risque important de perte « naturelle », et de dégradation volontaire ou involontaire » (Savy, 2006, p. 98). Pour appréhender correctement les cycles thermiques, les sondes ont été paramétrées pour enregistrer la température de l'eau toutes les heures (Webb & Walling, 1997), comptabilisant 7 871 données par sonde. Au total, les 11 sondes en état de fonctionnement ont recueilli, sur 327 jours, 86 297 données thermiques horaires à analyser. Le paramétrage des sondes et le déchargement des données ont été effectués avec le logiciel *OTLM Gemini Data Logger*.

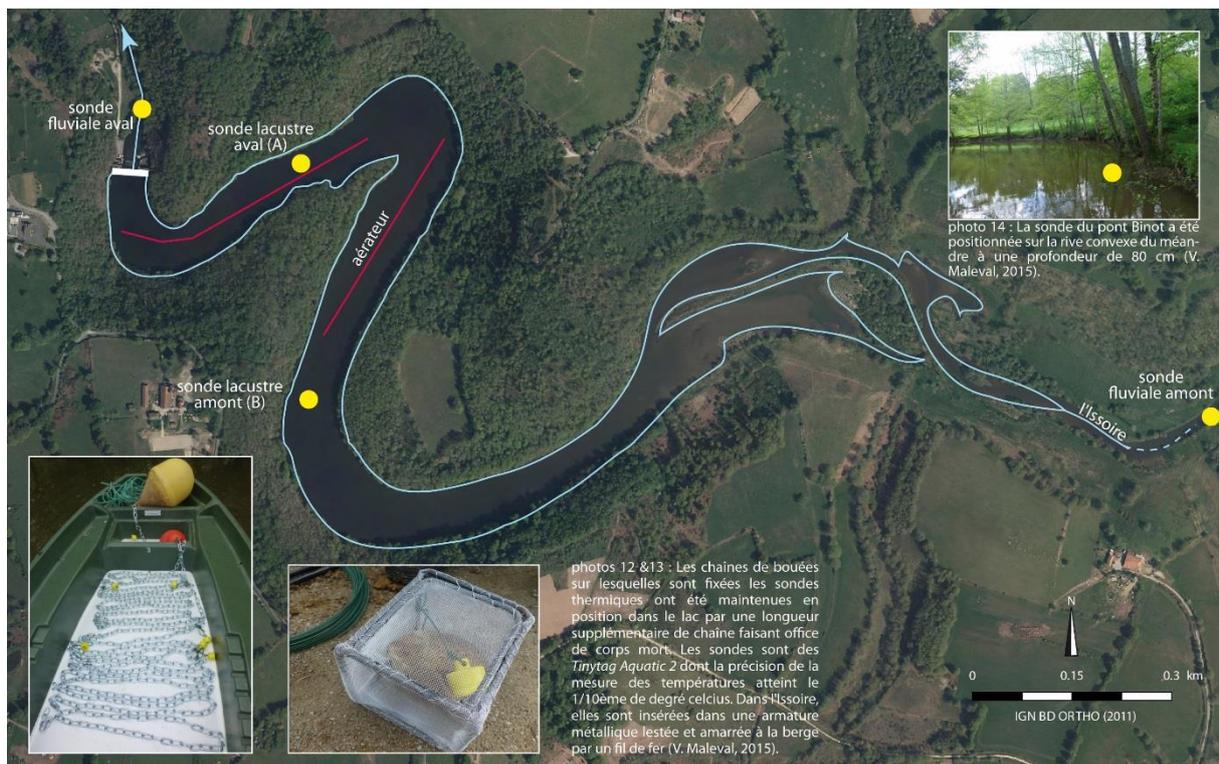
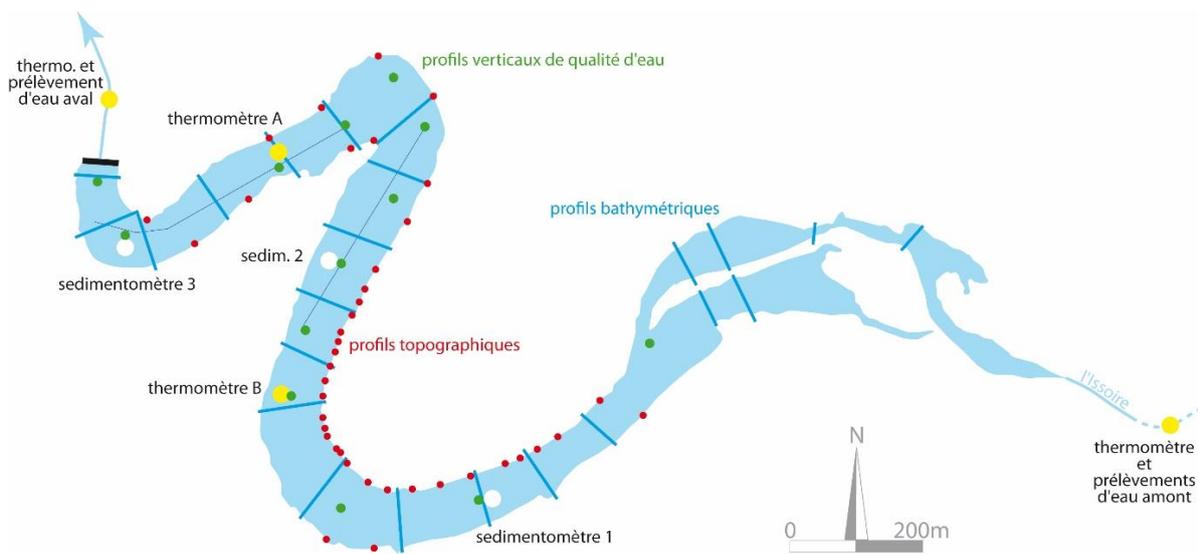


Figure 8 : Localisation et caractéristiques des sondes thermiques enregistreuses (V. Maleval)

A partir des résultats de cette étude, la situation qualitative de l'eau du lac de Saint-Germain sera comparée avec celle de lacs ayant les mêmes particularités environnementales, des lacs bretons notamment. Ce sera l'occasion de mettre à jour le rôle du déstratificateur.

Pour avoir une vision synoptique du protocole d'étude du lac de Saint-Germain de Confolens, la carte 9 rassemble et localise les relevés et l'instrumentation du lac :



**Figure 9 : Synthèse du protocole de mesures (V. Maleval)**

### 2-3 – ... POUR L'ETUDE DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU LAC

Apparemment trop riche en nutriments, il apparaissait fort possible que le lac de Saint-Germain-de-Confolens ne récupère les rejets anthropiques de l'amont. En effet, le bassin d'alimentation étant un système géographique global c'est-à-dire physique et humain (Touchart, 1993) connecté au lac, il était important, pour expliquer, en partie, l'origine des perturbations du lac, d'étudier le BV par le biais de l'occupation actuelle du sol ainsi que son évolution depuis la création du lac. Ainsi, l'occupation du sol a été photo-interprétée sur les 284 km<sup>2</sup> du bassin d'alimentation, à deux dates différentes : 1972, juste à la création du lac, et 2011. Les documents utilisés ont été les bases cadastrale (BD parcellaire de l'IGN,) topographique (IGN scan 25) et agricole (BD PAC 2012, Inventaire Forestier National) ainsi que les images aériennes (photographie de 1972 et orthophotographie de 2011). La photo-interprétation, effectuée à l'échelle de la parcelle dans les logiciels *QGIS* et *MapInfo*, a permis de constituer la base de données initiale après identification des différents milieux. En raison de l'importante dimension du BV, la discrétisation de l'occupation du sol a été simplifiée en six classes : les espaces boisés et les friches forestières, les prairies (permanentes ou temporaires, les estives et les fourrages), les cultures (céréales, oléagineux, protéagineux), les friches agricoles et les broussailles, les vignes, les plans d'eau ainsi que les secteurs bâtis ou artificialisés. Les résultats ont été cartographiés : 2 cartes descriptives de l'OS et 1 carte analytique de l'évolution de l'OS.

De plus, pour mieux comprendre l'érosion du BV et les apports solides au lac, cette étude a été affinée par la cartographie évolutive du linéaire de haies, celles-ci ayant un rôle d'interception du ruissellement et des sédiments. Pour cela, le linéaire des haies arborées et

buissonnantes nettement identifiées sur les différentes missions aériennes, a été digitalisé, pour les 2 années, à l'échelle 1/10 000<sup>ème</sup>. Il n'a pas été tenu compte des haies basses, des haies de jardins ou des haies de bord de route (murets, ronciers...) dont l'identification est plus aléatoire, notamment sur les photographies de 1972. La comparaison des deux digitalisations a mis en évidence l'évolution du linéaire à savoir, les haies disparues, l'aménagement de nouvelles et celles intégrées aux espaces en friche ou aux espaces boisés. Ces résultats ont été cartographiés. Ensuite, il a été calculé à partir du MNT du bassin versant, grâce au logiciel *QGIS*, la pente et le sens d'écoulement en amont de chaque haie disparue et créée (maille de 25 m) afin de déterminer leur importance dans le processus d'érosion : fonction de rétention des particules du sol ou pas.

L'ensemble de ce protocole a mené aux résultats ci-après.

### **3 – RESULTATS**

#### **3-1 – LA SEDIMENTOLOGIE DU LAC DE SAINT-GERMAIN DE CONFOLENS**

##### **3-1-1 – La bathymétrie du lac de Saint-Germain de Confolens**

###### **a – La cartographie des fonds**

Les données bathymétriques de terrain ont permis de représenter les épaisseurs de l'envasement du plafond lacustre (figure 10). Globalement, dans le sens longitudinal, les épaisseurs de sédiments pouvant faire jusqu'à 3,45 m décroissent vers l'aval du lac. L'amont est donc la zone où les épaisseurs sont les plus importantes et la partie émergée du delta de l'Issoire, devenue une île arborée, en témoigne ; les images aériennes permettent de savoir que le delta a commencé à émerger au début des années 90 et n'a cessé depuis, d'augmenter sa superficie (3,55 ha en 2014), « résultat de l'obédience dans laquelle le bassin d'alimentation tient chaque lac » (Touchart, 2000, p. 149). Dans le sens transversal, les épaisseurs croissent du bord vers le fond du lac car les dépôts ne peuvent s'effectuer sur les pentes sous-lacustres trop inclinées : ils sont rares sur des pentes de 4-5 % (Håkanson, 1984). De ce processus de sédimentation, ressortent 2 phénomènes : l'ensemble de la périphérie lacustre est ceinturé par la plage de couleur claire représentant la classe d'épaisseur la plus faible (jusqu'à 50 cm), et, le lac ayant la forme de la vallée qu'il a ennoyée, les zones de dépôts les plus importants et de plus grandes profondeurs ne se trouvent pas forcément dans l'axe central du lac mais à proximité de la rive sud dans les méandres de Cul-de-Sac et de Bellevue, et de la rive nord du méandre des Barrières. Ce tracé suit naturellement le lit mineur originel de l'Issoire, zone de sédimentation préférentielle puisqu'en premier lieu, les dépôts comblent les modelés en creux (Maleval, Jigorel, 2002).



Figure 10 : MNT de l'envasement de la cuvette lacustre de Saint-Germain de Confolens

A l'issue de cette étude, le volume total de sédiments accumulés depuis 1972 (44 ans) a été calculé à 297 642 m<sup>3</sup>, représentant 40,2 % de la capacité totale de la retenue. Les bathymétries antérieures avaient estimé l'envasement à 190 000 m<sup>3</sup> en 1994, soit 25,6 % de la capacité, et à 345 900 m<sup>3</sup> en 2001, soit 46,7 % de la capacité (Le Saout, 2001). Il est illogique d'avoir un envasement en 2001 supérieur à celui d'aujourd'hui et correspondant à une perte de moitié de capacité de la retenue en l'espace de seulement 29 ans. Cela peut être expliqué par deux hypothèses : d'une part, les incertitudes de mesures et une possible surestimation du volume de sédiments en 2001, d'autre part, une éventuelle sous-estimation en 2015. Les difficultés méthodologiques étant ce qu'elles sont, c'est la prochaine bathymétrie, d'ici quelques années, qui permettra de donner la bonne estimation.

### **b – La distribution des sédiments**

Classiquement, la répartition des sédiments à l'intérieur de la cuvette, qui se fait en fonction de la granulométrie, révèle 3 secteurs (figure 11) :

- En queue de retenue, à l'embouchure de l'Issoire dans le lac où la colonne d'eau est peu profonde (jusqu'à 60 cm), se trouvent les sédiments les plus grossiers, principalement des sables, provenant de l'érosion du bassin versant ; ils sont portés et déposés par la rivière lorsqu'elle pénètre dans la nappe d'eau lacustre et, progressivement, ils modèlent le delta. Ce modèle caractérisé à Saint-Germain par une longue digitation émergée avançant rapidement, résulte « d'un apport massif de sédiments et d'une agitation lacustre assez faible » (Touchart, 2000, p. 151). Cette zone amont comblée à 83 % du volume théorique et où l'épaisseur de sédiments est comprise entre 95 cm et 1,60 m, montre bien la dominance des processus continentaux à savoir, « l'influence tyrannique des bassins-versants sur les organismes lacustres, le caractère éphémère de la plupart des lacs et leur destin de comblement » (Touchart, 2000, p. 151-152).

- Dans le secteur médian, l'épaisseur des dépôts est comprise entre 75 cm et 1,55 m mais atteint 2,55 à 3,10 mètres dans l'ancien lit fluvial. Les sédiments, à la granulométrie plus fine (de type sables fins, argiles et limons), sont de nature différente : détritiques, s'ils proviennent du BV (et de l'érosion littorale), et biogène, s'ils sont issus de la vie biologique lacustre (exemple de la biomasse planctonique produite dans le lac pendant l'été puis qui décante, à sa mort, à partir de l'automne). Le taux de comblement du secteur central atteint 43 % du volume théorique.

- En tête de retenue, du méandre de Bellevue au barrage, là où la colonne d'eau est la plus profonde (de 3,10 m à 4,55 m), l'épaisseur de sédiments est la plus faible (de 60 à 90 cm) ; d'où un taux de comblement équivalent à 17 % du volume théorique. Les sédiments de type vase, détritiques et biogènes, y sont les plus fins.

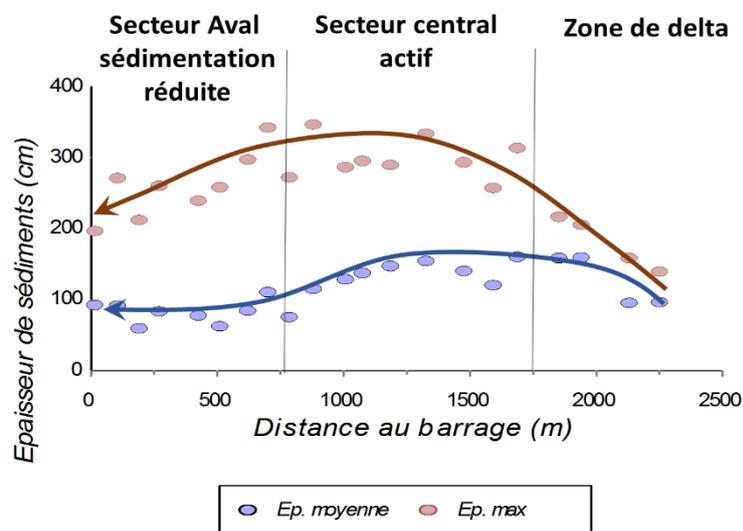


Figure 11 : Evolution longitudinale des épaisseurs moyennes et maximales de sédiments (bathymétrie 2015)

### c – Le volume total d'eau

Les données bathymétriques ont permis d'établir le modèle numérique de terrain de la profondeur du lac de Saint-Germain de Confolens (figure 12). Ce lac étant artificiel, il est logique que les profondeurs croissent de l'amont vers l'aval, et que la plus grande profondeur, 7,37 m, jouxte la digue.

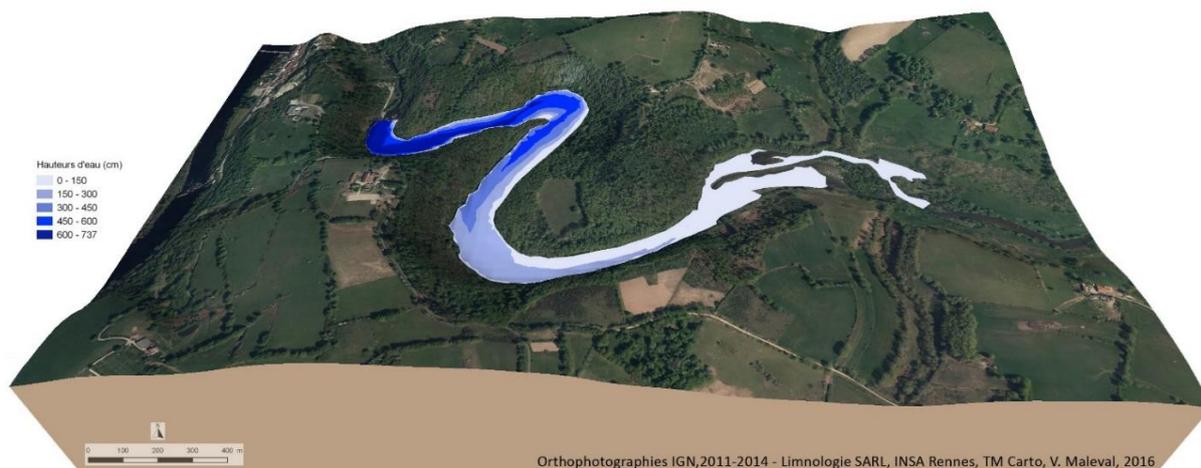
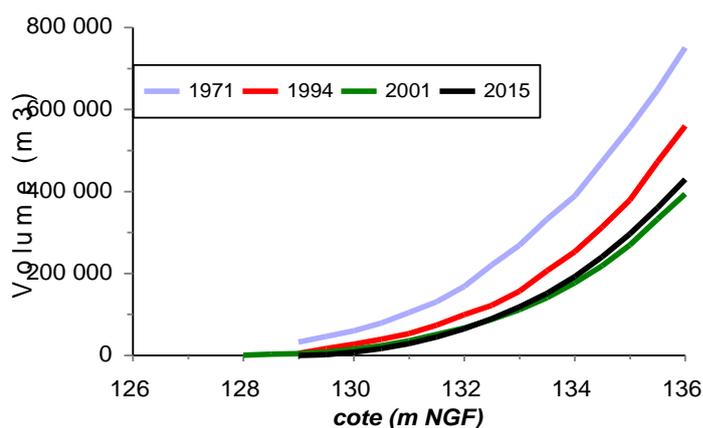


Figure 12 : MNT de la hauteur de la colonne d'eau du lac de Saint-Germain de Confolens

D'un volume initial de 740 000 m<sup>3</sup> d'eau, la figure 13 permet de se rendre compte, au fil des années, de la perte de capacité totale de la retenue de Saint-Germain. Aujourd'hui, son volume d'eau étant de 442 358 m<sup>3</sup>, le lac a perdu, en l'espace de 40 ans, 297 642 m<sup>3</sup> suite à son comblement par les sédiments, soit 40,2 % du volume initial du lac.



Le volume d'eau de 2001 est inférieur à celui de 2015 (394 100 m<sup>3</sup> et 442 358 m<sup>3</sup>) pour les mêmes raisons notées dans le paragraphe consacré à la cartographie des fonds.

Figure 13 : Courbe de remplissage du lac de Saint-Germain depuis sa création

Ainsi, les nouvelles caractéristiques morphométriques du lac de Saint-Germain de Confolens apparaissent dans le tableau 4 ci-dessous :

<b>Caractéristiques morphométriques</b>	<b>Nouvelles</b>	<b>Anciennes</b>
Superficie actuelle à la cote 136 NGF (hors delta, ha)	17,15	20,70
Périmètre littoral (km)	6,56	5,07
Profondeur maximale actuelle (m)	7,37	8
Profondeur moyenne actuelle (m)	2,58	3,57
Volume actuel en eau (m <sup>3</sup> )	442 358	740 000
Capacité utile (m <sup>3</sup> )	365 000	627 000

Tableau 4 : Comparaison des caractéristiques du lac de Saint-Germain de Confolens

### 3-1-2 – Le suivi en continu de l’année étudiée (2015 – 2016)

#### a – Les taux de sédimentation

Les taux maximums de sédimentation (figure 14) ont été mesurés en amont du lac (sédimentomètre 1) lors des hautes eaux (printemps 2015 et hiver 2016) et ont atteint jusqu’à 38 kg/m<sup>2</sup> de sédiments secs (entre 24 et 38 kg sur l’année), soit une épaisseur maximale correspondant à 7 cm de sédiments frais (entre 4 à 7 cm). L’été et l’automne, plus secs, ont été marqués par une sédimentation plus importante dans les secteurs médian et aval (sédimentomètres 2 et 3), avec respectivement 32 et 21 kg/m<sup>2</sup> de sédiments secs, soit 4 à 6 cm de sédiments frais. Le cumul des relevés trimestriels permet ainsi d’évaluer la sédimentation dans le lac de Saint-Germain à 75 kg/m<sup>2</sup> en amont, 62 kg/m<sup>2</sup> dans le secteur central, et 41 kg/m<sup>2</sup> en aval. Ces taux correspondent respectivement à des volumes de 1 386, 1 180 et 745 m<sup>3</sup>/ha, pour un total de **17 960 m<sup>3</sup>/an**.

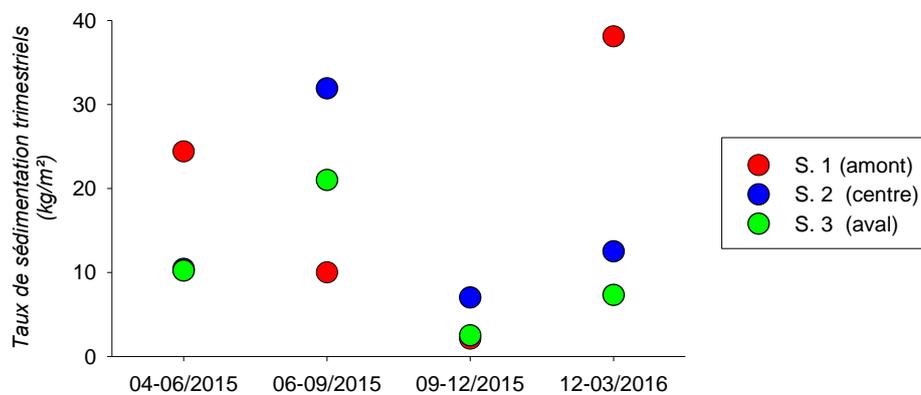


Figure 14 : L’évolution saisonnière des taux de sédimentation des 3 stations lacustres (2015 – 2016)

#### b – La texture des sédiments piégés

Globalement, les analyses des sédiments contenus dans les fûts des pièges montrent une granulométrie remarquablement homogène aussi bien en amont qu’en aval, que d’une saison à l’autre. En effet, les sédiments collectés sont majoritairement des limons fins (grains moyens compris entre 7 et 14 µm -figure 15-).

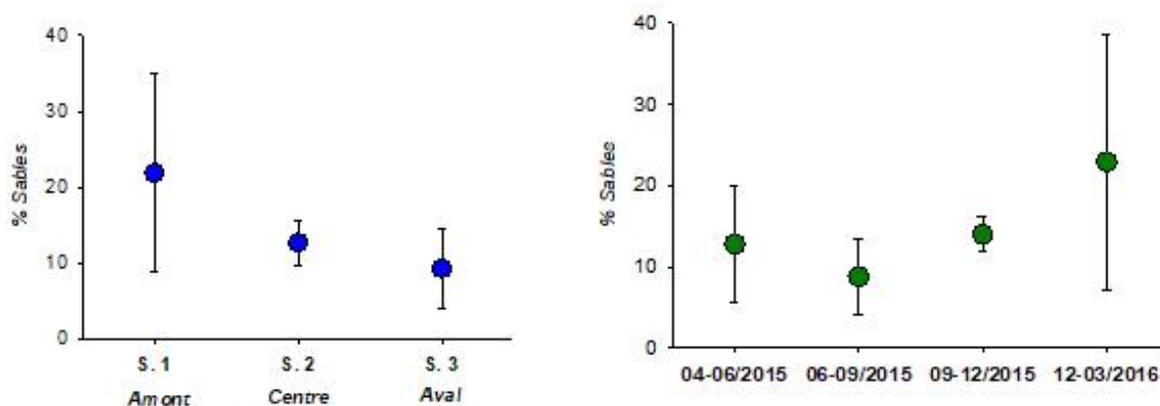


Figure 15 : L’évolution longitudinale et saisonnière des sables contenus dans les fûts

Dans le détail, cette figure permet d'observer un gradient longitudinal dans la mesure où la fraction minoritaire des sables passe de 22 % en amont à 9 % en aval. Ces éléments grossiers ont été déposés en quantité plus importante au cours de l'hiver (de 12 à 40 % soit 26 % de moyenne), et en quantité moins importante lors de l'été (de 4 à 14 % soit une moyenne de 9 %). Lors de cette saison, ce sont les courants de turbidité qui apportent au plafond central et aval du lac les sédiments fluviatiles plus grossiers, dérangeant ainsi « la sédimentation calme et fine » (Touchart, 2000, p. 154). La présence de cette fraction sableuse, même minoritaire, illustre la dynamique saisonnière.

Ainsi, les taux de sédimentation et la texture des sédiments montrent la superposition d'un gradient longitudinal et d'une dynamique saisonnière marquée, illustrés par les deux phases de fonctionnement d'un lac eutrophe :

- le transport de matières grossières (sables, feuille, débris végétaux) lors des hautes eaux qui se déposent préférentiellement dans la zone amont du lac et contribue à l'aggradation du delta.

- Lors des périodes de basses eaux, la sédimentation, majoritairement issue de la production interne du lac, est constituée d'éléments fins organiques (plancton). Toutefois, au cours d'épisodes orageux, il peut se produire des redistributions de sédiments détritiques.

Ce gradient sédimentaire longitudinal décroissant rencontré au lac de Saint-Germain de Confolens est un processus classique d'évolution des lacs constaté par différents auteurs (Bloesh *et al.*, 1986, Peiry, 1988, Koren *et al.*, 2000, Banas, 2001, Maleval, 2002).

### **c – La composition des sédiments piégés et les variations saisonnières**

Globalement, les résultats des analyses de l'azote, du phosphore et du carbone organique totaux (figure 16) montrent que les différences relevées entre l'amont et l'aval sont très peu significatives et peuvent être expliquées par le temps de séjour faible des eaux lacustres. En effet, celui-ci, de 16 jours, en réduisant les possibilités de tri des sédiments, restreint la gradation de leurs propriétés chimiques. Cependant, les caractéristiques communes à la plupart des lacs eutrophes ont été relevées : d'une part, les teneurs en matières organiques sont toujours maximales dans la station amont qui collecte les débris végétaux du bassin versant lors des périodes de hautes eaux, et héberge le maximum de microflore en basses eaux. D'autre part, il existe une tendance à l'augmentation des teneurs en azote et phosphore vers l'aval. Cette augmentation correspond aux dépôts renfermant une plus forte fraction d'éléments fins détritiques (argiles et limons) ou organiques (cellules planctoniques) dont la structure contient des teneurs élevées en nutriments échangeables.

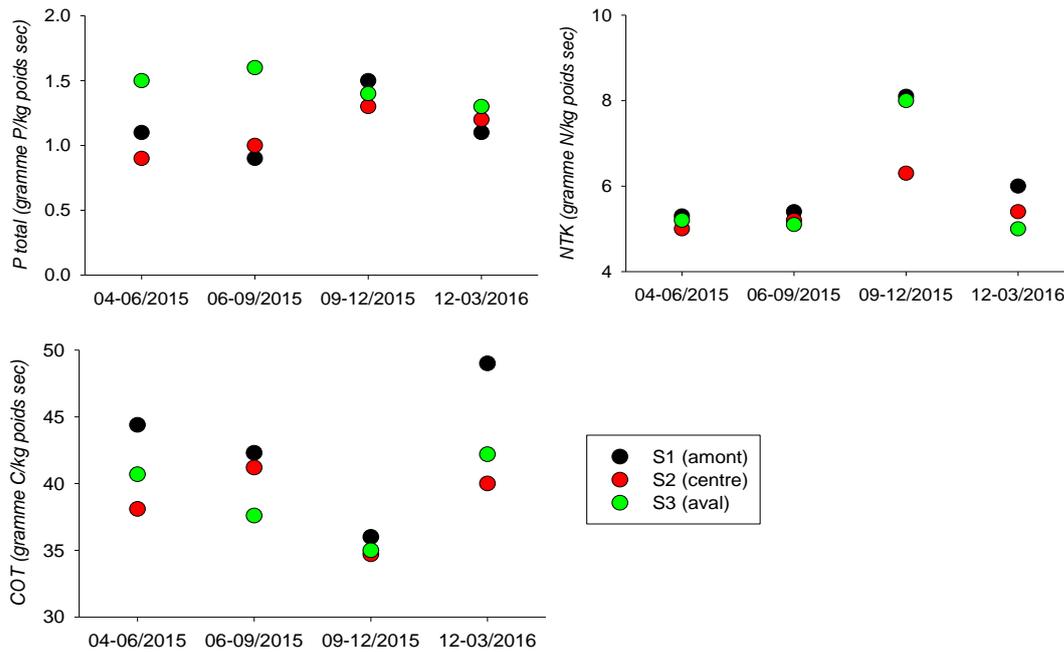


Figure 16 : Evolution saisonnière des teneurs en COT, Ptotal et NTK des sédiments piégés

### 3-1-3 – Les processus littoraux

Dans un lac encaissé et de petite superficie comme celui de Saint-Germain de Confolens, « la surface de l'eau est souvent parfaitement étale » (Touchart, 2002, p. 195) et cela a fréquemment été observé lors des multiples sorties de terrain au cours de l'étude. Cependant, il n'en demeure pas moins vrai que depuis 1972, la nappe d'eau animée de multiples mouvements modèle les anciens versants de l'Issoire en littoral lacustre. Ce modelage, principalement réalisé par les vagues générées par le vent et matérialisé par les formes d'érosion littorale classiques (microfalaise, surplomb et beine d'érosion), participe au comblement du lac.

#### a – Les modelés et vitesses d'érosion

En règle générale, les mesures des campagnes de terrain ont permis de constater que les littoraux ne subissent pas une importante érosion car la plus haute microfalaise fait 52 cm (profil 8) et la saillie la plus marquée atteint 1,80 m (profil 29). La plupart des microfalaises se placent dans la catégorie comprise entre 10 et 25 cm de haut et représente plus de la moitié du linéaire littoral (58,36 %) tandis que 70 % ont un petit surplomb ou feston allant de 20 à 70 cm (tableau 5).

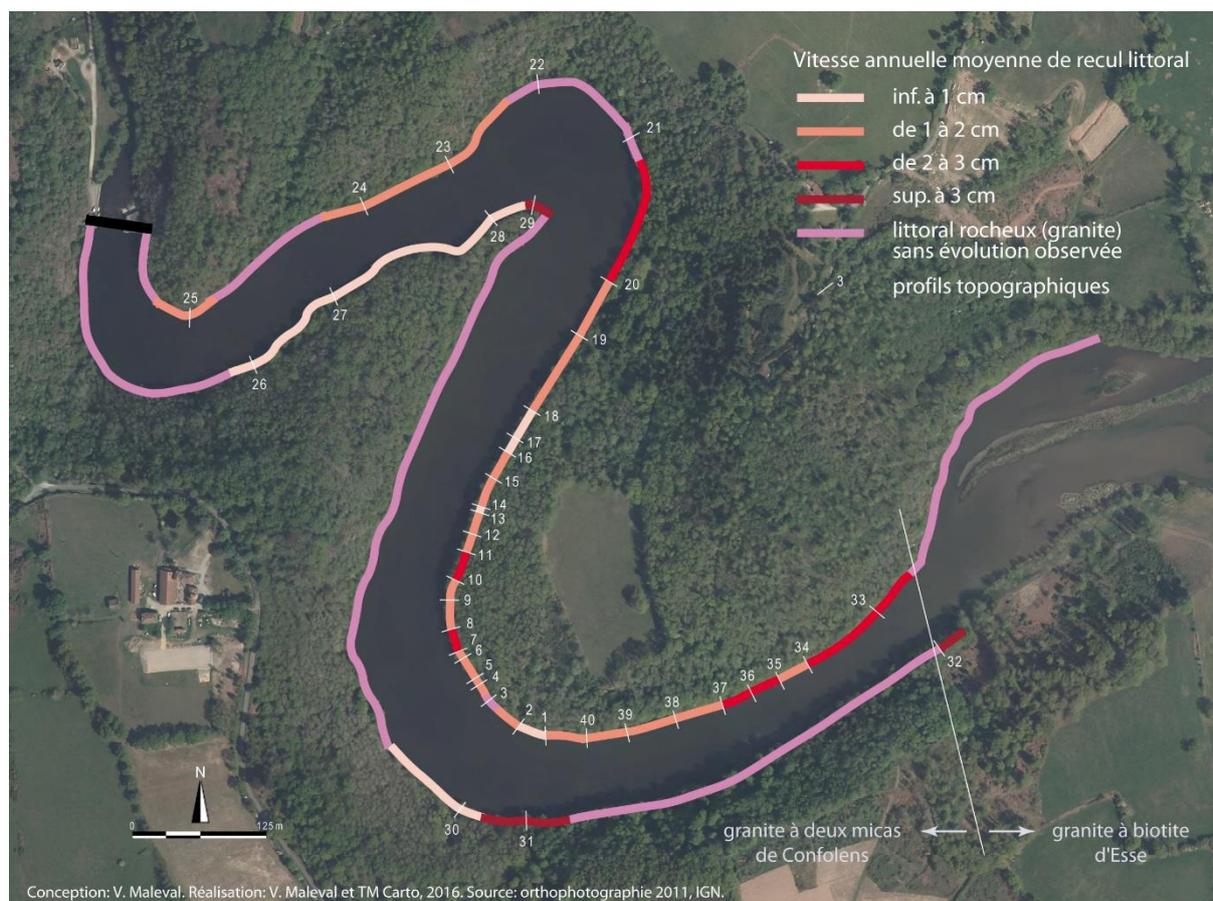
Hauteur du talus	Nombre de profils (sur 40)	%	Longueur de littoral affecté (en m)	%*
10 à 25 cm	24	60,0	1192,59	58,36
25 à 40 cm	13	32,5	565,30	27,66
Sup. à 40 cm	3	7,5	285,47	13,97

Profondeur des encoches	Nombre de profils (sur 37)	%		%
20 à 70 cm	27	67,57	1461,62	70,74
70 à 120 cm	9	24,32	483,41	23,56
120 à 170 cm	2	5,40	97,03	4,73
Sup. à 170 cm	1	2,70	19,89	0,97

\* Le littoral lacustre est égal à 6,56 km mais les pourcentages ne se basent que sur le cumul des longueurs affectées à chaque profil soit 2,04 km (hors delta, barrage et littoral rocheux).

**Tableau 5 : Les valeurs relatives aux microfalaises**

De manière globale, la figure 17 matérialisant l'évolution du littoral de Saint-Germain de Confolens fait apparaître que la vitesse moyenne de recul est seulement de quelques centimètres par an, le minimum étant de 0,45 cm et le maximum de 4,09 cm (profil 29). La classe la plus courante est celle dont la vitesse d'érosion annuelle est comprise entre 1 et 2 cm et concerne 45,21 % du linéaire littoral (tableau 6). Si ces moyennes annuelles donnent un ordre de grandeur, il convient toutefois de signaler que l'érosion est plus active dans les 10 premières années de vie d'un lac (Maleval, 2006). Le recul, par modelage des anciens versants qui s'opère depuis plus de 40 ans, se poursuivra jusqu'à ce que le littoral de Saint-Germain atteigne un certain équilibre ; cet équilibre peut n'être atteint qu'après de longues années (Dussart, 1974, *in* Bénédicti-Crouzet *et al.*, 1979).



**Figure 17 : Estimation de la vitesse moyenne d'évolution du littoral de Saint-Germain**

Vitesse de recul annuelle	Nombre de profils (sur 37)	%	Longueur de littoral affecté (en m)	%*
Inf. à 1 cm	8	21,62	548,79	29,47
1 à 2 cm	20	54,05	841,99	45,21
2 à 3 cm	6	16,21	354,54	19,04
Sup. à 3 cm	3	8,11	116,92	6,28
Autres				%**
Littoral rocheux			1650,60	25,16
Barrage			49,94	0,76
Littoral deltaïque			2994,50	45,64
* Pourcentages effectués sur le cumul des longueurs affectées à chaque profil				
** Pourcentages effectués sur l'ensemble du littoral (6,56 km)				

Tableau 6 : Les valeurs relatives à l'évolution littorale

Dans le détail, quelques sites se révèlent intéressants sur les plans dynamique et géomorphologique :

- Le transect littoral du profil 10 évolue à un rythme annuel moyen compris entre 2 et 3 cm (2,16 cm/an précisément). Ce recul moyen correspond au recul annuel observé entre les automnes 2015 et 2016, car si le front de la microfaisse semble ne pas avoir été érodé, le surplomb, lui, a été approfondi de 3 cm (figure 18).

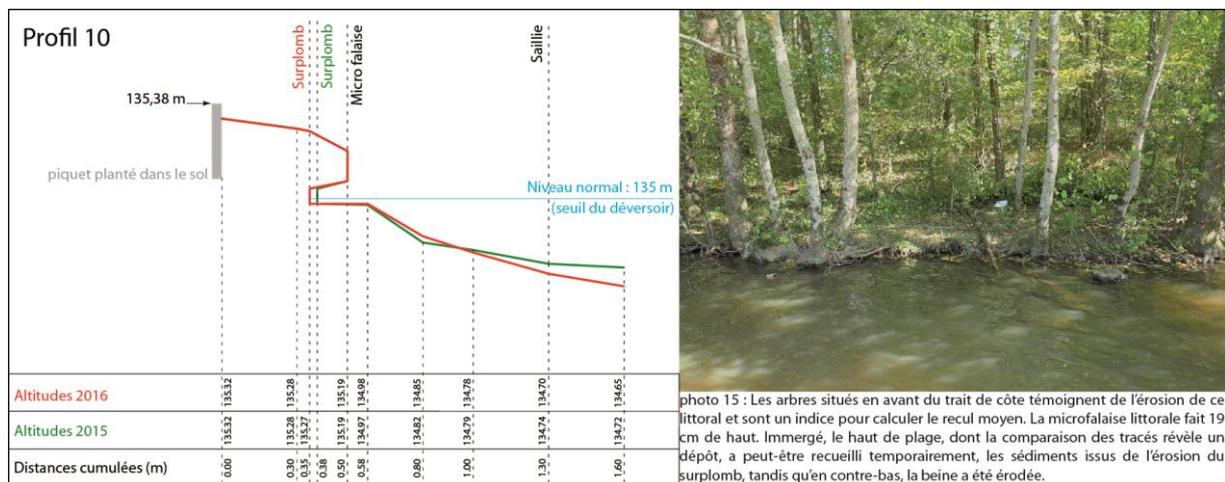


Figure 18 : Détail de l'évolution du littoral du profil 10 entre 2015 et 2016

- Le littoral du profil 16 est classé dans la vitesse d'évolution la plus faible (inf. à 1 cm) avec un recul moyen annuel de 0,77 cm par an. En revanche, sur l'année d'observation, l'érosion de l'encoche sous berge atteint 4 cm et la berge en surplomb s'est légèrement affaissée (figure

19). Cette différence témoigne de la difficile représentativité des moyennes annuelles qui ne rendent pas compte des rythmes ; le recul n'est pas uniforme dans le temps (Maleval, 2006).

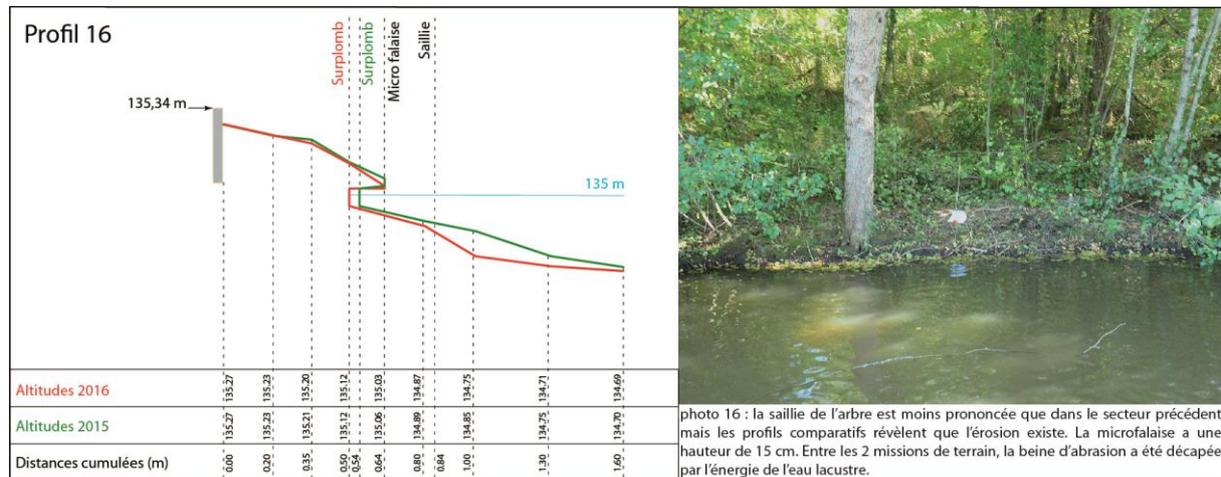


Figure 19 : Détail de l'évolution du littoral du profil 16 entre 2015 et 2016

- Le transect lié au profil 20 connaît une érosion moyenne de 2,04 cm par an et, entre 2015 et 2016, l'encoche sous berge s'est approfondie de 10 cm (figure 20). La photographie 17 montre un littoral assez longiligne avec, ponctuellement, de petites zones de faiblesse et de résistance ; en l'absence de l'importante saillie de l'arbre (70 cm), les campagnes de mesures n'auraient pu permettre d'évaluer l'érosion de ce rivage dans la classe comprise entre 2 et 3 cm par an (mais dans celle inférieure à 1 cm). Cette caractéristique montre bien que les résultats d'évolution sont approchés tant les limites originelles du littoral peuvent ne plus être observables (comme expliqué dans la méthodologie).

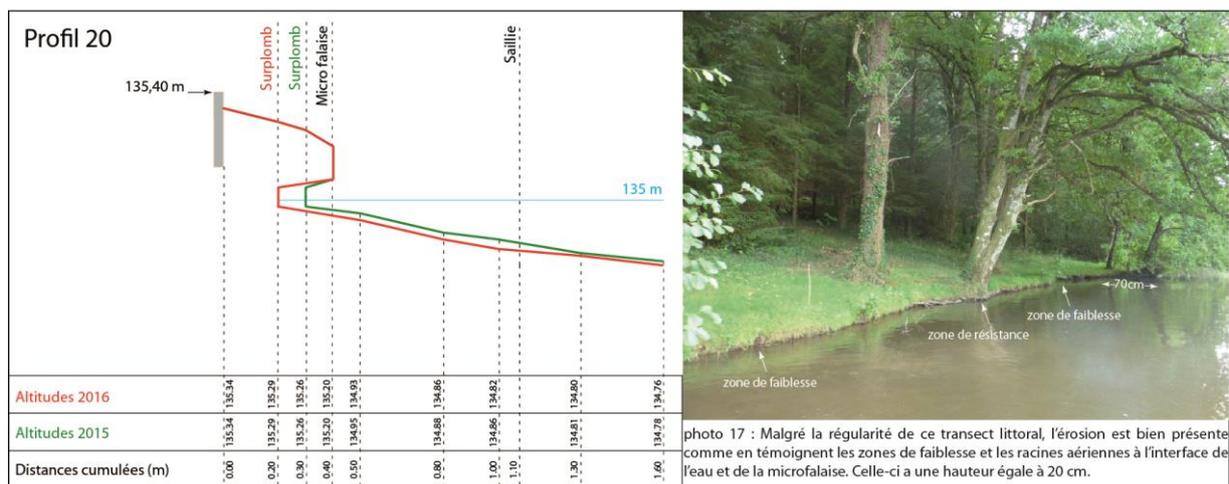


Figure 20 : Détail de l'évolution du littoral du profil 20 entre 2015 et 2016

- Le rivage du profil 29 est le transect du lac à la plus forte érosion. Celle-ci est évaluée en moyenne à 4,09 cm par an. L'évolution sur l'année d'étude signale un recul de 2 cm de la microfalaïse et de 7 cm pour le surplomb (figure 21).

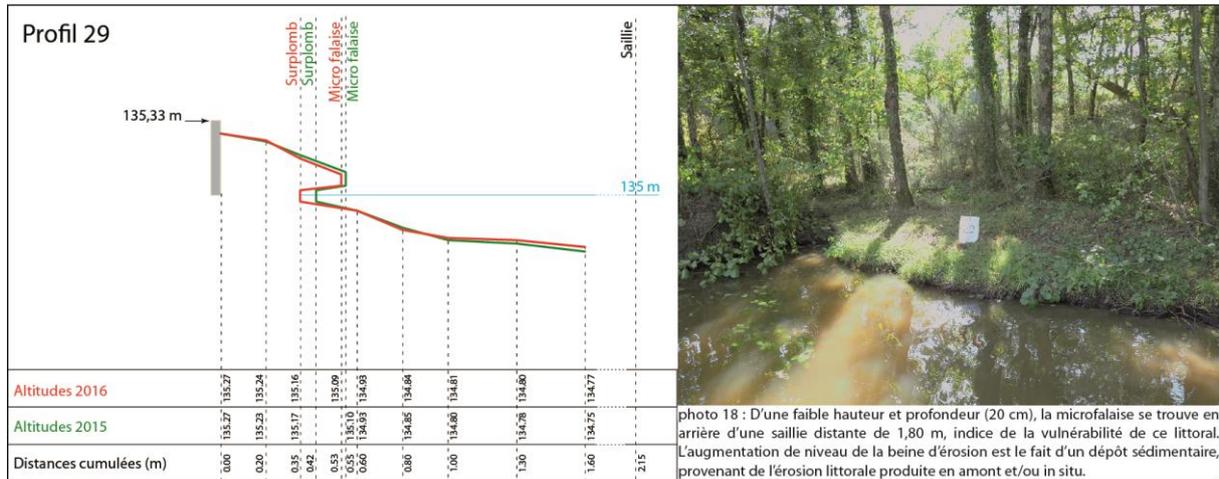


Figure 21 : Détail de l'évolution du littoral du profil 29 entre 2015 et 2016

- Le site du profil 32, à proximité de la zone deltaïque, évolue également rapidement avec l'érosion, calculée à 3,18 cm par an en moyenne ; sur l'année étudiée, le surplomb a reculé de 5 cm (figure 22). La caractéristique morphologique de ce littoral est la différence de cotes au sommet de la microfalaïse, entre 2015 et 2016 : ce gain est probablement le fait de dépôt de matériel sédimentaire suite à l'importante crue du printemps 2016.

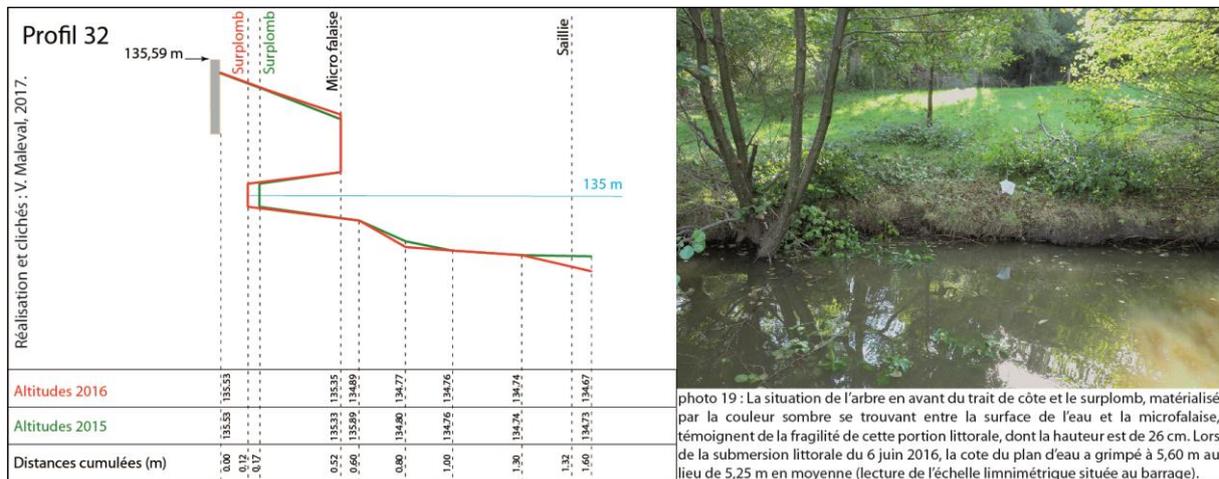


Figure 22 : Détail de l'évolution du littoral du profil 32 entre 2015 et 2016

Ces cinq exemples permettent d'illustrer les formes littorales et de rendre compte des rythmes annuels d'évolution. Les résultats globaux entre les automnes 2015-2016 montrent que 67,5 % des sites observés (25 sur 37) ont enregistré un recul de leur microfalaïse et/ou de leur surplomb. Les 3 sites restants (40 au total), pour lesquels la roche affleure, n'ont pas évolué.

Le processus d'érosion semble majoritaire dans le lac de Saint-Germain car, contrairement à l'évolution de tout littoral lacustre (ou océanique), aucun modelé littoral d'aggradation n'a été ni observé ni cartographié sur la figure 17 suite aux relevés de terrain (hormis le delta de l'Issoire tout en amont). Il apparaît ainsi vraisemblable que la quasi-totalité des sédiments érodés du littoral lacustre se dépose sur les pentes sous-lacustres jusqu'au fond de la cuvette, tandis que les plus fins peuvent être emportés en aval du lac.

#### **b – Le volume de sédiments érodés**

Les littoraux érodés ont participé et participent à l'envasement du lac de Saint-Germain de Confolens, suite à la prise en charge par l'eau lacustre, la redistribution dans la masse d'eau et la décantation dans les secteurs calmes, des sédiments littoraux. Mais, compte tenu de la faible érosion qui opère sur les rivages lacustres de Saint-Germain, le calcul du volume érodé depuis l'année de création du lac est plutôt faible. En effet, depuis 1972, seulement 369,62 m<sup>3</sup> de sédiments ont été retirés du littoral, soit une moyenne annuelle de 8,4 m<sup>3</sup>. Là encore il ne s'agit que d'une moyenne car les apports, même négligeables comme celui-ci, sont plus importants lors des 10 premières années qui suivent la création du lac. Il s'agit d'un phénomène classique rencontré dans la plupart des réservoirs (Maleval, 2002, p. 115). Il convient ici de rappeler que les valeurs du volume érodé, en raison de la limite de la méthode de l'évaluation de l'érosion littorale (les littoraux sans surplomb ou feston ont été automatiquement placés dans la classe la plus faible d'évolution), sont des valeurs *a minima* (cf. méthodologie) ; du coup, le cubage du volume érodé est sans doute sous-évalué.

Quoi qu'il en soit, 1) comparé au volume total de sédiments présent dans la cuvette lacustre (297 642 m<sup>3</sup>), le volume littoral érodé n'en représente que 0,12 %, et, 2) comparée à la sédimentation annuelle calculée à 17 960 m<sup>3</sup>, la participation de 8,4 m<sup>3</sup> provenant des marges lacustres, est mineure, soit 0,05 %.

#### **c – La forme en plan du lac et le vent, principales causes de l'opposition N-S de l'érosion littorale**

Si d'une manière générale, « l'érosion générée par la dynamique de l'eau est à la fois facilitée et accentuée par la morphologie du rivage, le type de matériel, le profil de la berge ainsi que le type de végétation présent sur la berge » (Maleval, 1999, p. 458), certaines causes sont, en fonction des lacs étudiés, plus importantes que d'autres.

L'écrin géologique du lac de Saint-Germain de Confolens est le massif cristallin ancien de l'extrémité occidentale du socle limousin. Les rivages du lac sont taillés dans 2 types de granite calco-alkalin : la majeure partie (cf. figure 17) est composée de granite porphyroïde à deux micas dit « granite de Confolens » au contact, à l'est du lac, du granite à biotite à gros grain dit « granite d'Esse » (BRGM, 1983). Ces terrains granitiques, cataclasés en raison des contraintes tectoniques subies au cours du temps géologique, sont malgré tout résistants face aux attaques de l'eau lacustre lorsque la roche affleure. Ainsi, les zones d'affleurement (cf. figure 17) coïncidant principalement aux versants lacustres pentus (jusqu'à 11,6°), expliquent, hormis le possible remaniement des blocs à la marge, la quasi absence d'évolution du littoral comme l'illustrent les photographies 20 et 21.



Photo 20 : Zone rocheuse de la côte sud située entre les profils 29 et 30.  
Photo 21 : Littoral rocheux et pentu de la côte nord du profil 22.  
(V. Maleval, 2015)

Cependant, même logé au fond de la vallée de l'Issoire (dénivelé maximal d'environ 50 m), le lac de Saint-Germain voit sa surface animée de mouvements d'eau plus ou moins importants initiés par la déflation éolienne. La rose des vents (figure 23) fait apparaître, en termes de fréquence, 2 vents dominants principalement liés aux dépressions hivernales et aux perturbations orageuses d'été : les vents de NE et de SO :

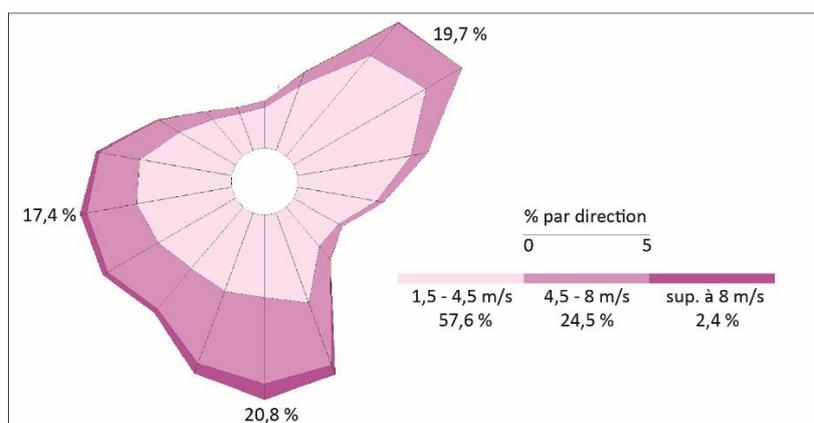
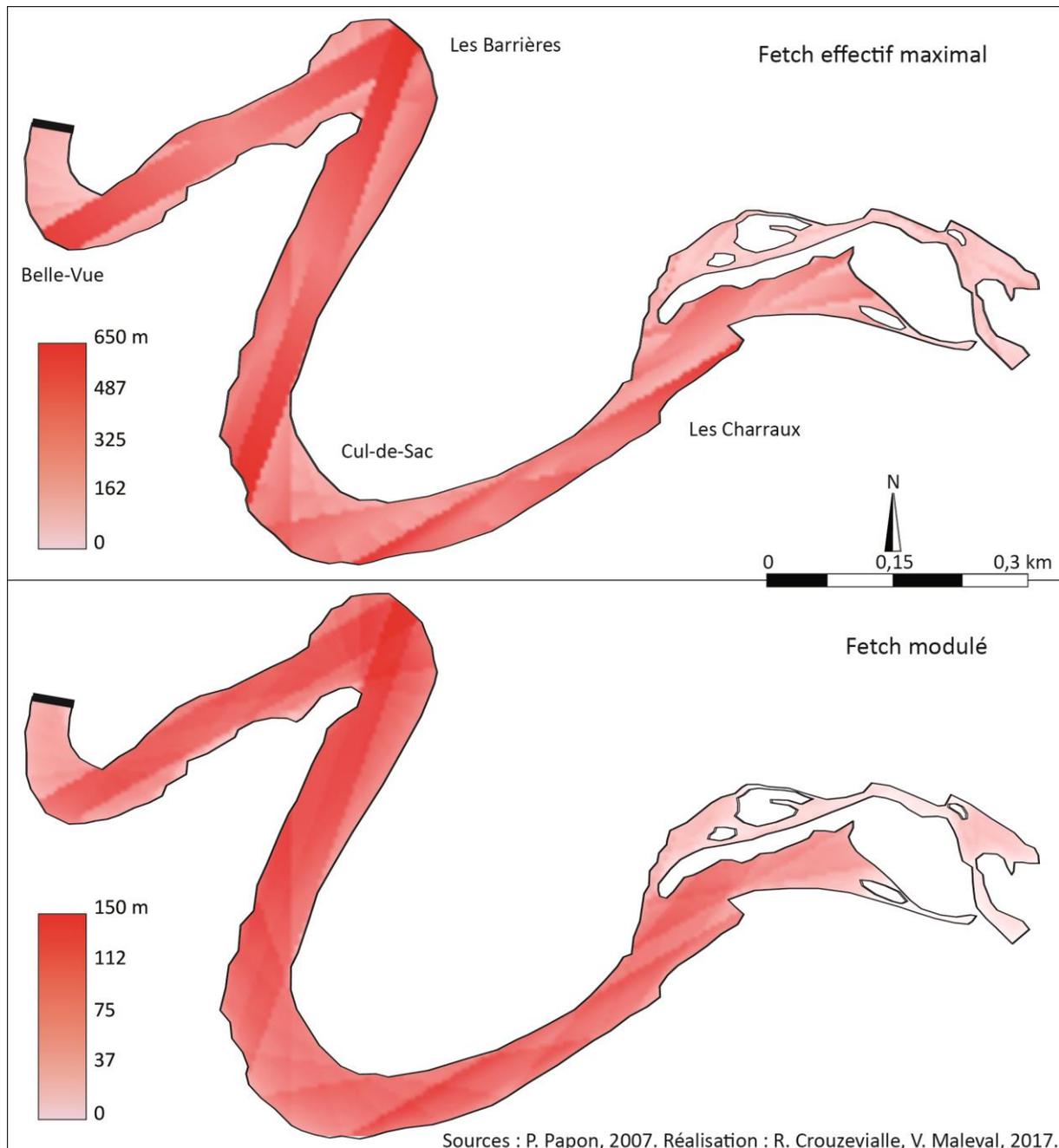


Figure 23 : La rose des vents à la station de Montemboeuf (16) pour la période 1991-2012 (Météo France)

- Les vents de NE (19,7 %), dont la vitesse est principalement comprise entre 1,5 et 4,5 m/s, créent facilement une agitation à la surface du lac composée de vagues à courte crête (Touchart, 2002, p. 196). Ces vagues qui vont s'échouer sur le rivage sud où la roche granitique affleure ont un pouvoir d'érosion quasi nul, expliquant l'absence de modelé d'érosion classique, hormis aux endroits vulnérables comme le site des profils 28 et 29 en situation de cap concentrant les orthogonales de houles : le transect du profil 29 connaît la plus forte érosion du lac.

- Les vents les plus efficaces proviennent de l'Ouest (17,4 %) et du sud (20,8 %). Ces derniers dépassent le plus fréquemment les 4,5 m/s et franchissent les 8 m/s. Ces vents soutenus sont à l'origine de la formation de vagues énergiques, principal agent morphogène, qui filent percuter le rivage nord peu pentu (jusqu'à 3 %) et plus enclin à l'érosion.

En effet, l'impact du vent sur le lac dépendant de la distance que ce dernier parcourt sur la surface en eau, plus le fetch<sup>9</sup> est important (figure 24), plus les vagues sont puissantes (Papon *et al.*, 2005).



**Figure 24 : Les caractéristiques du fetch sur le lac de Saint-Germain de Confolens**

La première carte de la figure 24 correspond au fetch effectif maximal c'est-à-dire à la plus grande distance que le vent peut parcourir sur le lac (Håkanson *et al.* 1983 in Papon, 2007). Elle permet de faire apparaître les 5 portions littorales les plus exposées aux longues courses

<sup>9</sup> Le fetch ou course du vent est la distance parcourue par le vent au-dessus du lac.

(les littoraux des côtes S et N à l'emplacement des méandres : Belle-Vue, les Barrières et Cul-de-Sac ainsi que les Charraux), bien que celles-ci ne soient jamais très importantes (maximum de 650 m) en raison de la forme longiligne et à méandres du lac, correspondant à l'ancienne vallée de l'Issoire. A titre de comparaison, la longueur effective maximale de 2450 m sur le lac de Saint-Pardoux en Haute-Vienne (lac créé dans un modelé alvéolaire et composé de plusieurs bassins) (Maleval, 2002) révèle l'importance de la forme en plan du lac dans les caractéristiques du fetch. La deuxième carte de la figure 24 correspond au fetch modulé c'est-à-dire à la pondération du fetch effectif maximal par la fréquence des vents selon leur direction. Globalement, la comparaison des 2 cartes montre que la modulation atténue l'exposition des littoraux, notamment ceux de la côte sud (Belle-Vue, Cul-de-Sac et les Charraux). Mais, dans le détail, ces portions littorales dont l'exposition se trouve atténuée, restent cependant les plus affectées, et correspondent évidemment aux secteurs les plus érodés (profils 29, 31 et 32), c'est-à-dire ayant une vitesse annuelle moyenne de recul supérieure à 3 cm (cf. figure 17), liée à des vagues dont la hauteur, selon la formule de Stevenson (1852), est comprise entre 11 cm et 27 cm (tableau 7). Les transects évoluant avec une vitesse comprise entre 2 et 3 cm (profils 7, 10, 20, 33, 35 et 36) ponctuent un littoral dont l'évolution annuelle ne dépassent pas 2 cm (figure 17) ; cette particularité est liée au fait que ce littoral est ponctuellement frappé par un fetch non négligeable, initiant des vagues d'une hauteur de 12 à 17 cm (tableau 6). Par conséquent, les cartes du fetch expliquent parfaitement la carte de l'érosion littorale. Les cartes montrent également que les 2 secteurs les plus exposés, les Barrières aux vents du SO et Belle-Vue à ceux du NO (fetch de 650 m pouvant créer des vagues de 27 cm), ne sont pas ou très peu contraints sur le plan géomorphologique, en raison de leur nature rocheuse.

<b><math>h = 0,105\sqrt{L}</math></b> h : hauteur des vagues L : fetch	Fetch (cm)	Hauteur des vagues (cm)
profil 29 vent du NNE	11 000	11
profil 31 vent du NE	65 000	27
profil 32 vent du SO	39 000	21
profil 7 vent du S	17 000	14
profil 10 vents du SSO et NNO	13 000 maxi	12 maxi
profil 20 vent du NO	17 000	14
profil 33 vent du NO	22 000	16
profils 35 et 36 vent du SO	26 000	17

Tableau 7 : La hauteur des vagues calculées selon la formule de Stevenson (1852)

Enfin, il convient de noter que la possibilité d'érosion du littoral dépend aussi en partie de la nature de la végétation riveraine du lac (Amoros et Petts, 1993) ; le lac de Saint-Germain étant artificiel, les espèces rencontrées, forestières ou prairiales, ne sont pas forcément adaptées à la proximité de l'eau (exemple du hêtre), favorisant ainsi l'érosion du littoral lacustre comme les photographies 22 à 24 l'illustrent.



Photo 22 : La présence d'arbre à proximité du rivage (site du profil 19) favorise la création de surplomb par la présence des réseaux racinaires plus résistants. Photo 23 : Le recul du trait de côte explique la mise en saillie des arbres et le déchaussement des souches (site 15). Photo 24 : le réseau racinaire peu résistant des graminées (site 2) explique souvent l'absence de surplomb (s'ils existent, ils sont brefs dans le temps par affaissement ou destruction par l'eau). En revanche, le littoral est souvent festonné par la présence de zone de faiblesse et de résistance (à durée limitée de vie) comme des touffes. Ces festons servent de témoin de recul. (Clichés : V. Maleval,

L'étude géomorphologique du lac de Saint-Germain de Confolens révèle donc, malgré l'érosion littorale, une diminution de la superficie du lac par la progression deltaïque, et une diminution de sa profondeur du fait de la sédimentation du plafond. Après cette étude géomorphologique, il convient d'étudier la nappe d'eau.

### 3-2 – LA QUALITE DE L'EAU LACUSTRE

La qualité des eaux du lac permet de caractériser en partie le fonctionnement interne de Saint-Germain-de-Confolens.

#### 3-2-1 – Les résultats de l'étude qualitative

Ils sont issus des mesures en 13 points du lac à la sonde multi paramètres et des mesures et prélèvements d'eau aux 3 points des sédimentomètres.

##### a – Les matières en suspension dans l'eau du lac

Les quantités de MES (figure 25) ont augmenté d'avril à juillet, le maximum de 34 mg/L se trouvant dans la partie centrale du lac (P2 : emplacement du 2<sup>ème</sup> sédimentomètre). Cette augmentation est liée à la production de biomasse phytoplanctonique. Elles ont ensuite légèrement diminué en raison de la dilution des eaux lacustres par les eaux fluviales (augmentation du débit de l'Issoire) et se sont maintenues entre 16,8 et 26,6 mg/L entre

décembre 2015 et mars 2016. Ces MES étaient majoritairement constituées d'éléments détritiques fins issus du BV.

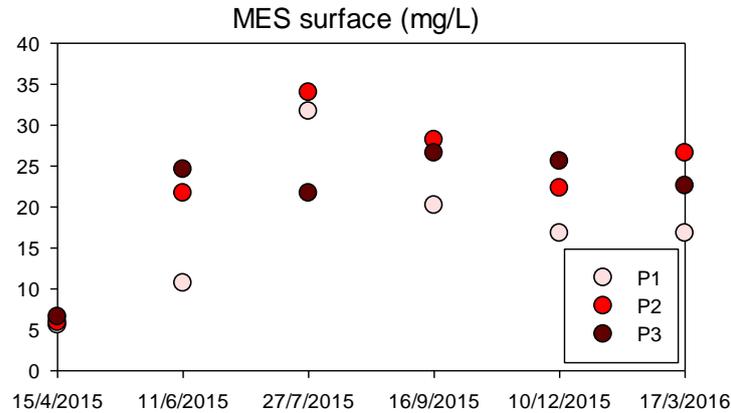
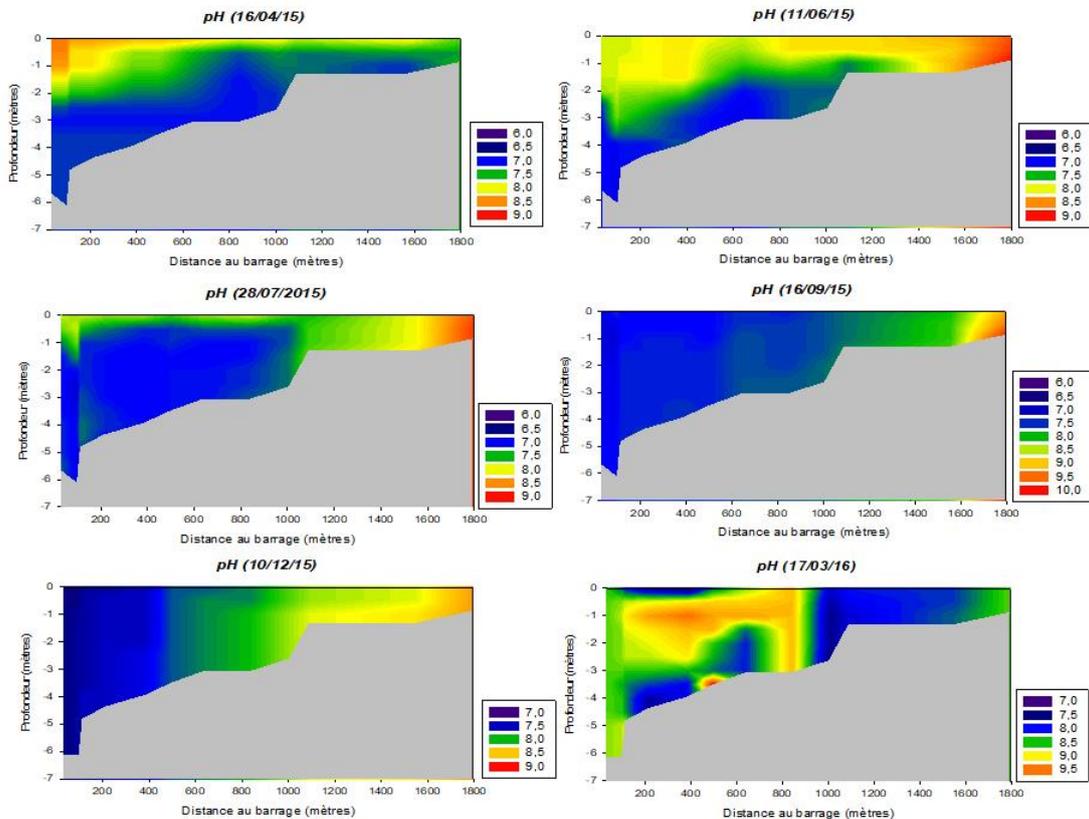


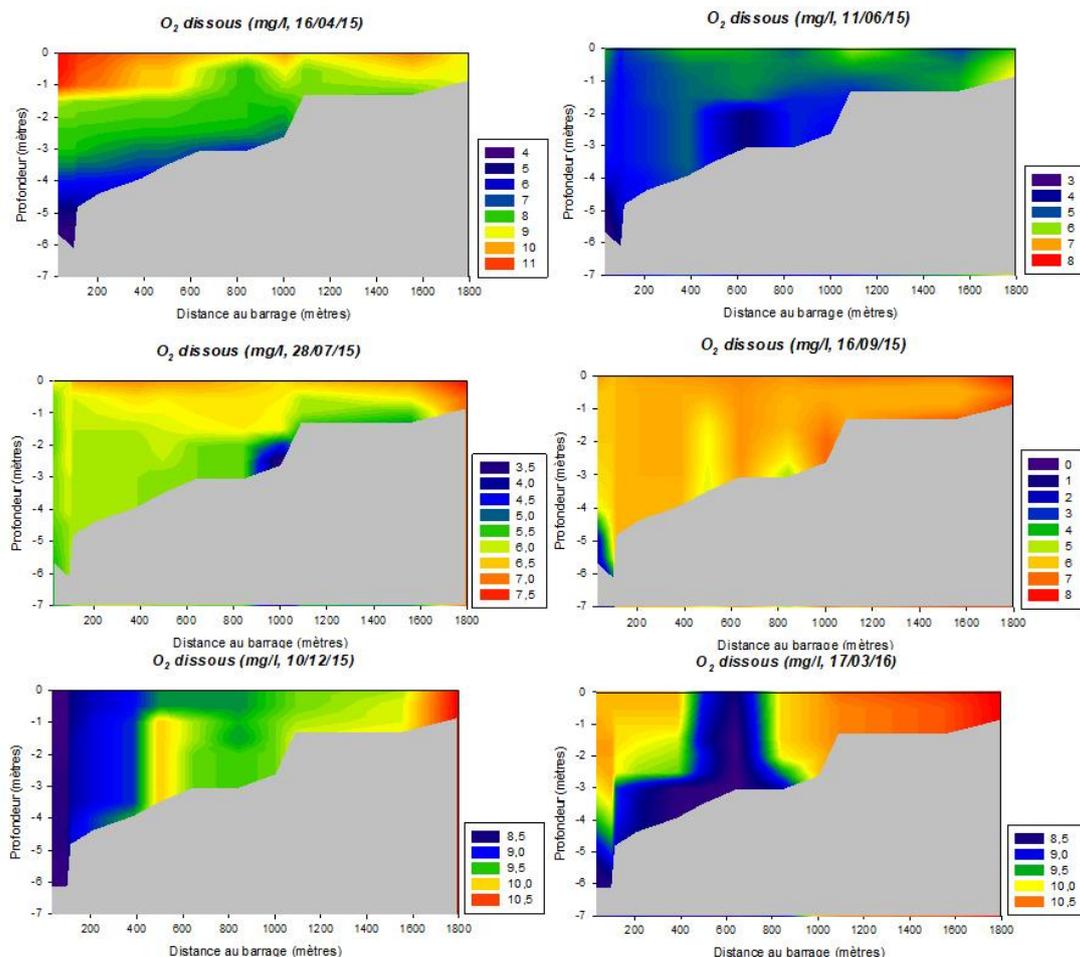
Figure 25 : Evolution des concentrations de MES

### b – Le pH et l’oxygène dissous

Influencés tous deux par l’activité photosynthétique de la flore (algues microscopiques, microflore et macrophytes), il convient de rappeler que 1) plus la photosynthèse est importante, plus les eaux sont alcalines, et que 2) les processus de minéralisation et de fermentation étant consommateurs d’oxygène, le bilan de la teneur en O<sub>2</sub> dépend de l’équilibre entre ces deux processus (fig. 26 et 27).



Figures 26 : Evolution longitudinale du pH



**Figures 27 : Evolution longitudinale de l'oxygène dissous**

- **Avril 2015 :** La valeur minimale, 7 UpH, a été mesurée dès 1,5m de profondeur (à 800 m du barrage). Le maximum, 8,5 UpH, a été observé en surface, en aval du lac. En contexte cristallin, ces valeurs élevées indiquent que l'activité saisonnière planctonique avait déjà commencé. Pour l'O<sub>2</sub>, en profondeur, les concentrations variaient de 3,9 mg/L au barrage, secteur pauvre en oxygène, à 8,8 mg/L en amont. Par contre, en surface, elles augmentaient de l'amont (8,9 mg/L) vers l'aval (11,4 mg/L), secteur de concentration de la flore planctonique.
- **Juin 2015 :** sur le fond, les valeurs de pH variaient entre 6,9 en aval et 9 en amont. La valeur élevée des 2 stations les plus amont était liée à l'activité photosynthétique des macro- et micro-phytes. En surface, les valeurs décroissantes d'amont en aval, étaient comprises entre 8,7 et 7,9. Avec l'extension des processus de minéralisation à l'ensemble du fond du lac, une diminution globale de la concentration en O<sub>2</sub> a été observée : la valeur minimale, 3,2 mg/L, a été mesurée dans le secteur le plus profond au pied du barrage. Le maximum, 6,5 mg/L, a également été relevée sur le fond, dans la station la plus en amont. Il peut être lié à l'activité de la flore macrophytique.

- Juillet 2015 : les mesures de pH ont montré deux secteurs distincts, séparés par le méandre de Cul-de-Sac : les valeurs les plus faibles (environ 6,8) se situaient en aval du méandre, dans la zone soumise à l'aération forcée, tandis que le secteur amont avait des pH élevés (proches de 8,8). La concentration maximale en O<sub>2</sub>, 7,6 mg/L, a été mesurée en surface en amont du lac, secteur d'expansion de la flore planctonique. La valeur minimale, 3,1 mg/L, a été obtenue au fond du méandre sud (à 1000 m du barrage). Les teneurs en O<sub>2</sub> étaient globalement homogènes dans tout le secteur aval.

- Septembre 2015 : dans chaque station, le pH était assez homogène sur toute la colonne d'eau : le minimum était de 7,1 en surface en aval ; le maximum à 9,9 se trouvait en amont, à partir de 1 mètre sous la surface. A noter que les 2 secteurs distingués lors de la campagne précédente étaient toujours visibles. Les concentrations en O<sub>2</sub> étaient également relativement homogènes sur toute la colonne d'eau, hormis dans les 2 stations les plus en aval où les eaux étaient anoxiques à 6 mètres de profondeur (0,8 Mg/L) alors qu'en surface les valeurs se situaient autour de 6 mg/L. La valeur maximale, 7,8 mg/L, a été mesurée dans la station la plus en amont en raison de l'apport d'eau oxygénée par l'Issoire.

- Décembre 2015 : pour chaque station, le pH et l'oxygène, très homogènes sur l'ensemble de la tranche d'eau augmentaient de l'aval vers l'amont (de 7,3 à 8,6 pour le pH et 8,2mg/L à 10,7 mg/L) en raison de la réoxygénation des eaux.

- Mars 2016 : la distribution du pH et de l'oxygène était plus hétérogène qu'en décembre : les valeurs maximales de pH, comprises entre 9 et 9,5, du fond vers la surface (à 900 mètres du barrage), puis en panache jusqu'au barrage, illustraient probablement un épisode de développement de la flore planctonique dans les zones peu profondes. Le gradient croissant d'O<sub>2</sub> du fond vers la surface variait de 1,3 mg/L à 1,9 mg/L dans les 5 stations les plus en aval. Il était de 1,3 mg/L vers 900 m du barrage alors qu'il était inférieur à 0,3 mg/L dans les stations les plus en amont, peut-être en raison d'un début, précoce, de minéralisation des vases du secteur aval. En effet, si l'évolution de la conductivité des eaux lacustres est classique (figure 28), matérialisée par une augmentation régulière d'avril (110 µS/cm) à juillet (143 µS/cm), puis par une stabilisation maintenue jusqu'en septembre, les campagnes de décembre 2015 et mars 2016 ont montré une forte diminution de la minéralité (88 puis 63 µS/cm) par dilution, les débits d'hiver étant sous forte influence pluviale.

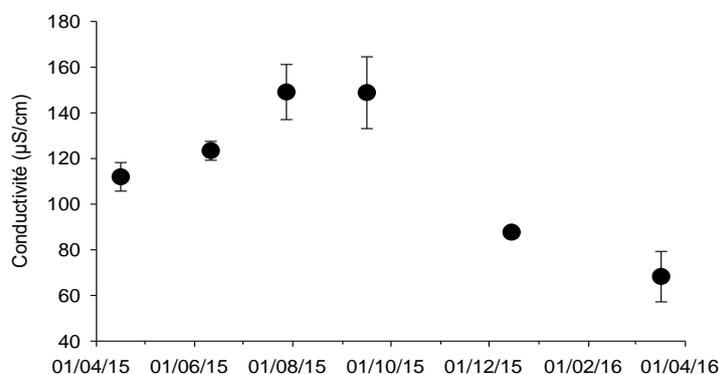


Figure 28 : Evolution des valeurs moyennes de conductivité

### c – La flore planctonique

#### ● Biomasse planctonique et Chlorophylle A

Les dosages de chlorophylle A (figure 29) ont été les plus importants en avril (23 µg/L) et juillet (37 µg/L), au moment où les productions de microflore lacustre sont les plus fortes. Ces concentrations étaient plus élevées dans le lac (zone de croissance) que dans les stations amont et aval de l'Issoire. A noter que ces résultats montrent que les cyanobactéries n'ont que peu d'impact sur la biomasse globale car, en juin, malgré la forte prolifération d'une cyanobactérie du genre *Planktolyngbya* (photographie 25), la concentration en chlorophylle A était faible.

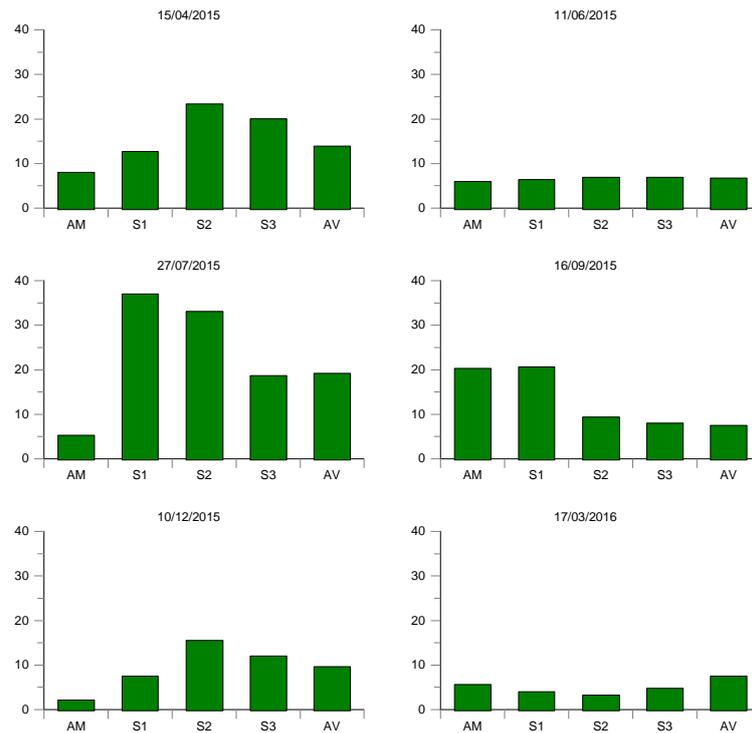


Figure 29 : Evolution longitudinale des concentrations en chlorophylle A

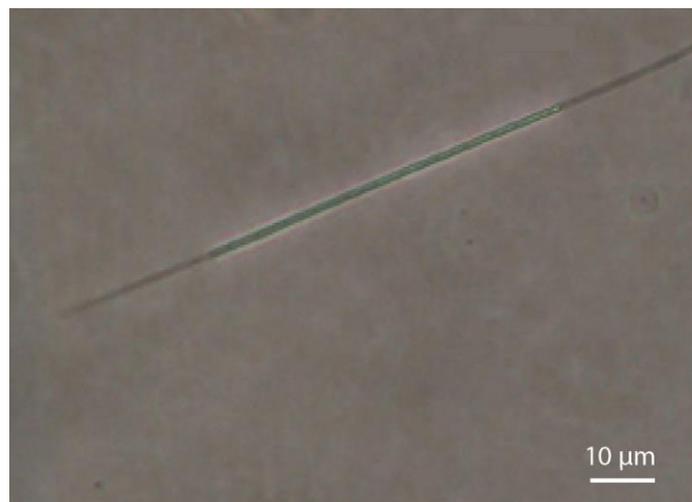


Photo 25 : *Planktolyngbya*

● Effectif et diversité

Dans l'ensemble, la densité cellulaire phytoplanctonique est restée relativement faible :

- En amont du lac (figure 30), un effectif maximal de 29 178 colonies/mL a été observé le 11 juin ; il était lié à un pic de densité de *Planktolyngbya* (332 232 cell/mL). En dehors de cet épisode, 2 pics, plus modérés, ont été mis en évidence à la mi-juin (4 000 colonies/mL) et à la mi-septembre (4 400 colonies/mL) ; deux autres encore moins importants ont été révélés à la fin du mois de novembre (2 440 colonies/mL) et décembre (2 920 colonies/mL).

- En aval du lac (figure 30), la densité de la microflore a augmenté progressivement pour atteindre un pic de 24 900 colonies/mL au début du mois d'août. Ce pic a correspondu à la flore produite dans le plan d'eau, puis exportée. Les effectifs ont ensuite diminué progressivement pour se maintenir entre 5 000 et 8 000 colonies/mL de la mi-septembre au début novembre. Les prélèvements suivants ont montré le déclin du phytoplancton avec des valeurs comprises entre 560 et 3 300 colonies/mL.

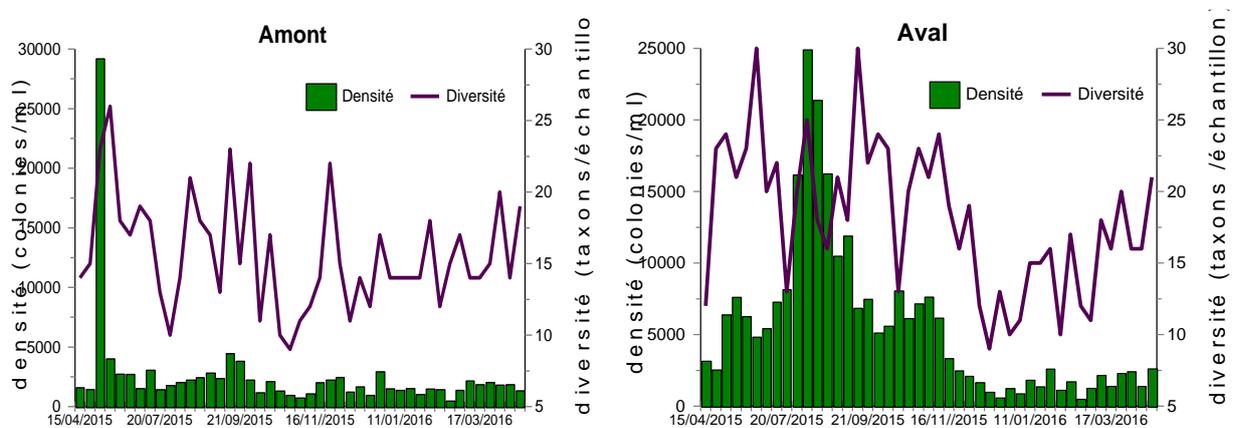


Figure 30 : Effectif et diversité du phytoplancton en amont et aval du lac

- Dans le plan d'eau (figure 31), six campagnes de mesures ont permis de savoir que les densités maximales ont été observées en juillet (avec des valeurs comprises entre 23 940 col/mL et 36 460 col/mL), et avril (17 340 col/mL pour S1 et 32 420 col/mL pour S2). La station S1, en termes de phytoplancton, a été la plus productive. A partir de septembre, la croissance phytoplanctonique a fortement décliné dans les trois stations.

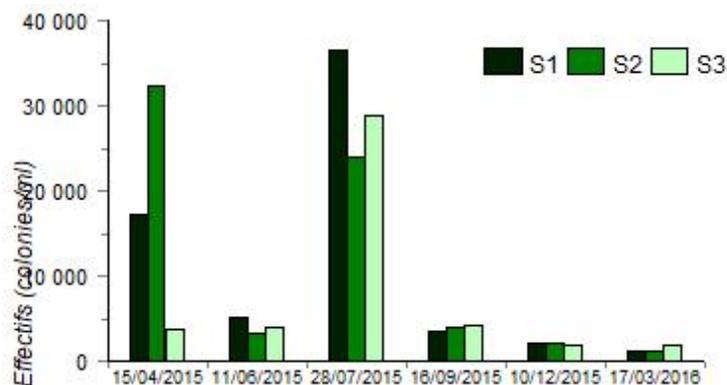
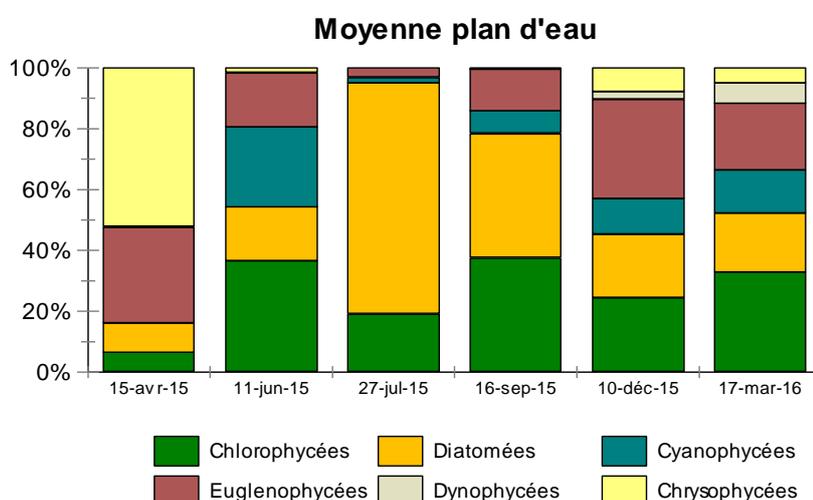


Figure 31 : Effectif du phytoplancton dans les stations lacustres

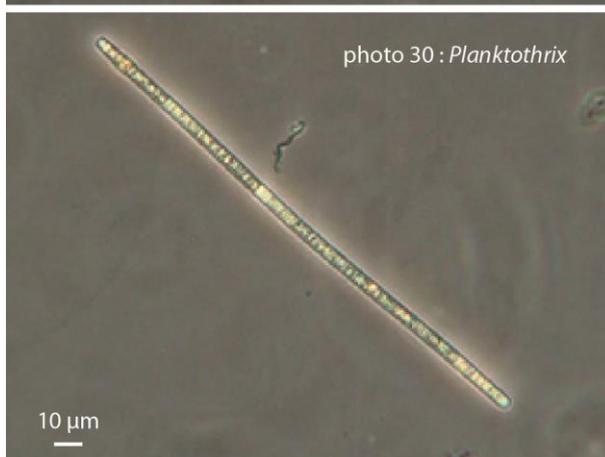
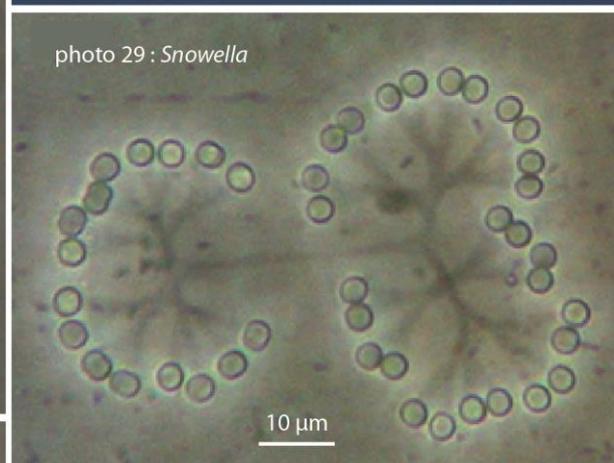
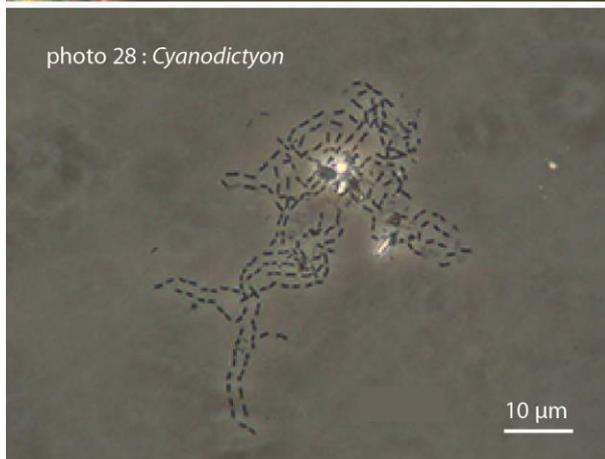
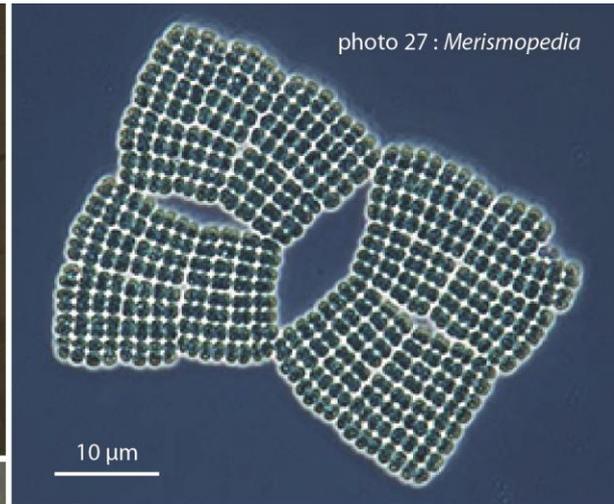
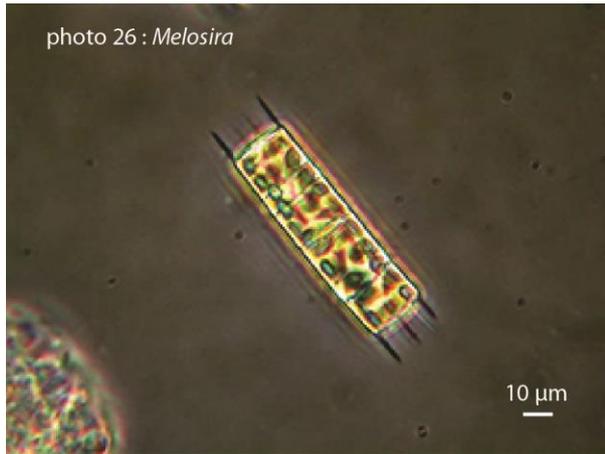
La diversité du phytoplancton était très variable dans les cinq stations, le nombre de taxons identifiés variant entre 10 et 30. Dans la station amont, la microflore était généralement dominée par les Chlorophycées (jusqu'à 70 %) et les Diatomées (jusqu'à 57 %). En aval, les Diatomées étaient majoritaires (jusqu'à 81 %), surtout en été. Les Chlorophycées et les Euglenophycées étaient également bien représentées pendant la période de recyclage. Les cyanobactéries identifiées dans l'Issoire le 21 septembre 2015, traduisaient, a priori, une contamination issue d'un étang situé en amont.

Pour le plan d'eau, la figure 32 présente les valeurs moyennées par date pour les trois stations étudiées. La microalgue dominante variait selon la date de prélèvement. Ainsi, en avril, les Chrysophycées, représentées essentiellement par le genre *Chromulina*, étaient majoritaires (52,5 % de la microflore), en juillet, les diatomées dominaient (76,1 %) en raison de l'abondance de *Melosira* (photographie 26).



**Figure 32 : Evolution de la composition synthétique de la flore dans les stations lacustres**

Globalement, sur la durée de l'étude, les cyanobactéries n'ont fait que des apparitions épisodiques très limitées dans le temps. Dans le plan d'eau, leur densité maximale a été observée en juin (maximum de 21 100 cell/mL en amont) et ce sont des espèces (*Merismopedia*, *Cyanodictyon*, *Snowella* -photographie 27 à 29) à croissance rapide et faible biovolume ayant peu d'impact sur la biomasse globale, qui dominaient. En juillet, la densité était plus faible (maximum de 5 800 cell/mL en aval), mais la biomasse était probablement plus importante compte tenu des espèces présentes (*Planktothrix* et *Pseudanabaena* majoritaires -photographie 30 et 31). En septembre, la croissance des cyanobactéries avait repris puisque les densités variaient entre 5 400 et 14 500 cell/mL. Cet épisode de contamination par *Planktothrix Agardhii* s'est traduit, à la fin du mois de septembre, par une densité maximale de 87 340 cell/ml à l'exutoire du lac ; cette densité indique que les conditions météorologiques au début de l'automne n'étaient pas propices à un épisode de prolifération. Les campagnes suivantes ont montré un déclin des populations de cyanobactéries.

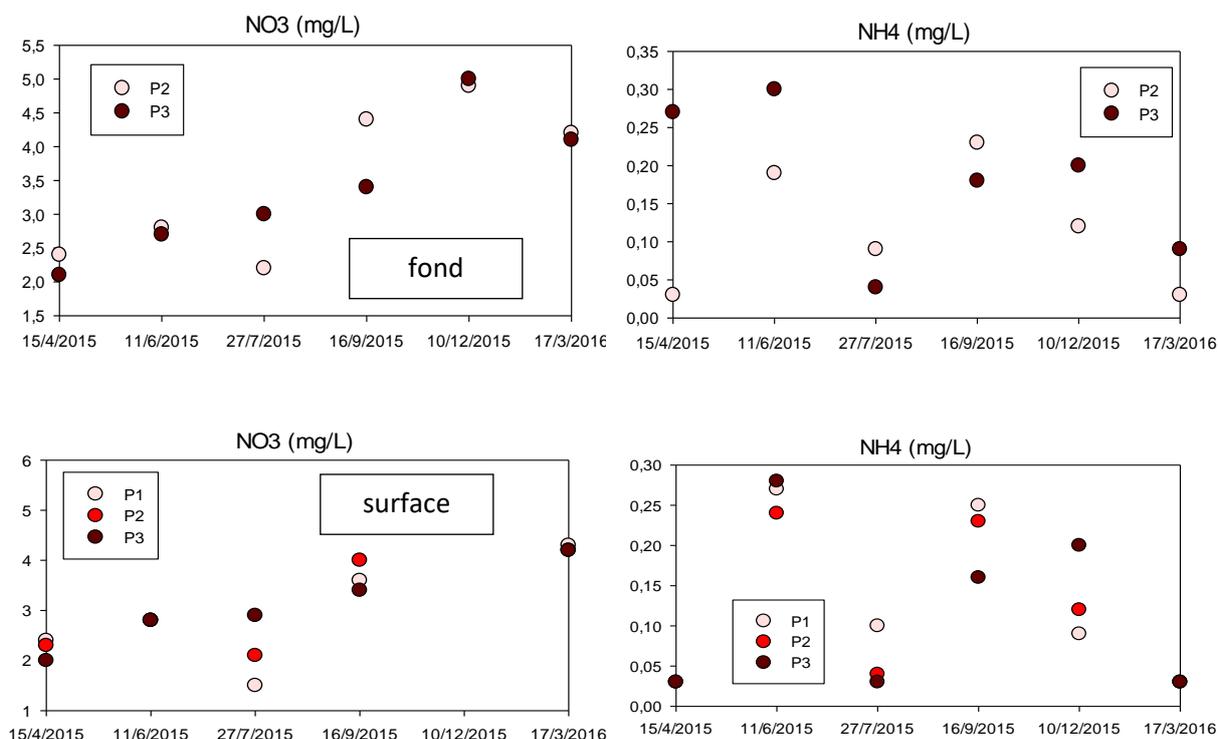


#### d – L'azote

A la fois pour les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et l'ammoniaque ( $\text{NH}_4$ ), les résultats ont montré une évolution comparable sur les trois sites mais aussi entre le fond et la surface (figure 33) :

- Les nitrates ont globalement augmenté d'avril à décembre avec des valeurs inférieures à 2,5 mg/L ayant atteint un maximum de 5 mg/L en P3 (station aval). La campagne de mars 2016 a révélé une légère diminution (entre 4,1 et 4,3 mg/L) indiquant un début de consommation par la flore.

- Les concentrations en  $\text{NH}_4$  étaient plus irrégulières : entre avril et juin, l'augmentation a été moins marquée en P3 que dans les autres stations. La concentration maximale, 0,30 mg/L, a été obtenue en profondeur à cette même station, lors de la campagne de juin. Après la forte chute de juillet, où les valeurs sont tombées en dessous de 0,10 mg/L, les concentrations ont augmenté en septembre (valeurs comprises entre 0,16 et 0,25 mg/L) pour ensuite diminuer et être inférieures à 0,09 mg/L.



**Figure 33 : Evolution des concentrations en  $\text{NO}_3$  et  $\text{NH}_4$  dans les 3 stations lacustres**

### e – Le phosphore

- Les concentrations en orthophosphates (figure 34) sur le fond ont montré une augmentation d'avril à juillet pour le site P2 (jusqu'à 170  $\mu\text{gP/L}$ ) et d'avril à septembre pour le site P3 (jusqu'à 101  $\mu\text{gP/L}$ ). Elles confirment le processus de relargage par le lac à cette période. Par la suite, les concentrations ont diminué pour se situer au-dessous de 80  $\mu\text{gP/L}$ . Le relargage a également été mis en évidence avec les résultats observés en surface en juillet et septembre (pic de 131  $\mu\text{g/L}$  mesuré en P1).

- Les concentrations de phosphore particulaire (figure 34) étaient assez similaires en surface et au fond. Le P particulaire a augmenté d'avril à juillet pour atteindre un maximum en surface de 88,5  $\mu\text{gP/L}$ , et au fond de 109,5  $\mu\text{g/L}$ , à la station P2. Il a ensuite diminué légèrement jusqu'en décembre. En mars 2016, le P particulaire avait atteint un niveau inférieur à celui d'avril, à la surface des stations P1 et P3, et au fond des stations P2 et P3. Ces résultats

montrent bien que le lac produit du phosphore par le biais de la biomasse algale pendant une grande partie de l'année.

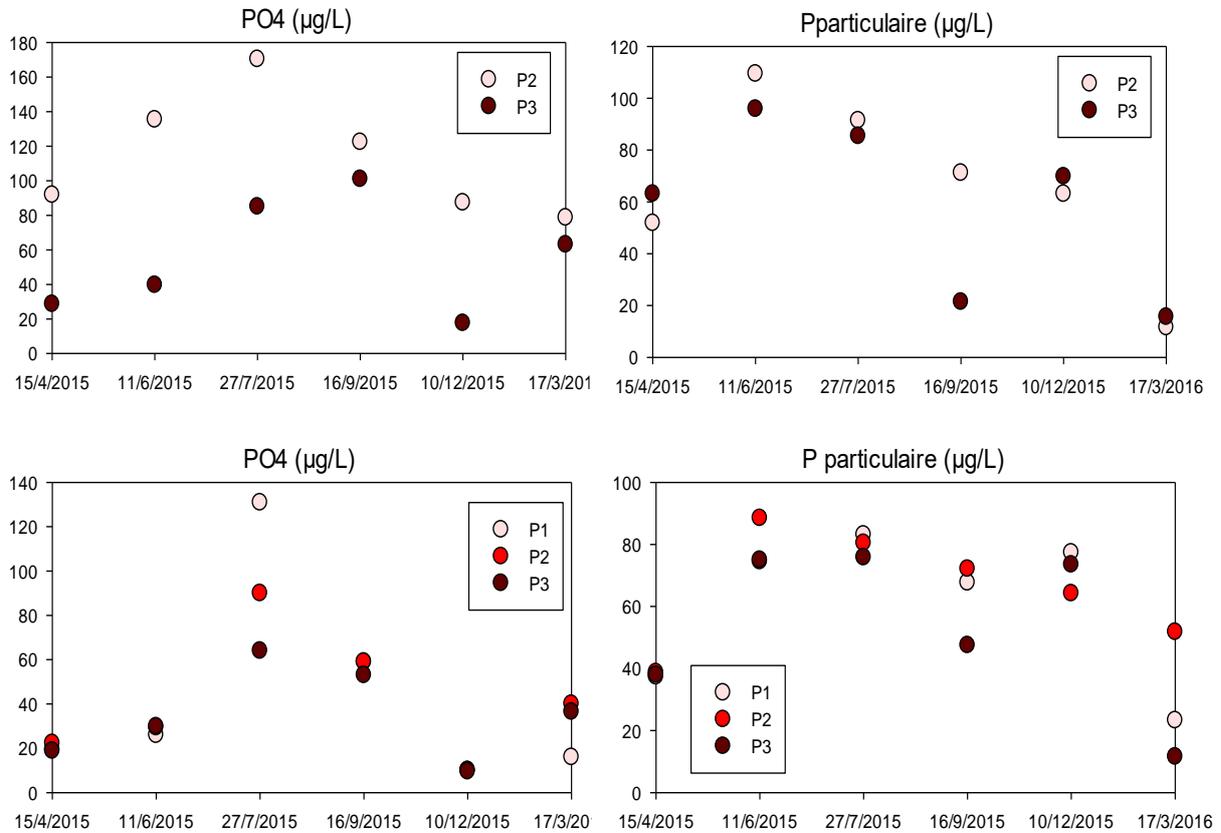


Figure 34 : Evolution des concentrations en PO<sub>4</sub> et P. particulaire dans les 3 stations lacustres

### f – Le fer et le manganèse

- Les teneurs en fer sont semblables d'une station à l'autre (figure 35). En surface et en profondeur, elles ont augmenté d'avril à juillet pour diminuer ensuite jusqu'en mars 2016, hormis au fond de la station P3 où une légère augmentation était visible dès mars. Systématiquement supérieures à 1 mg/L en profondeur comme en surface, ces teneurs confirment le relargage quasi permanent de fer par la retenue. Les valeurs maximales enregistrées pendant le suivi étaient de 3,4 mg/L en P1 (en surface) et de 4,1 mg/L en P2 (au fond).

- Pour le manganèse (figure 35), les résultats sont les mêmes : une augmentation globale d'avril à juillet, puis une diminution progressive jusqu'en mars, confirment le relargage de manganèse par le lac d'avril à décembre (teneur supérieure à 30 µg/L). La valeur maximale en surface était de 325 µg/L en P1. Sur le fond, les concentrations ont globalement diminué à partir de la fin juillet. Malgré cela, elles étaient toujours supérieures à 30 µg/L et les maximales ont pu atteindre 426 µg/L en P3 et 331 µg/L en P2.

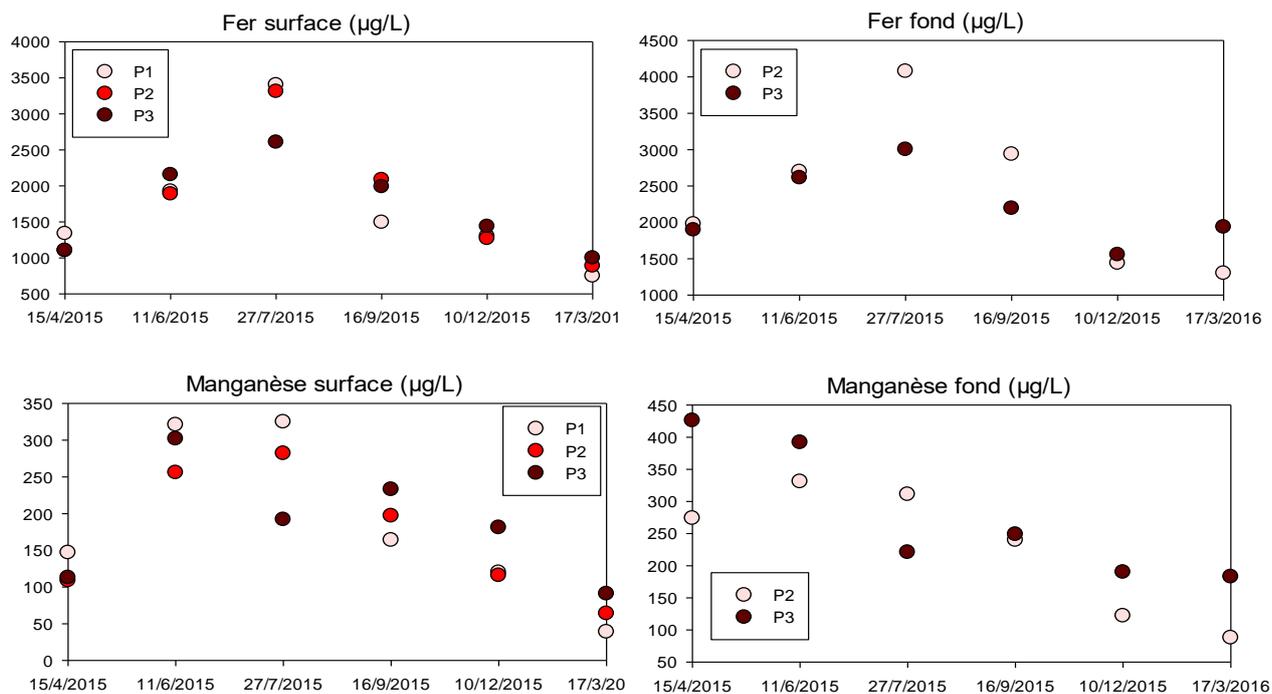


Figure 35 : Evolution des concentrations en fer et manganèse aux 3 stations lacustres

### 3-2-2 – Les résultats de l'étude thermique

#### a – Le régime thermique de l'Issoire en amont du Lac de Saint-Germain

Sur la période étudiée, de mai 2015 à mars 2016, l'amplitude thermique maximale de l'eau fluviale de la station amont est de 20°C (la plus élevée, 23,6°C, a été mesurée le 3 juillet 2016 à 17h ; la plus faible, 3,6°, le 17 janvier 2016 à 11h - figure 36 -) et la température moyenne annuelle de l'eau à la station est de 12°C. Sans surprise, cette figure montre différentes phases thermiques : une période hivernale de basses températures, une période de températures élevées liée aux anticyclones estivaux et deux saisons intermédiaires (de refroidissement et de réchauffement des eaux). Ces cycles annuels sont relativement classiques pour le climat de type océanique tempéré du Confolentais.

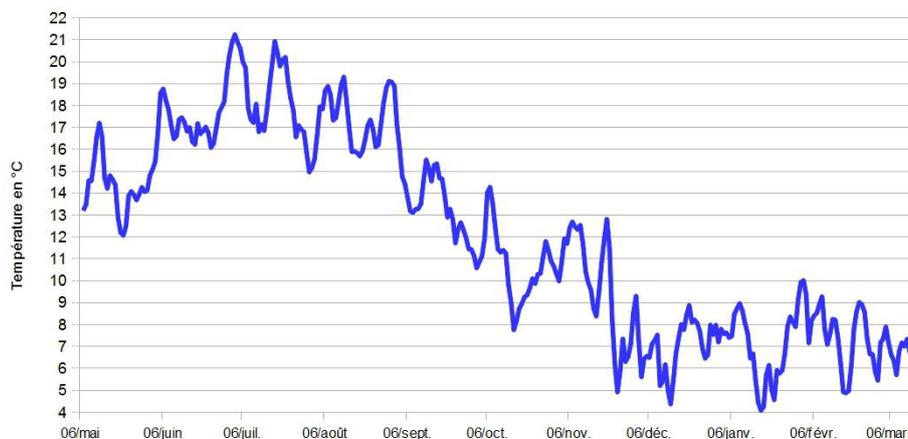
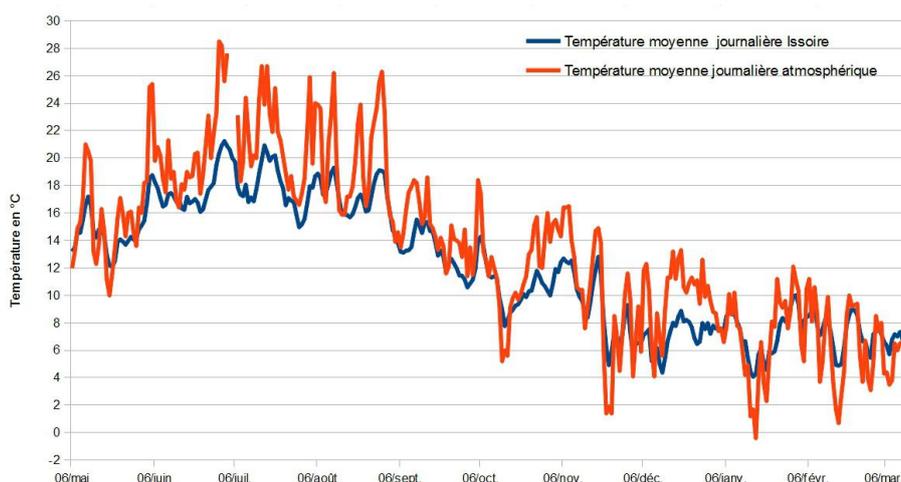
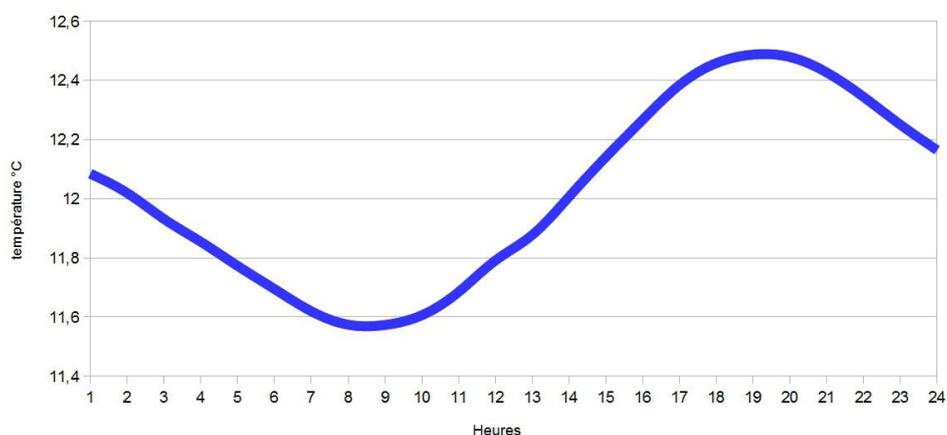


Figure 36 : Evolution des températures moyennes journalières de l'Issoire

En amont du lac, les relevés révèlent une absence d'anomalie au cours de l'année étudiée (figure 37) si bien que la relation entre la température moyenne journalière de l'eau et celle de l'air indique que le régime thermique de la rivière n'est pas perturbé et évolue naturellement avec les conditions météorologiques. La courbe des températures atmosphériques présente davantage d'irrégularités que celle des températures aquatiques, en raison de l'inertie thermique de l'eau. Celle-ci a donc la particularité d'estomper les extrêmes. Enfin, à l'échelle diurne, le régime thermique de l'Issoire est caractéristique d'un cours d'eau naturel avec des températures maximales de 18 à 21 h et des températures minimales de 7 à 10 h (figure 38).



**Figure 37 : Evolution des températures moyennes journalières atmosphériques<sup>1</sup> et hydrologiques à la station de l'Issoire**



**Figure 38 : Cycle thermique diurne moyen à la station Issoire amont**

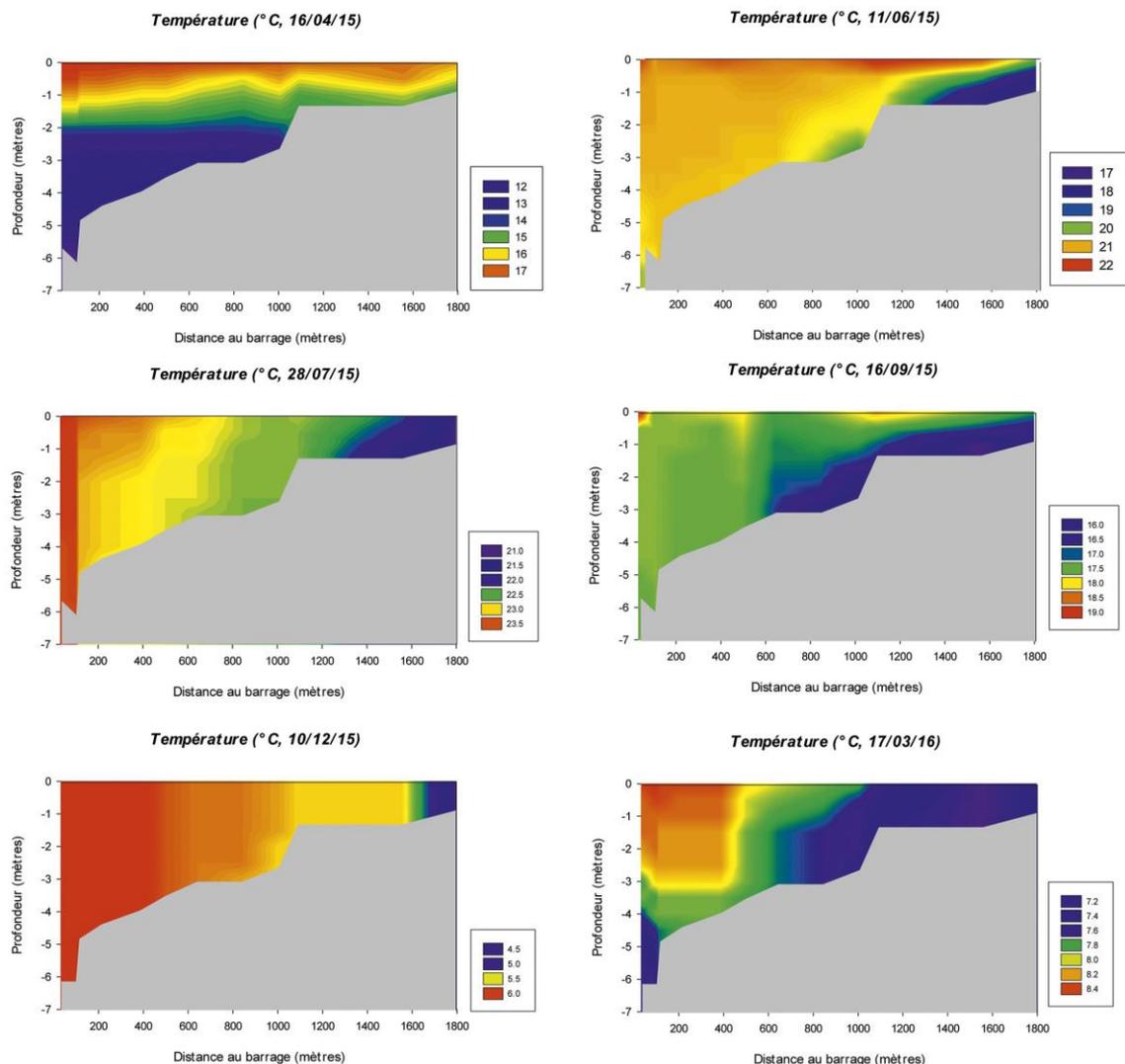
Ainsi, l'Issoire, tributaire du lac de Saint-Germain, a un fonctionnement typiquement naturel.

<sup>1</sup> Les températures atmosphériques présentées sur le graphique proviennent de la station de Météo-France de Saint-Junien (en Haute-Vienne, à environ 25 km au Sud-Est du lac de Saint-Germain) située à 268 m d'altitude ; la station thermique amont de l'Issoire se trouvant à 135 m NGF, les températures atmosphériques ont été corrigées avec un gradient altitudinal de 0,6°C/100.

## b – Le régime thermique du Lac de Saint-Germain

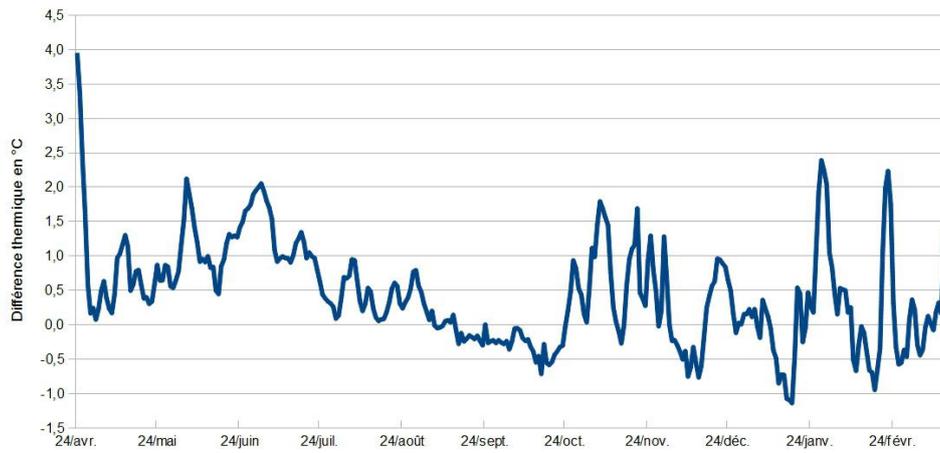
Le comportement thermique du lac ne pouvant reposer sur des données ponctuelles (Forel, 1895), les enregistrements en continu des sondes installées sous et hors influence de l'aérateur, ont fourni une multitude de températures permettant de saisir l'enchaînement des cycles diurne et intra-annuel.

D'un point de vue global (figure 39), à partir d'avril 2015, la masse d'eau s'est réchauffée en surface, d'amont en aval. Puis, en juin, le réchauffement touchait l'ensemble de la colonne d'eau pour atteindre en juillet 21°C en amont et 23,8°C en aval, en raison d'un fort ensoleillement. En septembre, avec la reprise des précipitations, la masse d'eau s'était rafraîchie (15,6°C au minimum en profondeur enregistrés en amont et 19°C au maximum en surface, dans le secteur aval le plus encaissé et le plus protégé des conditions météorologiques). En décembre 2015, les températures de la masse d'eau variaient de 4,4°C en amont à 6,1°C en aval, pour commencer à se réchauffer à partir de mars 2016 (7,1°C en amont à 8,5°C en aval).



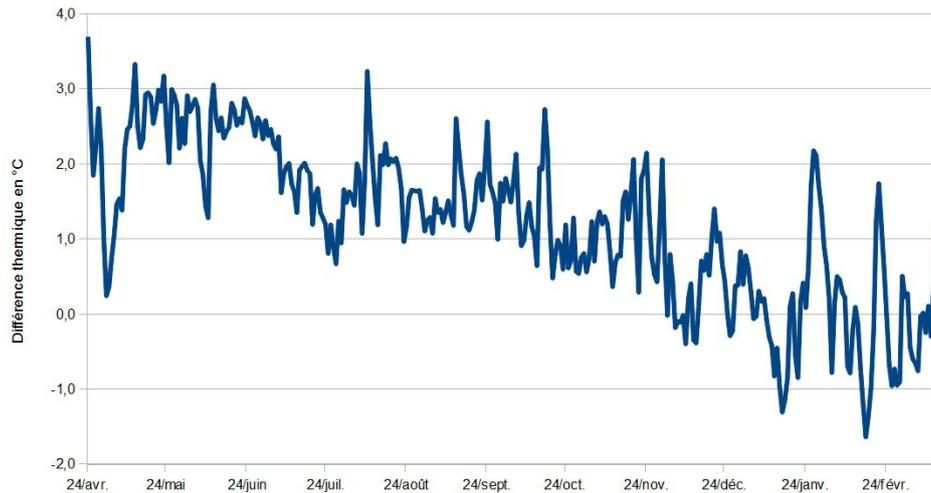
**Figure 39 : Evolution longitudinale des températures ponctuelles**

Par station, les données recueillies à la station A sous l'influence du déstratificateur, présentent des différences de température entre la surface et le fond (colonne d'eau de près de 6 m) allant de  $-1,5^{\circ}\text{C}$  (le 18 janvier 2016 à 5 h) à  $4,9^{\circ}\text{C}$  (le 24 avril 2015 à 18 h - figure 40 -). La température négative est obtenue lorsque les eaux de profondeur sont plus chaudes que celles présentes en surface. Une instabilité thermique se met alors en place. Plus précisément, l'analyse des différences moyennes journalières montre une différence de température sur la colonne d'eau (entre 5 et 7m) inférieure à  $2,2^{\circ}\text{C}$  tout au long de la période de fonctionnement de l'aérateur (avril à octobre) ; Au plus chaud de l'été, à partir du 15 juillet, la différence est même inférieure à  $1^{\circ}\text{C}$ . De fait, cet équipement, en cassant la stratification par brassage permanent, permet une quasi homothermie de la tranche d'eau durant la période chaude.



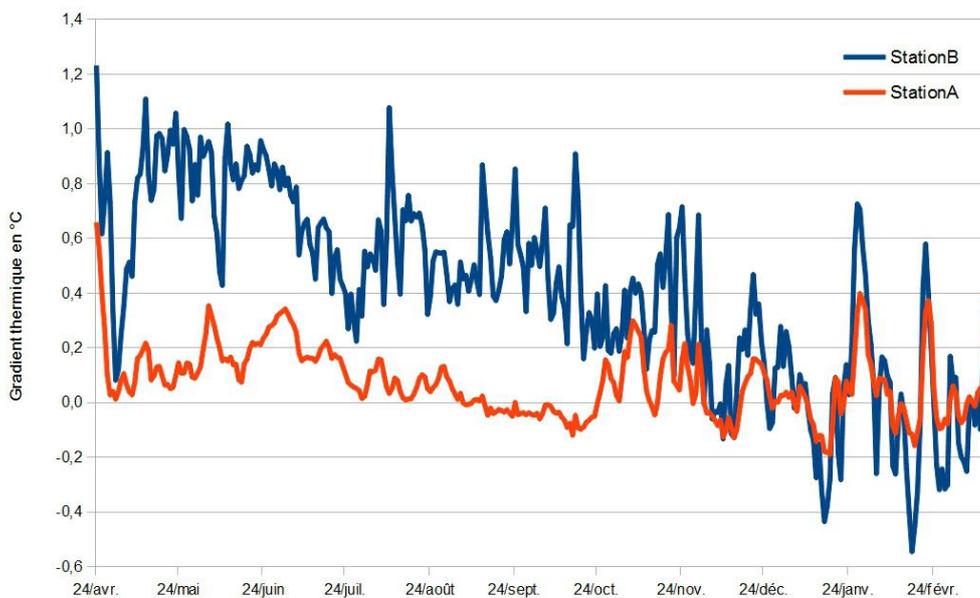
**Figure 40 : Evolution des différences thermiques (surface - fond) moyennes journalières de la station A**

Pour la station B, située en dehors de l'influence du déstratificateur, les données révèlent une amplitude thermique plus importante malgré une faible profondeur d'eau (environ 3 m). En effet, la différence thermique horaire la moins élevée entre la surface et le fond est de  $-2,3^{\circ}\text{C}$  (le 17 février 2016 à 10h), et la plus forte, de  $5,9^{\circ}\text{C}$  (le 27 mai à 17h - figure 41 -). Il existe ainsi une stratification thermique libre à la station B. Cependant, cette stratification n'est pas académique dans le sens où elle n'est pas constituée d'une couche de fond à fort gradient thermique relativement stable, au-dessus de laquelle une couche d'eau flotterait. Elle est plutôt structurée par une diminution régulière de la température de l'eau de la surface vers le fond. Cette structure indique qu'à cette station les phénomènes de brassages liés au vent imposent un mélange de l'ensemble de la colonne d'eau. Ce phénomène est caractéristique des plans d'eau de faibles profondeurs.



**Figure 41 : Evolution des différences thermiques (Surface - Fond) moyennes journalières de la station B**

Les courbes comparées des 2 stations de la figure 42 montrent clairement que si l'aérateur est généralement efficace en aval du lac, il n'a en revanche aucune influence en amont où la profondeur est plus faible. Dans ces conditions, il est donc normal d'avoir dans le lac de Saint-Germain de Confolens deux comportements thermiques distincts malgré sa faible superficie : un fonctionnement forcé au droit du déstratificateur et un fonctionnement libre, naturel, dans le reste du lac, influencé par la météorologie locale. A l'arrêt de l'aérateur, généralement fin octobre, les gradients dessinent des courbes de mêmes tendances même si l'inertie thermique de la tranche d'eau à la station A est plus grande que celle à la station B ; elle contraint le gradient thermique à des variations moins prononcées.



**Figure 42 : Evolution du gradient thermique de la colonne d'eau des stations A et B**

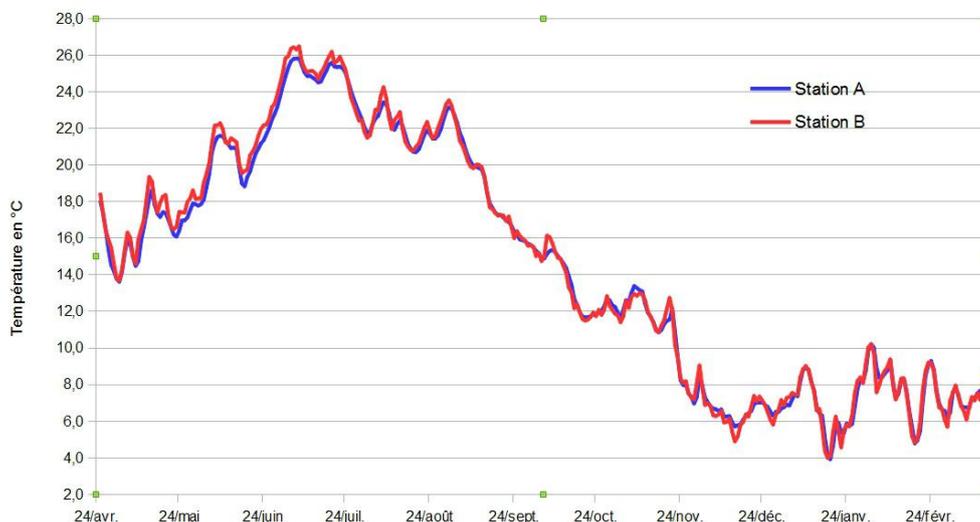
L'analyse des températures moyennes journalières au fond du lac, au droit des deux stations (figure 43), montre bien l'influence du déstratificateur puisque les valeurs les plus fortes ont été enregistrées dans le volume d'eau brassée malgré une colonne d'eau deux fois plus profonde. Cette analyse met en évidence une des conséquences de l'aération, à savoir la répartition de la chaleur par brassage forcé le long de la colonne d'eau aboutissant à son réchauffement par convection. Même si le phénomène est indéniable, il est difficile de quantifier la surchauffe des eaux profondes sans calculer le bilan thermique du lac (Touchart, 2016). Cependant, les données relevées à la station B en donnent une idée : la température de fond de la station A devrait être inférieure à celle de la station B du fait de la plus grande profondeur et de l'instauration de la stratification thermique. Un ordre de grandeur de 2°C apparaît satisfaisant en absence de quantification précise. A l'arrêt de l'aérateur, les températures moyennes journalières du fond de la retenue s'homogénéisent très rapidement. Le brassage naturel des eaux du lac atteint alors toutes les profondeurs de la cuvette.



**Figure 43 : Evolution des températures moyennes journalières au fond de la retenue au droit des stations A et B (avril 2015 - mars 2016)**

Sur la période étudiée, sur près de 83 jours (25,4 %), la température de l'eau de fond est égale ou dépasse les 20°C (1995 données horaires). Plus précisément, elle est comprise entre 20 et 21°C pendant 439 h, 21 et 22°C sur 595 h, 22 et 23°C pendant 352 h, 23 et 24°C sur 323 h et supérieure à 24°C pendant 286 h soit quasiment 12 jours. En surface (figure 44), les températures moyennes journalières confirment l'absence de régionalisation expliquant un comportement thermique naturel. Au début de l'été, la faible inertie thermique de la tranche d'eau peu profonde explique un réchauffement plus rapide de l'eau de surface à la station B. Malgré tout, les moyennes journalières sont similaires à l'échelle annuelle. Le déstratificateur est le seul responsable, par le brassage qu'il impose à l'ensemble de la colonne d'eau, de la propagation des apports calorifiques solaires jusqu'au fond de la retenue : « la modification directe majeure réside dans le fort réchauffement des couches profondes » (Touchart, 2002) et cette modification est « le plus important des effets secondaires indésirables » (Barroin, 1999, p. 111) relevé dans la littérature scientifique. D'ailleurs, ce constat a également été

observé, non loin de Saint-Germain de Confolens, au lac de Mas Chaban en Charente, destiné également, en partie, à l'AEP (Savy, 2006). Cependant, il faut savoir que pour l'AEP, rôle du lac de Saint-Germain de Confolens, les traitements de l'eau sont plus coûteux lorsque sa température est élevée.



**Figure 44 : Evolution des températures moyennes journalières en surface de la retenue au droit des stations A et B**

Pour cause de disparition de la sonde thermique de l'Issoire en aval du barrage, seul le tronçon amont de la rivière a fait l'objet d'une étude thermique. Cependant, une étude antérieure du lac charentais de Mas Chaban (Savy, 2006), équipé d'un destratificateur, permet d'avoir une idée de l'influence d'un tel équipement sur le régime thermique fluvial. En effet, les résultats de cette étude montrent, d'une manière générale, que le lac, destratifié pendant la saison estivale, fournit des eaux chaudes à son émissaire, et la température des eaux augmente progressivement au cours des mois d'été. Ainsi, au lac de Saint-Germain, pour lequel ces résultats sont transposables, si l'Issoire amont a un régime thermique naturel, l'Issoire aval a, au contraire, un régime thermique forcé se traduisant par des perturbations chaudes : les plans d'eau sont une réserve calorifique pour le réchauffement de l'eau des émissaires (Touchart, 2016).

### 3-3 – LES CAUSES EXTERIEURES A LA SITUATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DU LAC

Si les causes ont une origine lacustre liée à la vie du lac ainsi qu'à sa gestion, elles ont aussi une origine externe car le lac n'est pas seulement un milieu qui interrompt un cours d'eau, c'est le maillon d'une chaîne complexe qui est en relation directe avec son bassin versant.

### 3-3-1 – L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU LAC

#### a – La spécialisation du territoire

D'un point de vue général, le bassin versant est une région rurale pour laquelle l'OS est restée sensiblement la même entre 1972 et 2012 : les 3 unités bien représentées sont les prairies, les labours et les espaces boisés (figures 45 et 46). L'évolution de l'OS est cartographiée sur la figure 47.

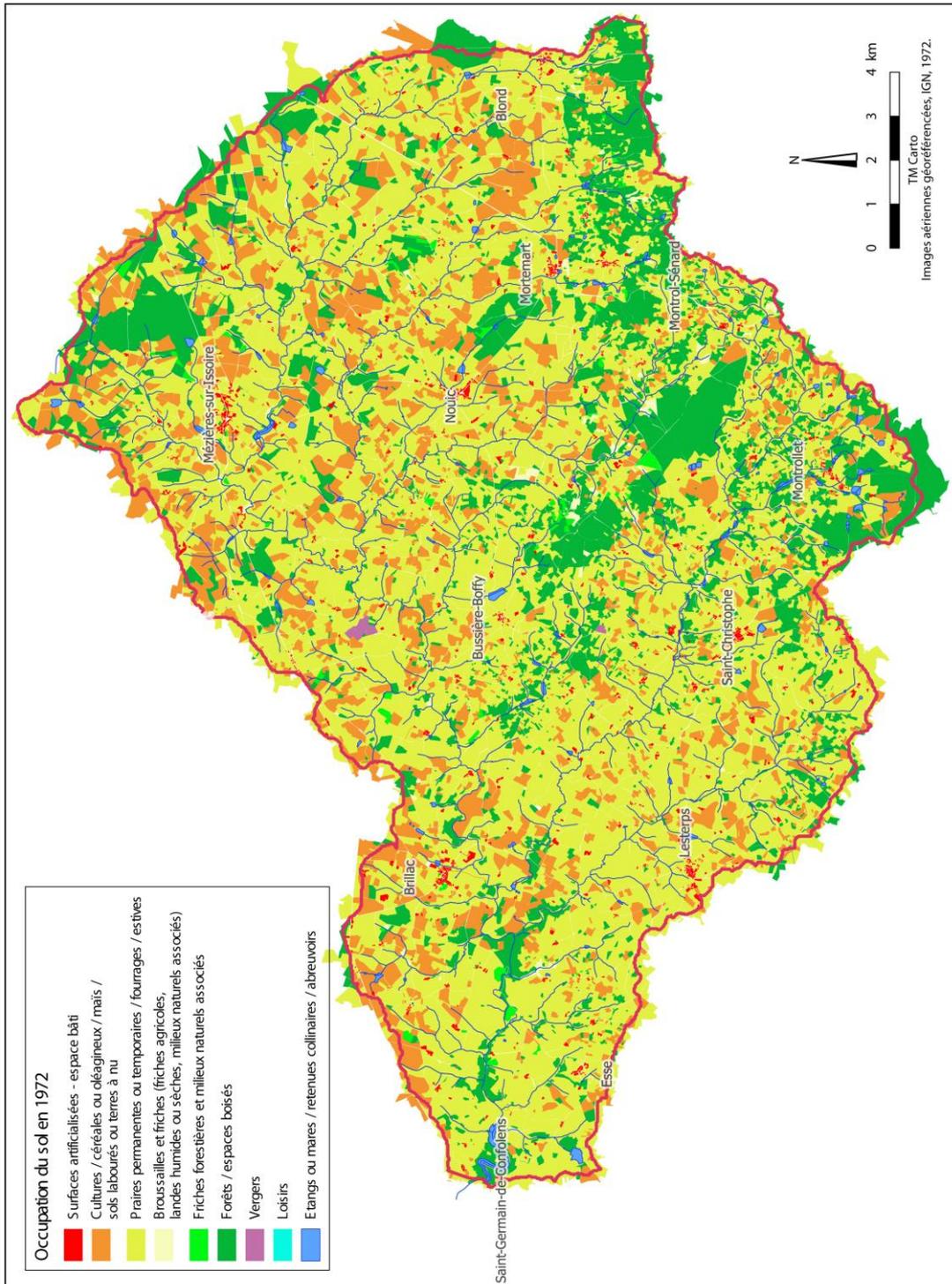


Figure 45 : L'occupation du sol du bassin versant du lac de St-Germain de Confolens en 1972

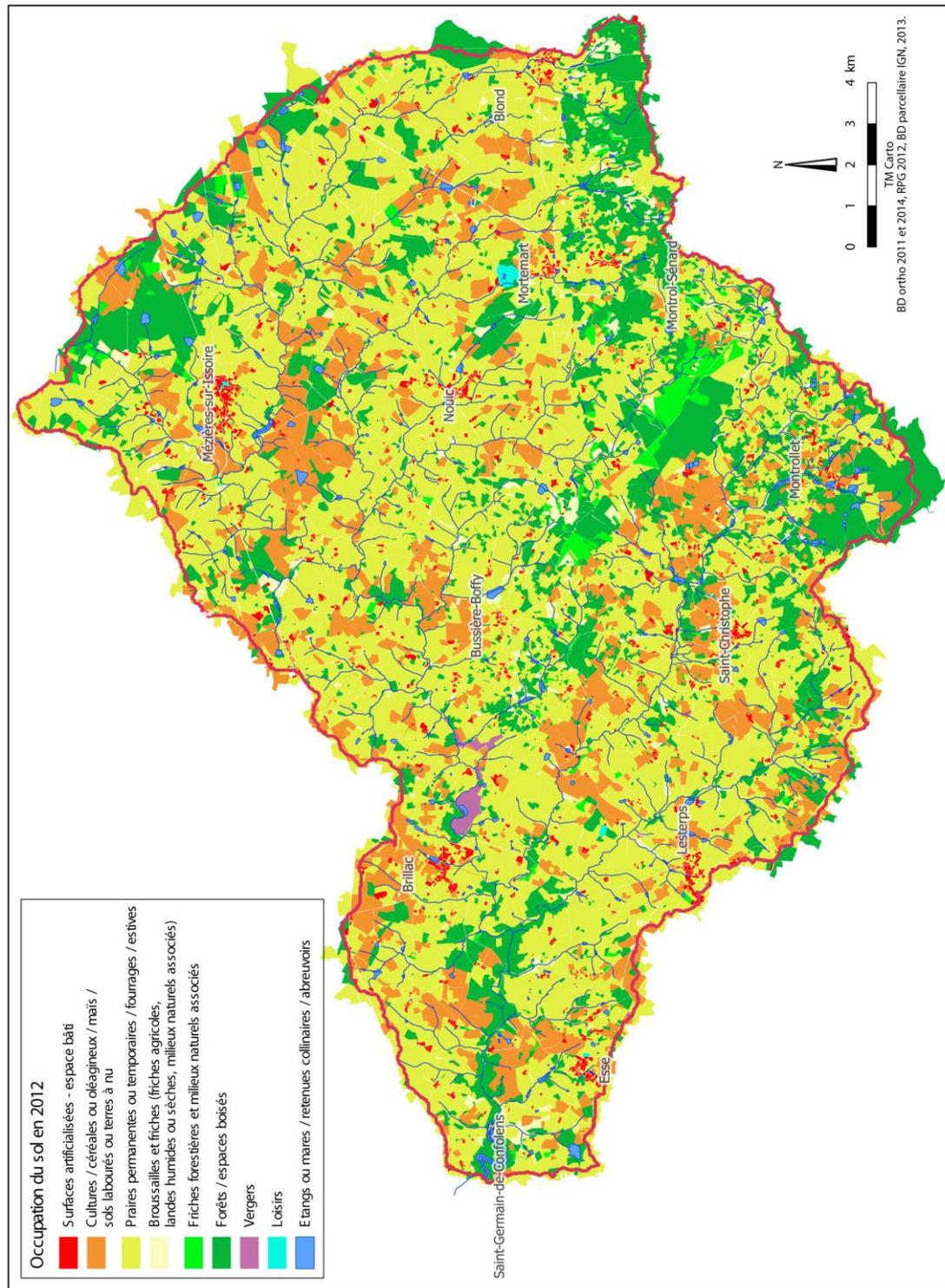


Figure 46 : L'occupation du sol du bassin versant du lac de St-Germain de Confolens en 2012

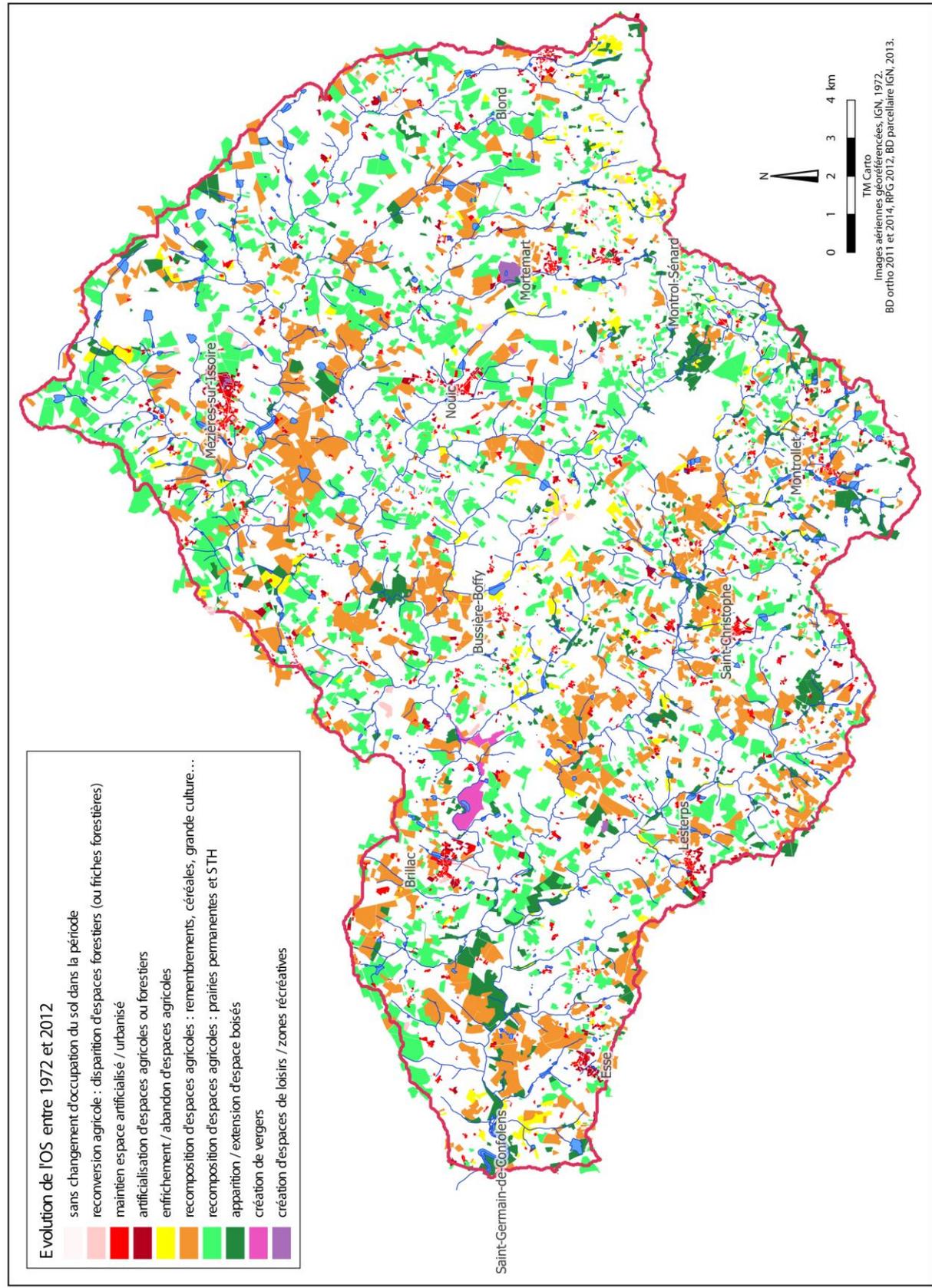


Figure 47 : L'évolution de l'OS du BV du lac entre 1972 et 2012

En 40 ans, les changements se sont opérés principalement en termes de répartition et spécialisation :

- à la création du lac, en 1972, le paysage agricole (hors forêts) était très morcelé tant les parcelles cultivées (principalement pour les céréales) ponctuaient les prairies vouées à l'élevage extensif ovin. Dans ce territoire bocager, la superficie de l'espace prairial dominait à hauteur de 62,66 % tandis que les cultures céréalières représentées à 18,26 % étaient moins étendues que les espaces forestiers (19,22 %). Ceux-ci, bien que disséminés dans l'ensemble du BV, caractérisent surtout le nord, sur la commune de Mézières-sur-Issoire et le sud du BV, entre Montrollet et les monts de Blonds.

- En 2012, l'occupation du sol montre une spécialisation du territoire par regroupement des parcelles favorisé par le remembrement. Ce phénomène de concentration des exploitations agricoles commencé dans les années 60-70<sup>2</sup>, s'est accéléré à partir de 1988 (Maillochaud, 2006) : il ne restait plus que 7 999 exploitations en Charente en 2003 (13 500 en 1988) dont la taille moyenne a progressé (de 29 ha en 1988 à plus de 50 ha aujourd'hui). Ces regroupements fonciers, plus intéressants à exploiter et effectués au profit des céréales (notamment du maïs et du blé), sont par exemple très nets le long de l'Issoire, juste en amont du lac (figure 48) : entre Esse et Brillac, si le fond de la vallée de l'Issoire a été boisé entre les 2 dates, les prairies de 1972 ont, sur les versants et à leur sommet, laissé la place aux labours.

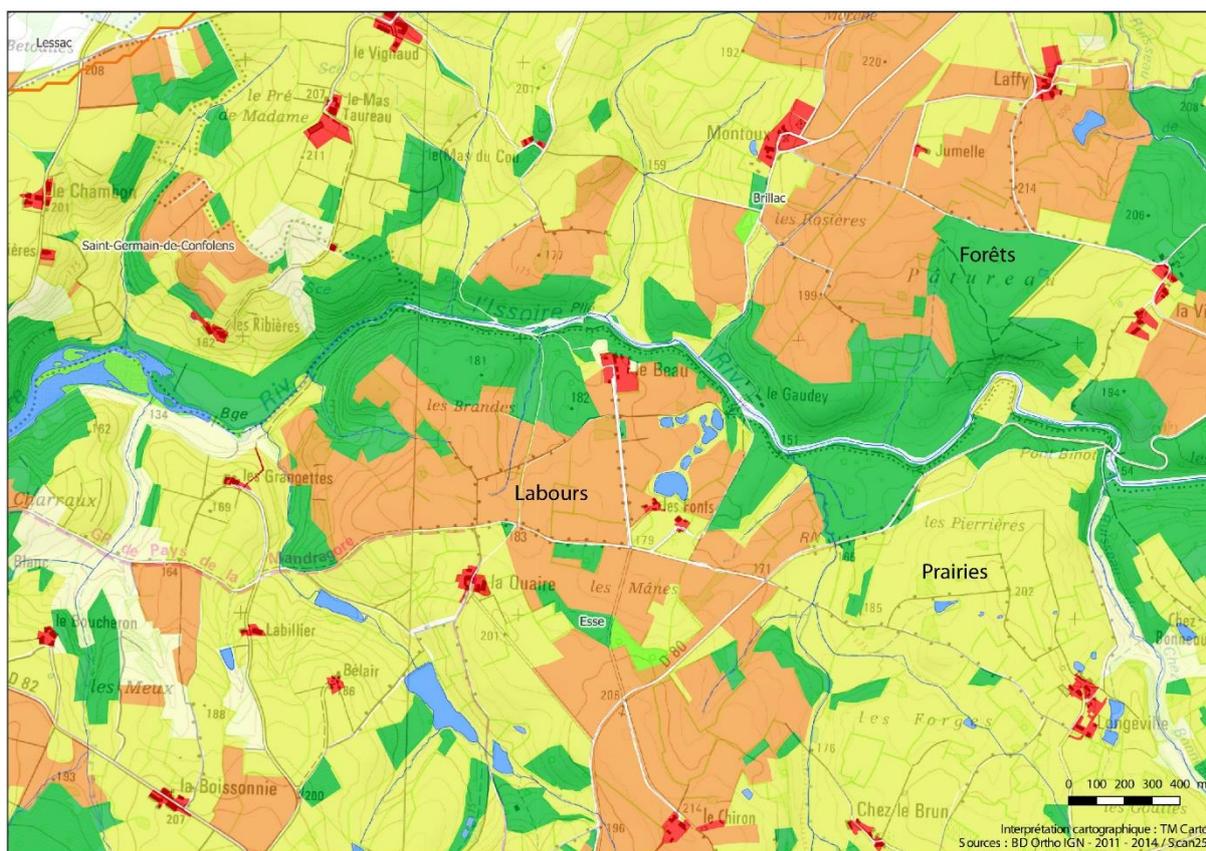


Figure 48 : Détail de l'OS en 2012 : la vallée de l'Issoire en amont du lac

<sup>2</sup> Loi d'Orientation Agricole n° 60-808 du 5 août 1960.

Sur l'ensemble du BV, les pourcentages montrent une diminution négligeable de la superficie des espaces labourés (- 1,51 % soit 16,75 %), et si les prairies destinées à l'élevage extensif<sup>3</sup> restent dominantes malgré une légère baisse avec 59,33 % de la surface (- 3,33 %), les bois et friches forestières ont légèrement progressé (+ 1 % soit 20,22 % pour les forêts ; 1,53 % en 2012 contre 0,54 % en 1972 pour les friches). La dernière caractéristique du BV en 2012 est le nombre considérable de points d'eau recensés de toutes sortes (étangs, mares, abreuvoirs) : en 40 ans, ils sont passés de 210 à 548, soit une augmentation de 88,2 %.

### **b – La disparition significative des haies**

Les résultats de l'étude du linéaire de haies révèlent une diminution significative entre 1972 et 2014, car si à la création du lac, 2 279 km de haies dessinaient les parcelles agricoles, près de 658 km ont disparu en 2014, soit près de 30 % du linéaire de l'ensemble des communes du BV. Les disparitions concernent plus les communes charentaises (33,49 %) que haut-viennoises (29,36 %), et, d'une manière générale, les communes dont le bocage était le plus dense sont celles qui ont perdu le plus long linéaire de haies, du fait principalement des regroupements parcellaires. Cela s'observe aussi bien pour les espaces exploités sous la forme de grande culture que pour ceux où la prairie permanente est dominante. Le maximum a été enregistré à Brillac (Charente) avec 40 % d'arrachage par rapport au linéaire de 1972, le minimum a été observé à Mézières-sur-Issoire, commune plutôt boisée de Haute-Vienne, avec 19,04 %, et où le parcellaire était déjà en partie regroupé et optimisé en 1972.

La Figure 49 représentant la densité des haies par communes (longueur de haies par km<sup>2</sup> de zones communales intégrées au BV) confirme que les communes de Charente, en 1972, avaient plus de haies au km<sup>2</sup> (8,83 à 11,54 km/haie/km<sup>2</sup>) ; cependant, deux communes de Haute-Vienne, Bussière-Boffy (limitrophe de la Charente) et Gajoubert, enregistraient ces fortes densités. Gajoubert et Lesterps (Charente) étaient, en 1972, les communes du BV les plus parcellisées. La carte illustrant les densités en 2014 (fig. 52) comprend non seulement des haies déjà en place en 1972 mais également de nouvelles, créées entre 1972 et 2014. Il apparaît tout de même sur cette carte une diminution de densité pour l'ensemble des communes du bassin versant, faisant disparaître les 2 classes de densités les plus fortes (8,83 à 11,54 km/haie/km<sup>2</sup>) et apparaître une classe de plus faibles densités (3,05 à 4,45 km/haie/km<sup>2</sup>). Lesterps et Gajoubert restent, malgré une diminution (plus forte pour Lesterps), les communes les plus parcellisées au km<sup>2</sup> (7,47 à 8,70 km/haie/km<sup>2</sup>). La 3<sup>ème</sup> carte de la figure 52 matérialisant la seule disparition des haies entre 1972 et 2014, révèle que c'est principalement à proximité du lac, à Brillac, Lesterps et Saint-Christophe, que l'arrachage des haies a été le plus intense (2,11 à 3,19 km/haie/km<sup>2</sup>). Cette évolution apparaît logique en raison des regroupements parcellaires voués aux labours, effectués entre 1972 et 2014, principalement en Charente.

---

<sup>3</sup> L'élevage ovin domine avec plus de 100 000 têtes, suivi de l'élevage bovin représenté avec près de 8 000 têtes (Boulanger, Savy, 2015).

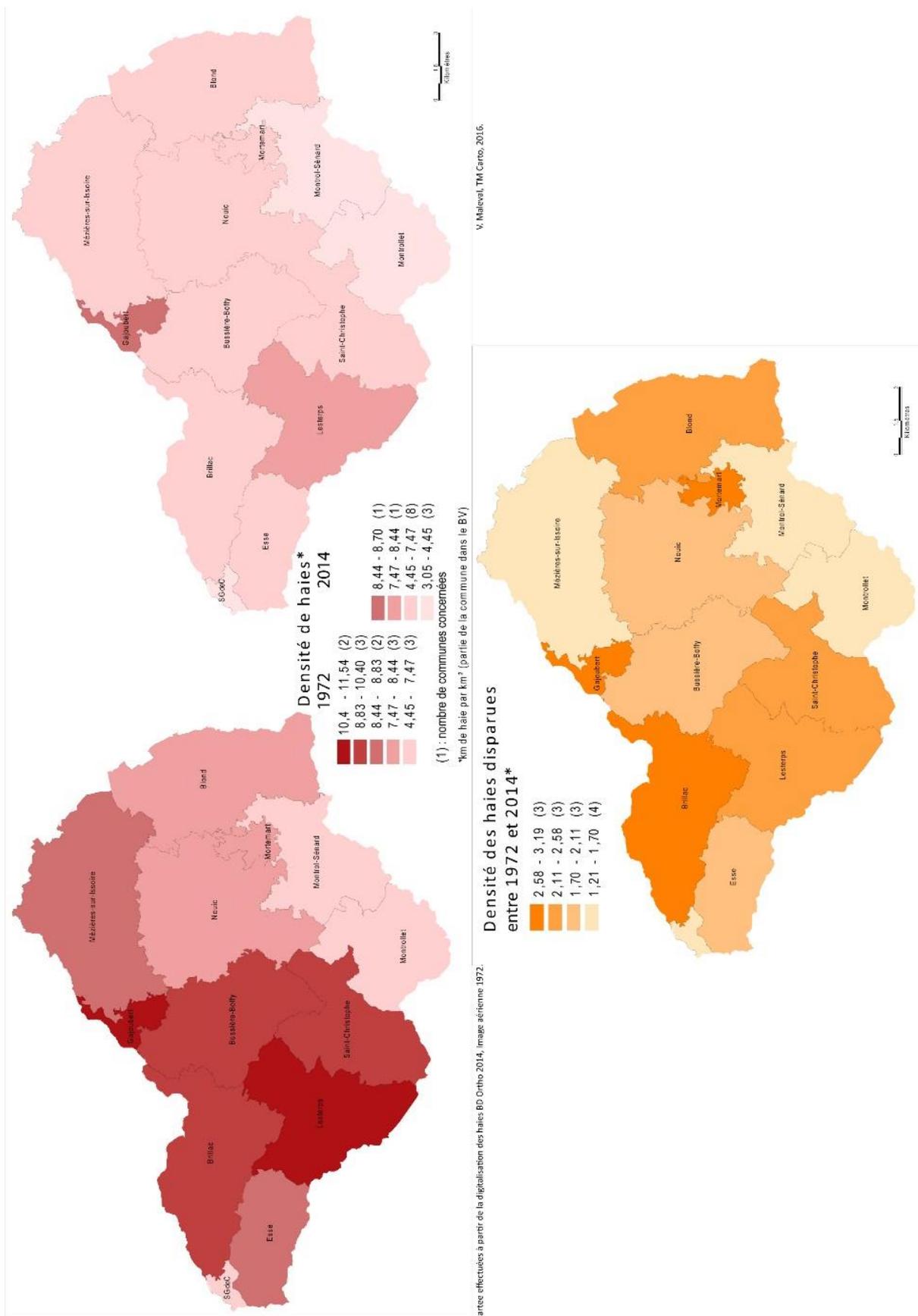


Figure 49 : Evolution de la densité des haies du BV du lac de St-Germain entre 1972 et 2014.

De plus, il convient de noter que sur l'ensemble du bassin, 85 % des haies disparues (83,95 % en HV et 83,05 % en Charente) avaient une réelle efficacité pour contrer l'érosion des sols par leur position plus ou moins perpendiculaire à la pente. Le seul exemple d'Esse est représentatif de la disparition des haies ayant un vrai rôle anti-érosif (tableau 8) : avec une pente moyenne de 3,72°, 88,14 % des haies disparues favorisaient l'infiltration des ruissellements et le piégeage des particules transportées.

<b>Commune de Esse (3006 ha)</b>		
Esse : 1512 ha dans de BV (50,3%)	<b>Longueur (km)</b>	<b>(%)</b>
Longueur totale de haie <b>1972</b>	131,2	
Longueur totale de haie <b>2014</b>	98,75	75,27
Haie disparue (mutation vers la surface agricole)	27,4	20,88
Haie disparue (mutation vers boisements ou friche)	7,89	6,01
<b>Total de disparition / mutation du réseau de haies</b>	<b>35,29</b>	<b>26,90</b>
Recomposition du réseau de haie (haies modifiées, plantation, friche, haie vive...)	2,35	1,79
<b>Position des haies disparues en fonction des écoulements</b>	<b>Longueur (km)</b>	<b>(%)</b>
Haies perpendiculaires à l'écoulement favorisant fortement le ralentissement des ruissellements et l'infiltration des eaux (pmoy=3,76°)	5,18	18,91
Haies favorisant plus ou moins l'infiltration (pmoy=3,69°)	18,97	69,23
Haies parallèles à l'écoulement - indifférentes (pmoy=3,39°)	3,25	11,86
<b>Bilan : pourcentage de haies disparues favorisant l'infiltration</b>	<b>24,15</b>	<b>88,14</b>

Tableau 8 : Les caractéristiques de la disparition des haies sur la commune d'Esse

Les investigations menées dans le bassin versant pour connaître les apports au lac (transferts de nutriments, cyanobactéries...) en témoignent.

### 3-3-2 – L'ISSOIRE, TRIBUTAIRE ET EMISSAIRE DU LAC DE SAINT-GERMAIN

#### a – Les résultats de l'étude estivale des apports du bassin versant au lac

Pour localiser les secteurs du bassin versant vecteurs de matières solides et de pollutions, « substances introduites par l'homme, volontairement ou non », ayant des conséquences nuisibles sur le milieu aquatique et, « en retour sur l'utilisation que l'homme peut en faire » (Hellier et al., 2009, p. 69), le travail de terrain, mené sur la partie aval du BV (principalement charentaise), s'est focalisé sur l'Issoire elle-même ainsi que sur quelques-uns de ses affluents traversant des zones représentatives des différents milieux du bassin versant en termes de population, d'activités ou encore d'occupation du sol. L'origine et la typologie des polluants

les plus critiques à l'heure actuelle, apparaissant dans l'ouvrage *La France. La ressource en eau. Usages, gestions et enjeux territoriaux* (Hellier et al., 2009), sont repris ici pour la présentation des résultats.

- Les analyses montrent que l'Issoire en amont du territoire du SEP (partie haut-viennoise matérialisée par la station / Am de la figure 3), couvrant 52,5 % de la surface totale du bassin (superficie équivalente à celle des affluents étudiés), porte plus de la moitié des flux de matières arrivant au lac : plusieurs contaminants sont présents au-delà de la moyenne, à l'image du phosphore (62 % du total), de l'ammoniaque (74 % du total), du carbone organique (64 % du total, notamment sous forme particulaire) et du plancton (61 % du total).
- D'un point de vue global, sur les 3 campagnes de mesures de l'été 2016, les analyses montrent que la qualité des eaux des affluents est très contrastée (tableau 9), souvent plus dégradée que celle des eaux de l'Issoire :

	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5	D 7	D 8	D 9
<b>% surface du BV</b>	2,5	25,5	54,2	5,9	1,5	0,5	3,1	2,0
<b>% flux (moyenne)</b>								
<b>Fer</b>	3.0	23.5	58.5	8.3	2.4	<b>1.1</b>	1.0	2.2
<b>Mn</b>	2.3	50.8	32.9	6.4	1.6	<b>3.1</b>	0.7	2.2
<b>Azote minéral (DIN)</b>	<b>6.7</b>	<b>10.9</b>	<b>68.5</b>	1.2	1.4	0.3	8.8	2.3
<b>dont NH4</b>	1.4	<b>35.2</b>	36.2	2.5	<b>6.0</b>	1.1	12.2	<b>5.4</b>
<b>NO3</b>	6.9	9.7	70.5	1.1	1.1	0.2	8.4	2.0
<b>NO2</b>	9.9	13.9	19.7	2.2	<b>5.5</b>	<b>3.5</b>	<b>29.7</b>	<b>15.5</b>
<b>Azote organique (TON)</b>	3.8	20.1	51.9	<b>13.4</b>	<b>2.5</b>	1.7	3.3	<b>3.3</b>
<b>Phosphore total</b>	<b>4.7</b>	<b>24.1</b>	35.5	<b>26.9</b>	2.1	<b>1.2</b>	3.7	1.9
<b>dont PO4</b>	11.0	<b>39.5</b>	30.6	5.2	2.3	1.0	8.9	1.6
<b>MES</b>	4.0	18.0	<b>61.4</b>	7.0	2.9	1.0	2.7	<b>2.9</b>
<b>Carbone Organique Total</b>	3.0	27.8	50.5	9.6	2.6	1.3	2.4	2.8
<b>dont CO Dissous</b>	3.1	28.1	50.9	9.5	2.5	1.1	2.0	2.7
<b>CO Particulaire</b>	1.4	25.3	46.1	<b>10.9</b>	3.5	<b>3.3</b>	5.5	<b>3.9</b>
<b>Phytoplancton</b>	0.9	15.0	62.2	8.8	<b>3.6</b>	<b>7.8</b>	0.8	0.9

Tableau 9 : Contributions relatives des sous-bassins aux flux d'éléments apportés vers le lac (moyennes des 3 campagnes : juillet, août et septembre 2016)

En effet, pour la rive gauche,

- le ruisseau d'Esse (G1) porte à lui seul 6,7 % de l'azote minéral (essentiellement des nitrates) et 4,7 % du phosphore total (principalement des PO<sub>4</sub>) alors qu'il ne représente que 2,5 % de la superficie du bassin. Ces apports ont une double origine, l'agriculture et l'assainissement.
- La Courrière (G2) qui représente 25,5 % de la superficie, apporte 10,9 % de l'azote minéral et 35,2 % des NH<sub>4</sub>, ainsi que 24,1 % du P total et 39,5 % des PO<sub>4</sub>. Leur provenance peut être principalement l'assainissement.

- La Marchadaine (G3), avec 54 % de superficie du bassin, apporte à elle seule 68,5 % de l'azote minéral (et 70,5 % des nitrates) ainsi que 61,4 % des MES. En revanche, elle transfère relativement peu de phosphore (35,5 %). L'origine de ces éléments est sans doute majoritairement agricole par le biais de l'érosion des sols nus et du lessivage des engrais.
- Le ruisseau de la Péride (G4), représentant 5,9 % du BV, qui apporte 13,4 % de l'azote organique, 26,9 % du P total (essentiellement particulaire) et 10,9 % du COT, peut être attribué, à la fois, à des effluents d'élevage et à des étangs eutrophes situés en amont (8,8 % du plancton).
- Le ruisseau du Grand Pic (G5), en aval de Bussière-Boffy, est l'un des plus dégradés compte-tenu de sa petite superficie : pour 1,5 % du BV, il transporte par exemple 6 % de nitrites et d'ammoniaque, 2,5 % d'azote organique, plus de 2 % des phosphates et 3,6 % du plancton ; ces valeurs représentent plus du double d'une contribution moyenne. Les origines sont multiples : l'élevage, l'assainissement et la présence d'étangs eutrophes en amont.

Pour la rive droite de l'Issoire,

- si le ruisseau des étangs de Brillac (D7) est caractérisé par la plus petite superficie (0,5 % du BV), il enregistre les plus fortes dégradations, notamment vis-à-vis du fer et du manganèse (3 %), de l'azote (3,5 % des nitrites), du phosphore (1,2 %), de la matière organique (3,3 % du COP), ou encore du plancton (7,8 %).
- Le ruisseau du Bois d'Amont (D8), avec ses 3,1 % du BV, est, en comparaison, de qualité très inégale : pour les deux premières campagnes, il était, tous paramètres confondus, systématiquement de meilleure qualité que les autres cours d'eau, mais, pour la campagne de septembre, à la suite d'un épisode orageux, il a révélé des concentrations élevées (par exemple 29,7 % des nitrites) dont l'origine est, là encore, multiple.
- Enfin, le ruisseau de la Chaise (D9) qui occupe 2 % du BV contribue fortement pour les formes réduites de l'azote minéral (5,4 % de NH<sub>4</sub> et 15,5 % de NO<sub>2</sub>), de l'azote organique (3,3 %), des MES (2,9 %) et du carbone organique (3,9 % du particulaire).

Le tableau 10 synthétise l'origine de ces multiples apports : les cours d'eau vecteurs de matières et polluants au lac de SG, en plus grande quantité au regard de leur surface occupée dans le BV, sont le ruisseau d'Esse (G1), le ruisseau de Grand Pic (G5), le ruisseau des étangs de Brillac (D7) et le ruisseau de la Chaize (D9).

	G 1	G 2	G 3	G 4	G 5	D 7	D 8	D 9
% surface du BV	2,5	25,5	54,2	5,9	1,5	0,5	3,1	2,0
<b>Agriculture</b> (labours – élevage)	●●		●	●	●●	●●	●	●●
<b>Assainissement</b>	●●	●			●●	●	●	●●
<b>Etangs</b>				●	●●	●●		●●

Tableau 10 : Origine des apports au lac de Saint-Germain via les cours d'eau  
(les ●● sont synonymes d'apports plus conséquents)

Ainsi, à l'image de plus de 91 % des eaux superficielles française (Banas *et al.*, 2016), l'Issoire et ses affluents contribuent significativement à la pollution du lac et, même si la partie haut-

viennoise du bassin porte de nombreux éléments perturbants (fer, manganèse, phosphates, matière organique, plancton), deux types de contributions ont été identifiées :

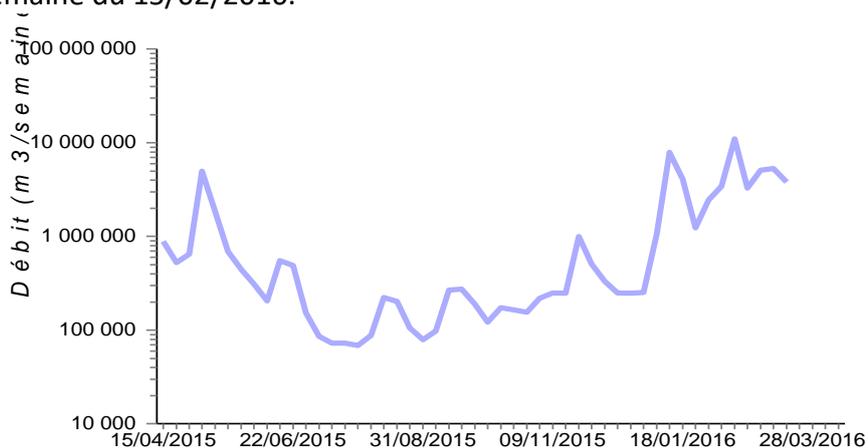
- Les contributeurs majeurs, la Courrière et la Marchadaine, représentent 80 % de la superficie étudiée et 71 % des éléments transportés vers le lac, mais, aucun des deux, lors du suivi (3 campagnes), n'ont transféré d'éléments dans des proportions exceptionnellement élevées. Il s'agit d'un "bruit de fond".

- Les autres contributeurs, les ruisseaux d'Esse, la Péride, le Grand Pic, Brillac, le Bois d'Amont et la Chaize, représentent 16 % de la superficie du bassin, mais 28 % en moyenne des flux d'éléments arrivant à l'Issoire. Dans le détail, leur participation est élevée pour les métaux (16-17 % du fer et du manganèse) et la matière organique (20 % du COT), et est critique pour l'azote (25 % de l'azote organique, 37 % des nitrites), le phosphore (37 % du P total) et le plancton (22 % du total), sans oublier les apports au lac potentiellement toxiques (cyanobactéries) en provenance des étangs.

### **b – Les résultats de l'étude annuelle des apports au lac et des sorties du lac**

Sur une période d'une année, le suivi hebdomadaire des eaux de l'Issoire, en amont et en aval du lac, a porté sur les débits des eaux fluviales, leurs concentrations en MES et en phosphore mais aussi en azote, fer et manganèse. Les résultats permettent de mettre en évidence la dynamique des échanges entre le lac et son bassin-versant.

• Les débits de l'Issoire, mesurés au Pont Binot (sur la commune d'Esse) et réajustés pour un bassin versant de 182 km<sup>2</sup>, ont suivi une dynamique saisonnière classique (figure 50) : décroissants du mois d'avril à la fin juin, avec des cumuls hebdomadaires de 500 000 à 5 000 000 m<sup>3</sup>, les débits sont restés faibles (environ 140 000 m<sup>3</sup>/semaine en moyenne) jusqu'à la fin octobre, avant de regonfler. Cette reprise a été progressive (150 000 à 1 055 000 m<sup>3</sup>/semaine) puisque les mois de novembre et décembre ont été relativement secs. Ce n'est qu'à partir du début du mois de janvier que l'augmentation de la pluviométrie s'est traduite par une élévation des débits hebdomadaires (de 1 à 5 000 000 m<sup>3</sup>), avec une pointe à près de 11 000 000 m<sup>3</sup> la semaine du 15/02/2016.



**Figure 50 : Evolution hebdomadaire des débits de l'Issoire**

• De fait, les flux de MES, susceptibles de diminuer le volume utile des retenues, ont suivi, à l'entrée du lac, les variations saisonnières hydrologiques (figure 51) : les maximales ont été mesurées en période de hautes-eaux, à partir de l'augmentation des débits à la fin du mois de novembre 2015, avec des teneurs comprises entre 630 et 280 tonnes par semaine, lors des crues de janvier et février. Lors de ces épisodes, la différence entre les flux entrant dans le lac et ceux sortant du lac était de 40 à 90 tonnes par semaine. Un stockage s'étant donc effectué, le lac a eu une fonction de rétention des sédiments, fonction généralement admise dans la littérature scientifique lorsqu'un barrage interrompt le continuum hydrologique (Maleval, 2002).

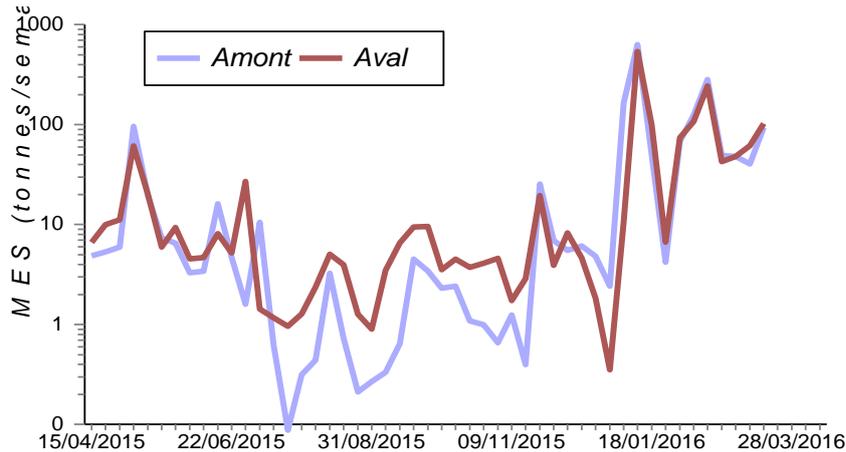
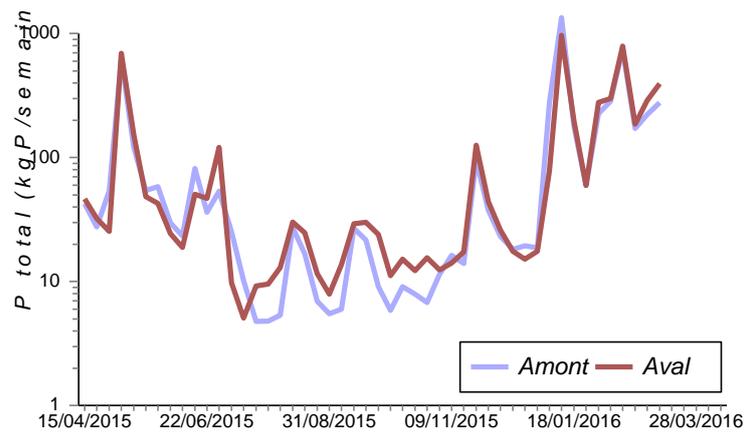


Figure 51 : Evolution hebdomadaire des flux de MES

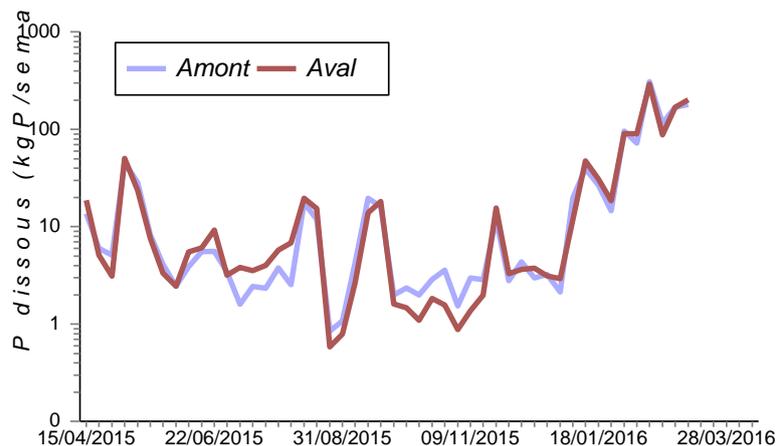
Bien évidemment, les flux de MES entrant dans le lac étaient faibles au cours des périodes de basses-eaux : entre mai et octobre, ils n'étaient que de 3 t par semaine. En revanche, à la sortie du lac, les 6 t par semaine mesurées, indiquent un export, chaque semaine, de près de 3 tonnes de matières organiques (plancton et sédiments fins). Le lac n'a donc pas eu ici sa fonction de rétention des sédiments. La raison tient au fait que Saint-germain-de-Confolens étant un lac artificiel, « les débits, à son exutoire, sont régulés » et cette régulation se fait en fonction des besoins en eau, « et non en fonction de la pluviosité » (Maleval, 2006). Cette caractéristique a déjà été mise en avant dans le lac de Saint-Pardoux en Limousin (Maleval, 2002).

• De la même façon, les flux maximums de Phosphore total (figure 52) ont été mesurés au printemps 2015 (jusqu'à 630-690 kgP la semaine du 04/05) et au cours de l'hiver 2016 (de 740 à 1 300 kgP lors des crues de janvier et février). En période de hautes eaux, les épisodes de stockage (sorties < entrées) étaient fréquents et près de 673 kg de phosphore ont été immobilisés dans le lac au printemps 2015 et en hiver 2016. A l'inverse, les basses eaux (été-automne) étaient caractérisées par un export quasi continu de phosphore total (sorties > entrées) atteignant en moyenne 7 kgP par semaine. Comparé à ce qui est fréquemment observé en Bretagne, ces valeurs sont assez élevées.



**Figure 52 : Evolution hebdomadaire des flux de Phosphore total**

Les flux de Phosphore dissous ont suivi le même type d'évolution que le P total (figure 53) : les maximales ont été mesurées au printemps 2015 et en hiver 2016 ; 45 et 300 kgP transitaient chaque semaine par la retenue. D'une façon générale, le phosphore dissous a une durée de vie très courte dans un lac puisqu'il est adsorbé par les sédiments en hiver et consommé par la flore planctonique en été. Seules des traces de phosphates sont mesurables ponctuellement en cours d'année et le bilan de flux (entrées et sorties) apparaît équilibré. Toutefois, pendant la période la plus chaude de l'été 2015 (de début juin à la fin juillet), l'export de 1 à 4 kgP par semaine, indique que le lac en produisait plus (relargage par les sédiments) que les capacités d'assimilation de la flore. Sur cette période, les concentrations variaient entre 55 et 73  $\mu\text{gP/L}$  en amont et entre 52 et 84  $\mu\text{gP/L}$  en aval alors que pour les autres campagnes, elles ne dépassaient pas 27  $\mu\text{gP/L}$ .



**Figure 53 : Evolution hebdomadaire des flux de Phosphore dissous**

Pour le phosphore particulaire, un pic notable a été observé en janvier (figure 54) : 165,4  $\mu\text{gP/L}$  en amont et 116,4  $\mu\text{gP/L}$  en aval. Le reste de l'année les concentrations étaient comprises entre 14,9  $\mu\text{gP/L}$  et 94,7  $\mu\text{gP/L}$  en amont et entre 25,9  $\mu\text{gP/L}$  et 81,1  $\mu\text{gP/L}$  en aval. En dehors de la période estivale, la retenue exportait du phosphore particulaire, contenu dans la biomasse algale.

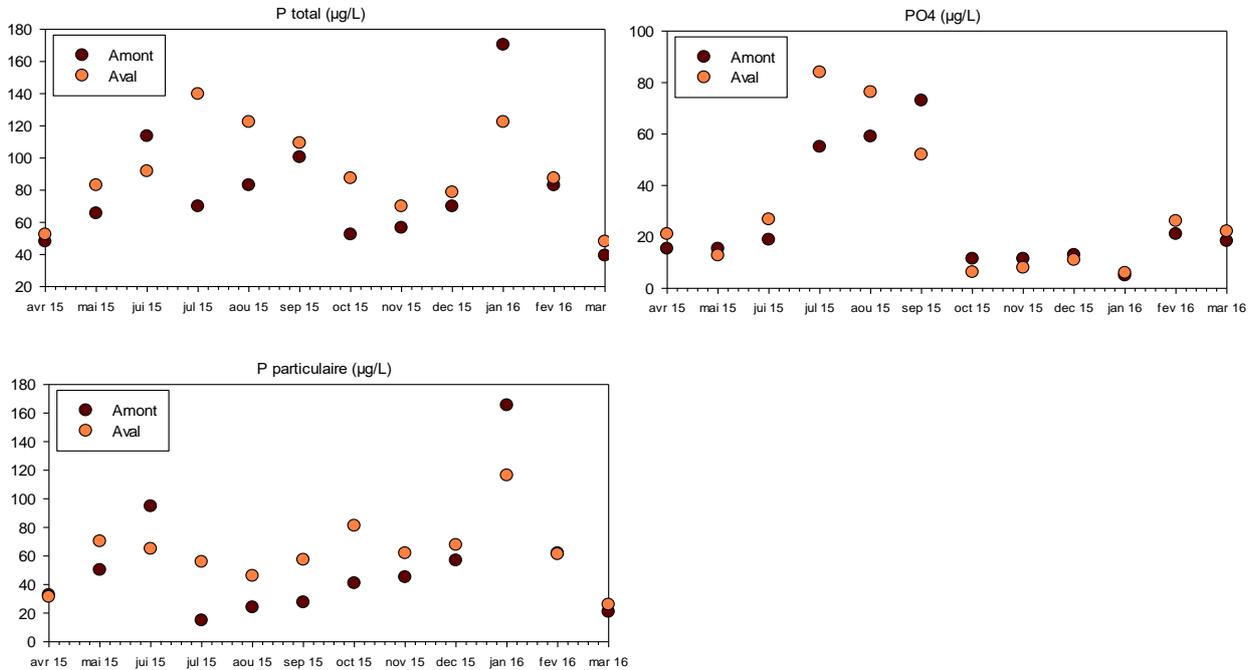


Figure 54 : Evolution des valeurs mensuelles en phosphore (total, dissous et particulaire)

- Pour l'azote, deux formes minérales ont été représentées : les nitrates et l'ammonium (figure 55).

Hormis en septembre où la valeur des nitrates était nettement plus élevée en amont, les teneurs étaient assez similaires en amont et en aval : elles ont légèrement augmenté d'avril à août, puis ont diminué régulièrement jusqu'en novembre pour atteindre un minimum de 2,1  $\text{mgN/L}$  en amont et 1,2  $\text{mgN/L}$  en aval. Après une augmentation rapide de la concentration de novembre à janvier jusqu'à un maximum de 5,9  $\text{mgN/L}$  en amont et 6,3  $\text{mgN/L}$  en aval, il y eut une nouvelle diminution (4,2  $\text{mgN/L}$  dans les 2 stations).

En amont, les concentrations d'ammonium ont été constantes sur l'ensemble du suivi avec des valeurs inférieures à 0,06  $\text{mgN/L}$ . En revanche, en aval, le relargage permet d'expliquer l'augmentation observée d'avril (0,04  $\text{mgN/L}$ ) à juin (0,20  $\text{mgN/L}$ ) ainsi que les teneurs de septembre et octobre. Le pic important de novembre (0,50  $\text{mgN/L}$ ) pouvait être lié à l'exportation de vases par la retenue ou au relargage.

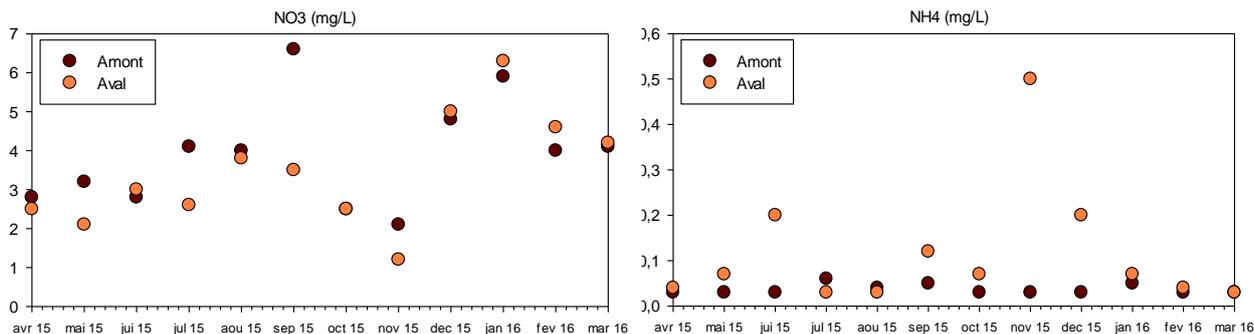


Figure 55 : Evolution des valeurs mensuelles en nitrates et ammoniacque

- Enfin, pour les métaux, Fer et Manganèse, les teneurs dans les lacs sont un indicateur de l'impact des sédiments sur la qualité des eaux (figure 56) et permettent de mettre en évidence d'éventuelles sources de nutriments par diffusions, remises en suspension ou relargages. Les résultats pour le fer ont montré des concentrations généralement supérieures en aval, révélatrices d'un relargage quasi permanent du fer par le lac, et notamment lors de la période chaude. Les teneurs observées variaient entre 629 µg/L (en novembre) et 2770 µg/L (en janvier) en amont et entre 1056 µg/L (novembre) et 2768 µg/L (janvier) en aval.

Pour le manganèse, le relargage a eu lieu d'avril à décembre puis a repris en mars, avec des concentrations comprises entre 27 µg/L (en mars) et 128 µg/L (en juillet) en amont et entre 62 µg/L (en février) et 335 µg/L (en août) en aval.

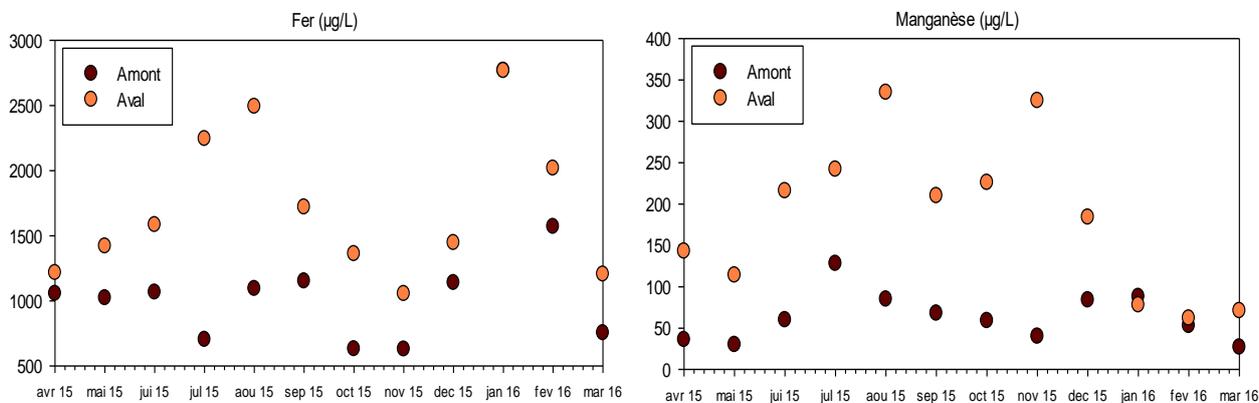


Figure 56 : Evolution des valeurs mensuelles de fer et manganèse

## 4 – DISCUSSION ...

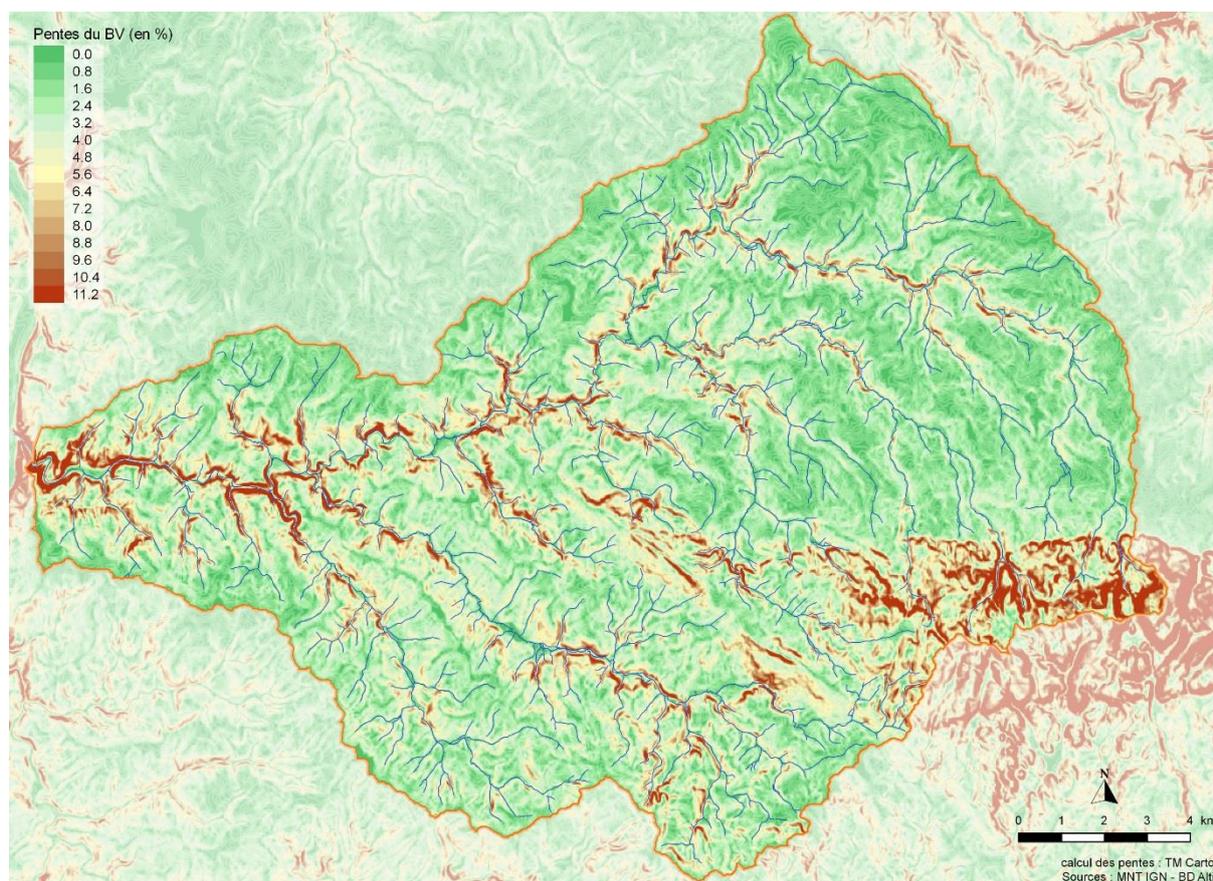
### 4-1 – ... SUR L'OCCUPATION DU SOL

Les restructurations foncières des années 70-80 dans le Confolentais ont pris la forme d'échanges à l'amiable de parcelles, procédures peu contrôlées par les services de l'Etat qui « ont souvent négligé les aspects environnementaux au seul profit des aspects agricoles » (Maillochaud, 2006, p. 8). Si bien qu'elles ont bousculé l'environnement (Mathieu et al., 1989 ; Dérios et al., 1996), car elles se sont accompagnées 1) de la destruction des haies malgré leurs atouts précieux dans la conservation des sols (Liagre, 2006, Hellier et al., 2009), 2) de l'arasement des banquettes et talus nécessaires pour entraver l'écoulement, freiner l'érosion ainsi que pour capter les polluants migrants en surface (Claval, 1998), 3) de la mécanisation qui « a accéléré l'érosion des sols les plus riches » (Maucorps, 1987, Lechevalier, 1992, in Claval, 1998, p. 436), et 4) de l'utilisation abusive d'engrais ayant généralisé les pollutions (Claval, 1998, Savy, 2006, Hellier et al., 2009). « Ces aménagements sont aujourd'hui assimilés dans la mémoire collective comme étant des opérations destructrices en matière de milieux naturels » (Maillochaud, 2006, p. 19). En effet, le remembrement, véritable outil d'optimisation agricole, n'était pas un outil de développement durable. Il faut dire qu'au début des années 1960, le Génie rural qui a incité à la réalisation d'un *Atlas des structures agraires de la France*, n'a pas associé les géographes aux opérations de remembrement (contrairement à ce qui se fit en Belgique), alors que ces profondes transformations relèvent aussi des recherches géographiques et de ses applications, comme l'a écrit Christians de l'université de Liège, dans son ouvrage (1961) sur les *Aspects géographiques de la réorganisation agraire par remembrement en France, aux Pays-Bas et en Belgique* (Phlipponneau, 1999).

L'ensemble de ces caractéristiques a son importance en termes de qualité d'eau et de quantité de sédiments transportés jusqu'au lac de Saint-Germain par le biais du réseau hydrographique, car les pollutions, notamment agricoles, aboutissent inévitablement au lac (Touchart, 1993). Comme le révèlent les analyses d'eau dans le BV, le lac est donc impacté par 3 processus :

- Les labours mettent les sols régulièrement à nu et enclins à l'érosion, particulièrement s'ils sont parallèles à la pente, par l'action des pluies ruisselantes qui transfèrent vers les cours d'eau les particules du sol, ainsi que des composés azotés et phosphorés issus de la fertilisation. Le détachement et le transfert de ces particules (de granulométrie inférieure à 7µm) se fait par écoulement concentré le long des sillons ou par écoulement diffus, le plus souvent à la suite d'épisodes orageux marqués par de fortes intensités, dont une large part finit par rejoindre le lac (Nedjai *et al.*, 2016). Et, en effet, comparée à 1972, l'OS de 2012 montre une concentration des zones les plus sensibles à l'érosion, c'est-à-dire des cultures sur sols labourés dans de petites vallées à forte pente (jusqu'à 11 % -figure 57-), à l'amont immédiat du lac (Brillac, Esse) ou dans sa périphérie proche (Saint Christophe, Bussière-Boffy, vallée du Fraisse), précisément où de nombreuses haies à la fonction anti-érosive en favorisant l'infiltration des écoulements et la filtration des pollutions, ont disparu.
- le transfert direct d'éléments favorisant la dégradation de la qualité des eaux depuis les innombrables étangs, notamment en période de vidange. Ces transferts concernent de la matière organique (phytoplancton, cyanobactéries, vases) et des éléments utilisables comme nutriments par la flore planctonique du lac (azote organique, ammoniacque, phosphates...).

- Le piétinement des troupeaux qui dégrade considérablement les sols en créant des espaces boueux, livre aux rivières, un stock de sédiments mobilisable par les eaux de ruissellement, sans oublier la divagation des animaux dans les rivières qui occasionne des apports de déjection également préjudiciables. Ce processus d'érosion, normalement considérablement réduit depuis les évaluations environnementales Natura 2000 et la loi sur l'eau, est pourtant encore largement observé sur les images aériennes actuelles du Confolentais, à proximité des cours d'eau.



**Figure 57 : Les pentes du BV du lac de Saint-Germain de Confolens**

Si depuis les années 1990, les agriculteurs sont incités à prendre des mesures agro-environnementales<sup>4</sup> (comme changer leurs pratiques culturales ou réduire le temps de dénudation des terres), et notamment pour les terres situées sur des bassins d'alimentation de captages ou des masses d'eau menacées afin de préserver la ressource en eau grâce à une prise en compte de la ressource en sol (MAAF, 2014), il faut savoir que dans les communes confolentaises du BV, ces préconisations n'ont été que peu adoptées. En effet, sur 148 exploitants agricoles recensés dans les 6 communes charentaises, 64 agriculteurs sont engagés dans une MAEC (donnée DDT, 2016), dont seulement 2 ont une MAEC *haies avec plan de gestion* sur les communes de Lesterps, Esse et Saint-Christophe, pour une surface de 137 ha (sur un total de 5 566 ha de terres charentaises en MAEC), et 54 agriculteurs sont en MAEC

<sup>4</sup> Ces mesures sont apparues en 1992 avec la réforme de la PAC sous le nom d'OLAE (Opérations Locales AgroEnvironnementales). Elles ont été remplacées en 2007 par les MAE puis les MAEC en 2014 (Mesures Agro-Environnementales et Climatiques).

*système polyculture élevage*<sup>5</sup>. C'est ainsi, comme cela est observable sur les images aériennes, que maints labours sont encore tracés perpendiculairement à la pente, que de multiples haies ont été arrachées et que des bandes enherbées ne protègent que rarement les cours d'eau à la base des parcelles labourées en pentes. Les statistiques du service d'analyse et d'aménagement du territoire soulignent la faible prise en compte des préoccupations environnementales dans les pratiques des agriculteurs de Charente Limousine. Ainsi, le modèle agricole, malgré la mise en place de mesures agroenvironnementales, ne semble pas évoluer vers de meilleures performances, à la fois économiques et environnementales comme le souhaite la PAC post 2013. Localement, les objectifs environnementaux sont parfois négligés tant ils n'apparaissent pas comme un potentiel de développement.

Ces impacts peuvent être d'autant plus importants que la densité de drainage du BV (Horton, 1932) est faible : 1,81. Cet indice indique un réseau hydrographique peu développé, qui tend à amplifier l'impact des épisodes de pluie. La montée en régime des cours d'eau et les pics de crues sont alors plus rapides, induisant un transport important de sédiments apportés par les sols du BV. En effet, grâce aux volumes connus de sédiments sur la période 1972 – 2015-16, il a été possible d'estimer la dégradation spécifique du bassin versant. Celle-ci, approximative tant certains paramètres sont incertains (exemple de l'évolution de la surface des terres labourées au cours des 40 ans d'existence du lac), donne toutefois une idée de l'ampleur de l'érosion : une épaisseur de plus de 11 cm de terre aurait été entraînée par les eaux pluviales sur les surfaces à nu (tableau 11).

Années	Sédimentation annuelle (m <sup>3</sup> )	Erosion calculée sur les <b>284 km<sup>2</sup> du BV</b> (mm/an) (hauteur moyenne de sédiments érodés)	Erosion calculée uniquement sur les <b>47,58 km<sup>2</sup> de terres à nu du BV</b> (mm/an) (hauteur moyenne de sédiments érodés)
1994 à 2000	24000	0,588	3,528
2001 à 2014	7934	0,392	2,338
2015	17960	0,063	0,377
<b>Erosion moyenne en mm/an</b>		<b>0,048</b>	<b>0,284</b>
<b>Erosion totale sur la période 1972-2012 (en mm)</b>		1,901	11,351

Tableau 11 : Evaluation de la dégradation spécifique du BV entre 1972 et 2012

Par conséquent, les cours d'eau et les lacs sont « une manifestation des paysages qu'ils drainent » (Hynes, 1975 *in* Mitroi et al., soumis) car la source de leur état dégradé est directement liée aux caractéristiques de leurs bassins versants, dont la nature et l'intensité des pressions anthropiques. Ici, l'activité agricole, telle qu'elle est pratiquée, cumulée aux

<sup>5</sup> Les 8 autres agriculteurs ayant une MAEC prairie permanente ou bois n'ont pas de terre enclive à l'érosion.

besoins en eau potable fait apparaître un conflit d'usage. Le cas de Saint-Germain fait penser à la situation de la Bretagne apparue dès la seconde partie du XX<sup>e</sup> siècle. La pollution de l'eau liée à l'élevage industriel et à l'emploi abusif d'engrais et pesticides, a eu des conséquences multiples, notamment sur l'approvisionnement en eau potable. Cet état a conduit le Conseil régional à mettre en place le programme *Bretagne, eau pure*, mené par l'INRA et la faculté des sciences (Phlipponneau, 1999).

#### 4-2 – ... SUR LE BILAN DES FLUX ENTRANT ET SORTANT

La comparaison des flux entrant et sortant de la retenue montre un bilan annuel déséquilibré : pour 1 810 tonnes de MES et 5 440 kg de Phosphore total entrant dans la retenue, près de 200 t de MES et 45 kgP ont été stockées. Le bilan du phosphore dissous est en revanche équilibré, avec 1 300 kgP entrant et sortant du lac. Pour expliquer ces flux, l'hydrologie saisonnière se superpose aux variations des concentrations en phosphore et MES :

- les pics de phosphore total et de MES en période pluvieuse (fin juin et fin septembre 2015, mi-janvier et début février 2016) traduisent l'érosion des sols du bassin versant et l'entraînement du phosphore lié aux particules argileuses.
- Un bruit de fond croissant en phosphore dissous (P.PO<sub>4</sub>), d'avril à fin août, dans la station amont, matérialise l'impact des rejets domestiques dont la dilution dans l'Issoire est de moins en moins efficace au cours de l'étiage.
- Un second bruit de fond croissant en P.PO<sub>4</sub>, d'avril à fin août au point aval, avec des concentrations supérieures à celles de l'amont, correspond aux relargages et à la production interne de phosphore dans la retenue.

En termes de fonctionnement, il est particulièrement intéressant d'analyser la période de basses eaux au cours de laquelle les manifestations d'eutrophisation sont nettes : le lac de Saint-Germain, de la mi-avril à la mi-septembre, a exporté plus de phosphore et de MES qu'il n'en est entré dans la masse d'eau (figure 58). Il est possible de les estimer à un total de 112 kg de P total (pour un flux entrant de 1 300-1 400 kgP) et de 12 tonnes de MES (pour un flux entrant de 195-207 tonnes).

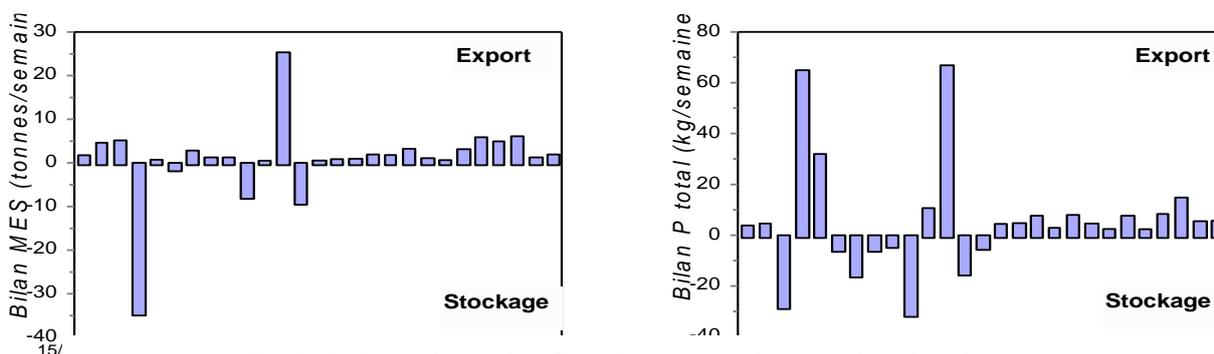


Figure 58 : Bilan hebdomadaire des flux de MES et de Ptotal au lac de Saint-Germain

En parallèle, les stocks internes de la masse d'eau estimés au cours des 4 campagnes de mesures (15/04, 11/06, 27/07 et 16/09) font apparaître que le stock interne du lac était en augmentation jusqu'à la fin du mois de juillet, passant de 30 à 80 kg de P total et de 2,7 à

13 tonnes de MES. Ces bilans de flux et de stockage doivent, pour être équilibrés, être associés à la production interne :

- Le bilan des flux de P total implique une "production" d'environ 140 kg de phosphore pendant 6 mois pouvant être expliquée par les processus de relargage depuis les sédiments et de dégradation des vases organiques. Cette production interne équivaut ainsi à 10 % du flux passant par le lac entre avril et septembre, et à près de 5 fois le stock de phosphore présent dans la retenue au début du printemps.
- Le bilan des flux de MES montre une production interne d'environ 21 t en supplément du flux transitant par la retenue. Là encore, cet excédent de MES correspond à 10 % du flux estimé pour 6 mois, et à près de 10 fois le stock présent dans la retenue à la mi-avril.

Ces excédents de phosphore total et de MES peuvent provenir, en partie, de mouvements sédimentaires particulières (argiles et matière organique) au cours des épisodes pluvieux et orageux, les pluies de la mi-juin ayant porté à la retenue 1 400 000 m<sup>3</sup> d'eau en 3 semaines. Cependant, la majorité de ces excédents provient très certainement de la production de biomasse planctonique dans l'eau lacustre au cours de l'été (figure 59) : le suivi réalisé sur les échantillons hebdomadaires montre que la densité de la flore était systématiquement 2 à 5 fois plus élevée en sortie du lac qu'en entrée.

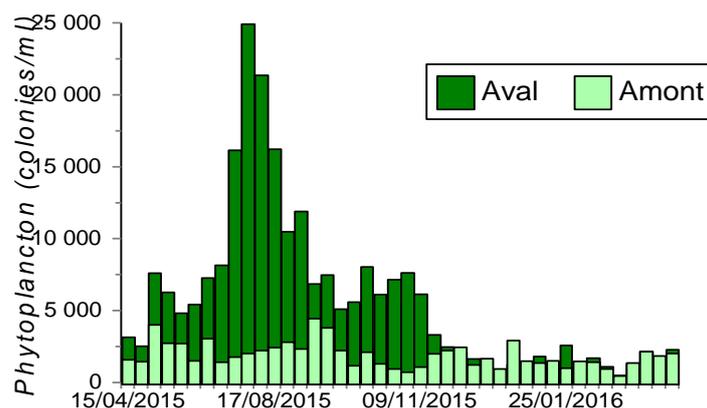


Figure 59 : Effectifs totaux du phytoplancton (tous taxons confondus) en entrée et sortie du lac

Cette production de biomasse, alimentée par les nutriments provenant du bassin versant mais également par les stocks lacustres (azote et phosphore dans les sédiments), contribue à la fois à l'envasement de la retenue et à la dégradation de la qualité des eaux, aussi bien vis-à-vis de la production d'eau potable que de la qualité de la Vienne, en aval du barrage.

De plus, les données obtenues grâce au suivi mensuel de qualité des eaux, en amont et aval de la retenue, permettent d'établir un bilan approché de l'impact du barrage sur la qualité des eaux de l'Issoire, par comparaison des flux entrant et sortant du lac, dans la mesure où des déficits d'oxygénation ont été observés *in situ*, du 15 avril au 10 décembre 2015. Pendant ces 8 mois, près de 16 900 000 m<sup>3</sup> d'eau portés par l'Issoire ont traversé la retenue ; le bilan de flux des principaux éléments apparaît dans le tableau 12.

	<b>Différence (tonnes)</b> <b>(= Sorties – Entrées)</b> + = production interne ; - = stockage interne	<b>Différence</b> <b>(% des intrants)</b>
<b>Fer</b>	+ 7.9	+ 48 %
<b>Manganèse</b>	+ 2.2	+ 264 %
<b>Phosphore Total</b>	+ 0.23	+ 21 %
<b>Phosphore Particulaire</b>	+ 0.20	+ 26 %
<b>Nitrates (N.NO3)</b>	- 2.6	- 21 %
<b>Azote Total Organique (NTK)</b>	+ 4.1	+ 40 %
<b>Carbone Organique Total (COT)</b>	+ 8.0	+ 8 %
<b>Carbone Organique Particulaire (COP)</b>	- 3.2	- 39 %
<b>Phytoplancton (biomasse)</b>	+ 208	+ 342

Tableau 12 : Bilan approché de l'impact du lac de SG sur la qualité des eaux de l'Issoire

Ce bilan est simplifié dans la mesure où d'une part la fréquence des analyses ne permet pas plus de précision, d'autre part, parce qu'il ne rend pas compte des processus internes au lac, tels le relargage et l'assimilation de nutriments par la flore stockée sur place sous forme de sédiments. Cependant, il permet de montrer que les sédiments, malgré l'aération, ont un impact véritablement significatif, en raison des surproductions importantes de phosphore (+ 21 %), de fer (+ 48 %), de manganèse (+ 264 %) et d'azote organique (+ 40 %). Les seuls éléments pour lesquels un abattement est constaté sont les nitrates assimilés par la flore (- 21 %) et exportés sous forme organique (+ 40 %), ainsi que la matière organique particulaire stockée dans les vases.

#### **4-3 – ... SUR LA DYNAMIQUE ET LE BILAN SEDIMENTAIRE**

- Les résultats de l'étude annuelle en continu montrent que les taux de sédimentation cumulés sur le premier semestre (printemps-été) sont particulièrement élevés : de 31 à 34 kg/m<sup>2</sup> dans les secteurs amont et aval, et jusqu'à 41 kg/m<sup>2</sup> dans le secteur central. Puis, la situation s'est rééquilibrée au cours du second semestre (automne-hiver), avec des taux de près de 40 kg/m<sup>2</sup> en amont, 20 kg/m<sup>2</sup> en secteur central et 10 kg/m<sup>2</sup> en aval. Les courbes granulométriques montrent une grande homogénéité de l'amont vers l'aval : même si la station amont se distingue par une fraction plus importante de sables fins (15 à 40 % selon la saison), les 3 stations sont caractérisées par une fraction majoritaire de fines dans la mesure où les limons constituent 65 à 85 % des dépôts.

Ainsi, les valeurs observées au premier semestre sont 5 à 10 fois plus élevées que dans les lacs bretons, où la sédimentation en basses eaux est majoritairement liée à la production de matière organique par le plancton (eutrophisation). Les sédiments déposés pendant les

hautes eaux sont, en comparaison, essentiellement des minéraux et proviennent de l'érosion du bassin versant. Là encore les valeurs mesurées à Saint-Germain sont près de 5 fois plus élevées que dans les lacs bretons, et le cumul sur l'année suivie correspond à un taux de comblement moyen de 11 cm/an.

● La comparaison avec les bathymétries antérieures montre que les taux mesurés en 2015-16 sont similaires à ceux mesurés entre 1994 et 2001. En effet, ces derniers étaient de 24 000 m<sup>3</sup>/an (17 960 m<sup>3</sup> pour 2015-16), alors que ceux pour la période 2001-2015 n'étaient que de 7 934 m<sup>3</sup>/an (figure 60).

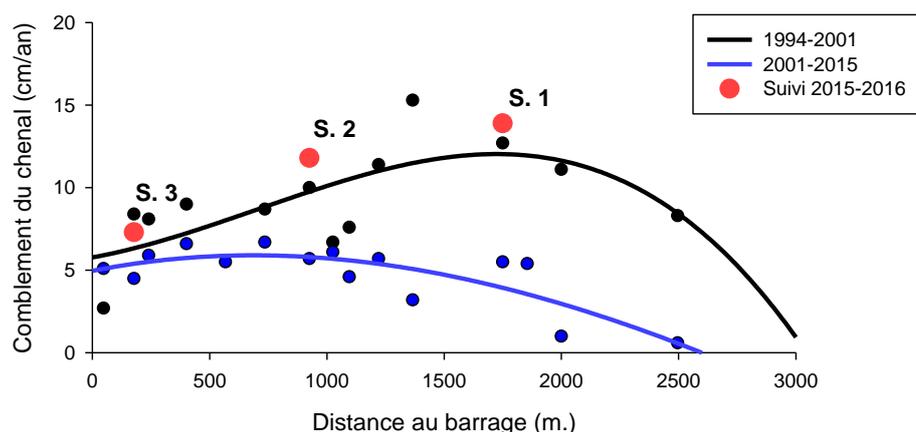
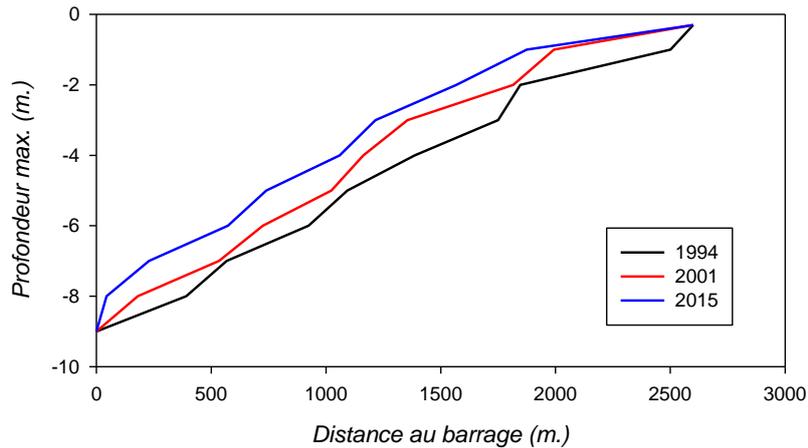


Figure 60 : Evolution longitudinale du taux de comblement depuis 1994 du lac de Saint-Germain

Les taux mesurés par piégeage en 2015, correspondant à des dépôts nets, constituent des maxima absolus. Ainsi, ils ne sont pas représentatifs de la dynamique sédimentaire à long terme d'un lac soumis à des phases d'érosion au sens large, c'est-à-dire 1) de dépôt (lors des étiages, des décrues, des successions d'années sèches), 2) de reprise en charge (au cours des orages, du battillage ou avec la dynamique de fond -courants turbides-), et 3) d'érosion *stricto sensu* (au moment des crues ou des chasses par exemple). De plus, cette étude a eu lieu pendant une année légèrement plus sèche que la médiane hydrologique de la période 2001-2015. Les résultats sont donc relativement représentatifs de la situation moyenne du lac depuis la bathymétrie précédente. Par conséquent, le taux de comblement moyen pour 2001-2015 étant de 7 934 m<sup>3</sup>/an, il est possible de considérer que les 17 960 m<sup>3</sup> déposés en 2015-2016 (dans les pièges) représentent près de 8 000 m<sup>3</sup> de dépôts "définitifs" et qu'environ 10 000 m<sup>3</sup> sont exportés chaque année de la retenue à l'occasion des crues et du soutirage par les vannes de fond de l'eau. Cet export, qui limite le taux d'envasement effectif de la retenue, se traduit par exemple par des courants turbides.

L'évolution de la profondeur du chenal, obtenue par comparaison avec les bathymétries précédentes (figure 61), est intéressante car elle montre que la sédimentation était préférentiellement localisée en secteur amont entre 1994 et 2001, avant de se déplacer vers l'aval au fur et à mesure du comblement et de l'atterrissement du delta de l'Issoire.



**Figure 61 : Evolution longitudinale de la profondeur du chenal depuis 1994 dans le lac**

L'emballement de la sédimentation depuis 1994 ne peut certainement pas être expliqué uniquement par des facteurs hydrologiques. L'origine de cette accélération peut être liée à plusieurs facteurs conjugués : entre autres, les modifications de gestion hydraulique de la retenue, l'augmentation des stocks de nutriments dans le lac et l'emballement des processus d'eutrophisation, les modifications de l'usage des sols et des pratiques agricoles dans le bassin versant, comme cela a été vu.

Les zones de sédimentation active sont donc en cours de déplacement vers l'aval de la retenue (figure 62) : si les taux de comblement maxima, entre 1994 et 2001, pouvaient atteindre 8 à 12 cm/an en amont du lac, depuis, ils sont plus faibles (de 4 à 6 cm/an) et surtout concentrés au centre du lac, puis en aval. Ce phénomène se traduit par une épaisseur de sédiments plus élevée dans le lit originel. Un point important doit être souligné : si la vitesse de comblement du lac s'est accélérée à partir de 1994 pour se stabiliser depuis 2001, les mesures réalisées en 2015-16 montrent que le taux de sédimentation brut est toujours aussi important. De fait, seul l'état actuel de comblement du lac, en accélérant le passage des crues et en amplifiant l'exportation d'une partie des sédiments, permet de maintenir un taux de sédimentation stable, estimé à 7 934 m<sup>3</sup>/an.



**Figure 62 : Schématisation de la progression vers l'aval des zones de sédimentation active**

Si le suivi de la sédimentation abyssale permettra véritablement de connaître son évolution, les caractéristiques morphométriques (volume d'eau de 442 357 m<sup>3</sup> et taux de comblement annuel de 7 934 m<sup>3</sup>) donne une espérance de vie au lac de 55 ans, soit un comblement total vers 2071. En 2001, la précédente bathymétrie concluait à un envasement total du lac aux environs des années 2030 (M. LE SAOUT, 2001). Ce résultat a conduit la société réalisatrice de cette bathymétrie, à proposer au gestionnaire du lac, en 2010, la déconstruction du barrage de Saint-Germain-de-Confolens sur l'Issoire (Granjean, 2010). Cette proposition était appuyée par la présence de divers outils de gestion des rivières comme la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000), la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA, 2006), la mise en œuvre des Trames Verte et Bleue liée au Grenelle de l'environnement (TVB, 2009), le Plan national d'Action pour la Restauration des Cours d'Eau (PARCE, 2010), qui préconisent la restauration de la continuité écologique des cours d'eau (en particulier piscicole et hydrosédimentaire), pour l'amélioration de leur qualité (Lespez *et al.*, 2016 ; Lespez *et al.*, 2015 ; Germaine *et al.*, 2013a). Cependant, outre le fait que le SEP n'ait pas donné suite à cette proposition, des géographes ont montré et exposé (Germaine *et al.*, 2013b ; Germaine *et al.*, 2014 ; Bravard, 2016), que ces opérations pour la restauration des cours d'eau sont très controversées tant elles sont synonymes de bouleversement des paysages et du cadre de vie mais aussi du fonctionnement des milieux en termes, notamment, d'hydro-géomorphologie et biologie (Lespez, 2012 ; Lespez *et al.*, 2013 ; Lespez *et al.*, 2016). Elles sont alors généralement un échec à l'image, dans la Manche, du projet de démantèlement du barrage du Vezins sur la Sélune (Germaine *et al.*, 2017).

- Les deux origines de sédiments existantes dans un lac (origine allochtone issue des tributaires et origine autochtone provenant des marges et de la vie biologique) ayant été calculées au cours de l'étude, il est possible de connaître le bilan sédimentaire du lac de Saint-Germain (Maleval, 2006). En effet, les apports annuels de l'Issoire ayant été estimés à 3 755 m<sup>3</sup> (suivi hebdomadaire des MES), les apports des marges à 8,4 m<sup>3</sup> (volume érodé du littoral) et les apports biogènes à 524 m<sup>3</sup> (suivi hebdomadaire du plancton qui entre et sort du lac comparé au suivi mensuel du plancton à l'intérieur du lac), le bilan sédimentaire annuel serait de 4 287,4 m<sup>3</sup>. Toutefois, ce résultat est éloigné de celui du comblement annuel estimé à 7 934 m<sup>3</sup> (taux moyen entre 2011 et 2015). La différence provient essentiellement de 2 paramètres : l'échelle temporelle (bilan effectué avec les données récoltées sur l'année d'étude alors que le volume de comblement est une moyenne sur 5 ans) et les limites des méthodes utilisées comme la non évaluation des transports fluviaux par saltation ou charriage, la sous-estimation du volume littoral érodé ou encore la réduction des apports biologiques au seul phytoplancton. Ainsi, plutôt que des chiffres, il convient de voir ce bilan en termes d'ordres de grandeur (figure 63) montrant la prédominance des apports du bassin versant (87,58 %). L'ordre de grandeur des apports biogènes calculé à 12,22 %, est confirmé par le pourcentage moyen annuel de la MO, à savoir 11,33 % (moyenne des mesures de MO, par la perte au feu, des sédiments récupérés dans les sédimentomètres) ; il convient ici de mentionner que dans une précédente étude (Maleval, 2006), les pourcentages de MO avaient déjà confirmé le pourcentage des apports biogènes qui, pourtant, n'avaient pas été mesurés (donnée manquante dans l'équation du bilan). Ainsi, réduire les apports biologiques à l'étude du seul phytoplancton donne un résultat convenable. Par conséquent, pour expliquer la

différence entre le bilan sédimentaire et le comblement annuel, il reste 2 variables. Mais, puisque l'érosion littorale, même sous-évaluée dans ce bilan, est marginale (cf. observations et résultats littoraux), il semblerait fortement que la variable sous-évaluée du bilan soit les apports de l'Issoire, non des MES puisqu'elles ont été mesurées, mais des sédiments arrivant par les processus de saltation et de charriage. Cette hypothèse est confirmée non seulement par le grand développement du delta de l'Issoire mais également par la proportion non négligeable de sables (de 20 µm à 2 mm) récupérés dans les sédimentomètres (jusqu'à 40 %). Ainsi, si pour certains lacs, en fonction de leur environnement et de leur fonctionnement, l'évaluation des apports allochtones par les seules MES est justifiée (Forel, 1892, Collet, 1925, Fournier, 1960), pour d'autres comme Saint-Germain de Confolens où le bassin versant est caractéristique, il peut être nécessaire de mesurer les autres modes de transport fluvial. De même que si pour certains lacs comme Saint-Pardoux en Haute-Vienne, les apports littoraux peuvent représenter près d'un tiers des apports totaux (Maleval, 2006), pour d'autres comme Saint-Germain-de-Confolens, ce n'est pas le cas. Cette énorme différence qui peut surprendre, dans le sens où ces deux lacs ont sensiblement le même âge et sont dans des conditions environnementales semblables (géologie, géomorphologie et climat), est le fait de la morphométrie lacustre caractéristique du lac de Saint-Germain. En effet, sa forme en plan longiligne à forte sinuosité et sa faible largeur ne permettent pas aux vents dominants de directions très différentes d'avoir un fetch important à la surface du lac, et donc d'initier une vive érosion littorale.

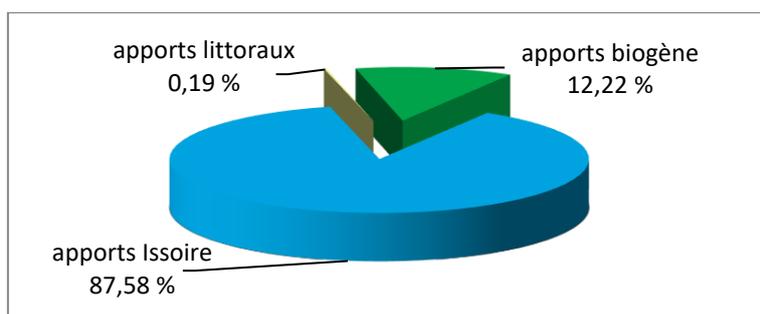


Figure 63 : L'origine des sédiments du lac de Saint-Germain de Confolens

Ainsi, l'envasement de la cuvette de Saint-Germain-de-Confolens étant principalement le fait des apports allochtones, il est juste de dire que le bassin versant exerce une pression tyrannique sur ce lac à vocation d'alimentation en eau potable. Cette conclusion, ajoutée à l'absence de sédimentation littorale et à la répartition caractéristique de la sédimentation abyssale, sont bien le résultat du fonctionnement hydrodynamique, de la superficie et de la géomorphologie du lac, en lien avec les apports de l'Issoire issue d'un vaste bassin versant. L'influence potamologique dans le fonctionnement lacustre est donc très forte.

#### **4-4 – ... SUR LA QUALITE DES EAUX**

A partir de la base de données OSUR de l'Agence Loire-Bretagne (AELB), les principales caractéristiques du lac de Saint Germain, déterminées au cours de cette étude, ont été comparées à un ensemble de 48 lacs situés en régions Centre et Limousin (au contexte

climatique et géochimique similaire) ainsi qu'en Bretagne (au contexte eutrophe et à la morphologie proche de celle de Saint-Germain).

#### 4-4-1 – Nutriments et biomasse planctonique

● Pour la masse d'eau du lac de Saint-Germain, la charge organique est relativement faible (figure 64) : constituée par les formes organiques de l'azote et du carbone (NTK et COT), elle correspond essentiellement à la production interne du lac pendant la belle saison, c'est-à-dire que les nutriments sont stockés sous forme de biomasse planctonique. Une biomasse planctonique relativement basse pourrait provenir d'une disponibilité limitée en nutriments, mais ce n'est pas le cas : parmi les 48 plans d'eau représentés, le lac, moyennement riche en nitrates ( $\text{NO}_3$ , forme de l'azote la plus couramment assimilée par le plancton) est le second lac le plus riche en phosphates ( $\text{PO}_4$ ). Ainsi, compte-tenu des concentrations relevées en  $\text{NO}_3$  et  $\text{PO}_4$ , la disponibilité des nutriments ne paraît poser aucune limitation pour la croissance de la biomasse, et le rapport entre azote et phosphore indique un milieu particulièrement favorable aux proliférations de cyanobactéries.

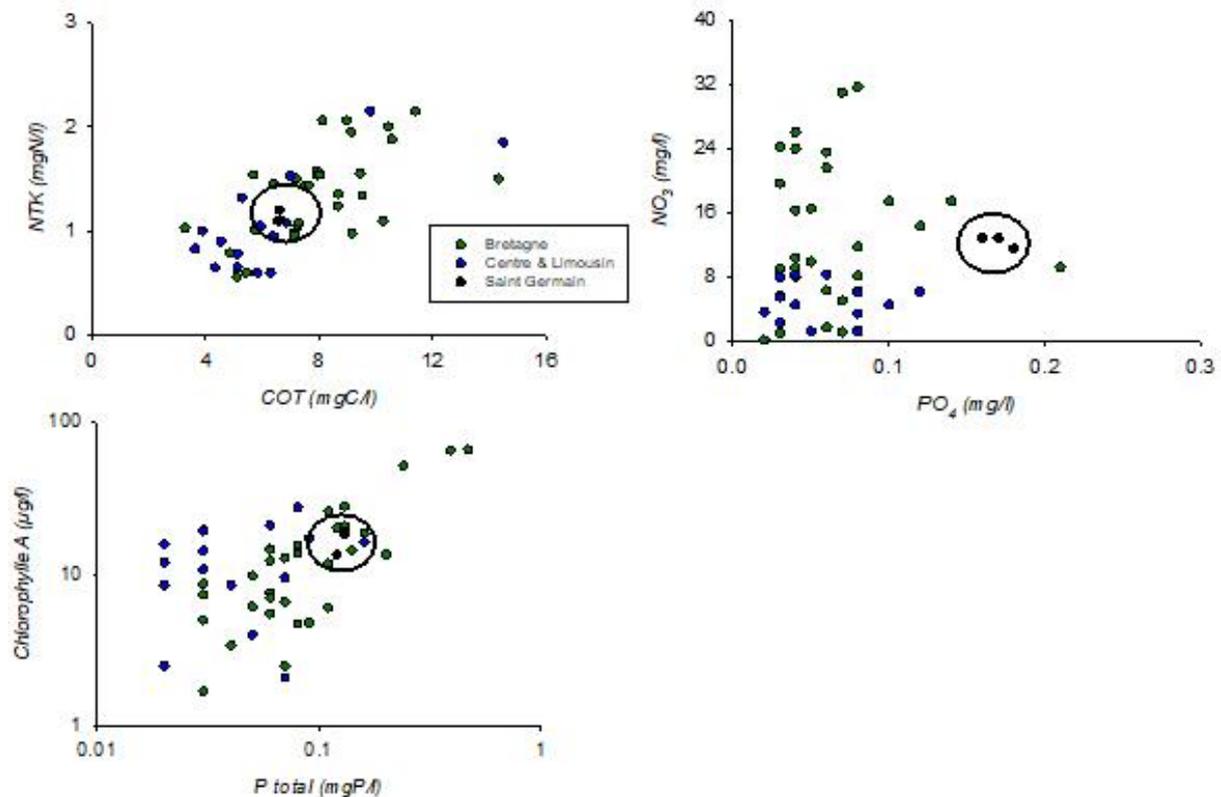


Figure 64 : La qualité de l'eau du lac de Saint-Germain par rapport aux lacs bretons et limousins

Pourtant, le lac de Saint Germain se trouve au 12<sup>ème</sup> rang en termes de biomasse de phytoplancton (matérialisée par les teneurs en chlorophylle A). Les concentrations en P total, fixé dans la biomasse, sont de plus très proches de celles de  $\text{PO}_4$ , indiquant qu'une part importante des nutriments n'est pas assimilée. Cela se traduit par une biomasse plus faible que celle qui devrait être observée dans le lac : les valeurs de chlorophylle A attendues dans ce contexte devraient être comprises entre 50 et 100  $\mu\text{g/l}$  (et non entre 10 et 20  $\mu\text{g/l}$ ).

- Les sédiments lacustres, comparés à la masse d'eau, sont étonnamment pauvres en nutriments (figure 65) notamment en phosphore et en matière organique : quel que soit le paramètre, ils figurent parmi les 20 % les plus faibles de l'ensemble des 48 autres lacs. Les sédiments de Saint-Germain sont donc principalement détritiques, corroborant ainsi les observations sur la production interne de biomasse (faible à 12,22 %). Un paramètre peut expliquer ce constat : l'aération artificielle. En effet, en assurant le renouvellement de l'oxygène dissous, elle facilite la minéralisation de la matière organique et accélère le recyclage du phosphore et de l'azote, retournant ainsi vers la masse d'eau au lieu d'être immobilisés ou stockés dans les sédiments. En ce sens, les teneurs en N, P et COT mesurées à Saint Germain sont similaires à celles observées dans les 5 retenues bretonnes équipées d'aération pulsée.

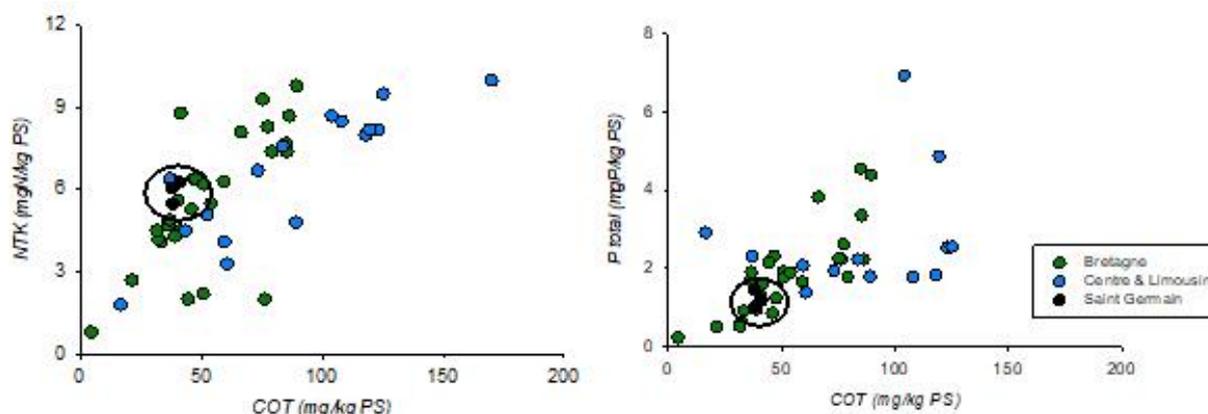


Figure 65 : Qualité des sédiments de Saint-Germain comparée aux lacs bretons et limousins

#### 4-4-2 – Aération et qualité des eaux

Les relevés trimestriels révèlent une masse d'eau en fort déficit d'oxygénation, avec les conséquences attendues sur la qualité chimique des eaux et le phytoplancton.

La première campagne (figure 66) a montré que la retenue a été stratifiée dès le mois d'avril, avec un écart de 6,1°C entre le fond et la surface dans le méandre aval, et de 4°C sur près de 1 km de long. Dans le même temps, les concentrations en oxygène dissous étaient à la fois en sursaturation en surface (110-120 % : activité du phytoplancton) et en fort déficit au fond. Les taux de saturation en profondeur atteignaient ainsi moins de 50 % sur 17 % de la surface des fonds (méandre aval) et moins de 70 % sur 25 % du fond du lac. Ces 25 % qui s'étendent depuis le barrage jusqu'à l'extrémité amont de la ligne d'aération, sont restés soumis à de forts déficits pendant tout l'été (figure 67) malgré l'aération pulsée. Ils sont responsables de l'essentiel des relargages mis en évidence par les analyses et le bilan de flux. D'avril à septembre 2015, ces déficits d'oxygène ont pu être observés dans l'ensemble du lac, y compris le long des rampes d'aération. Ils se sont traduits par des relargages de fer (de 1,9 à 4 mg/l en profondeur), de phosphore (de 120 à 190 µgP/l) et d'ammoniaque (de 0,2 à 0,3 mgN/l), autant de nutriments utilisés par la flore planctonique pour alimenter sa croissance. Cette production planctonique s'est traduite par un export estimé à 110 tonnes de biomasse fraîche entre avril et septembre 2015, soit 15 à 20 % du flux de MES (en poids sec) sortant du lac.

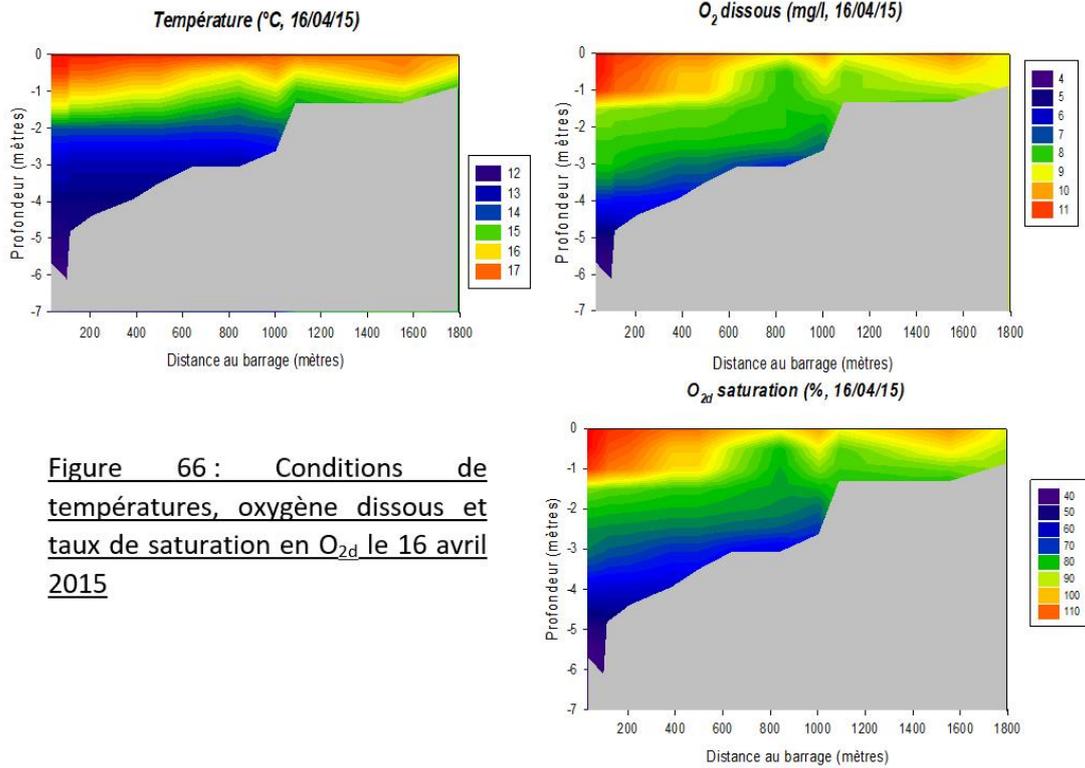
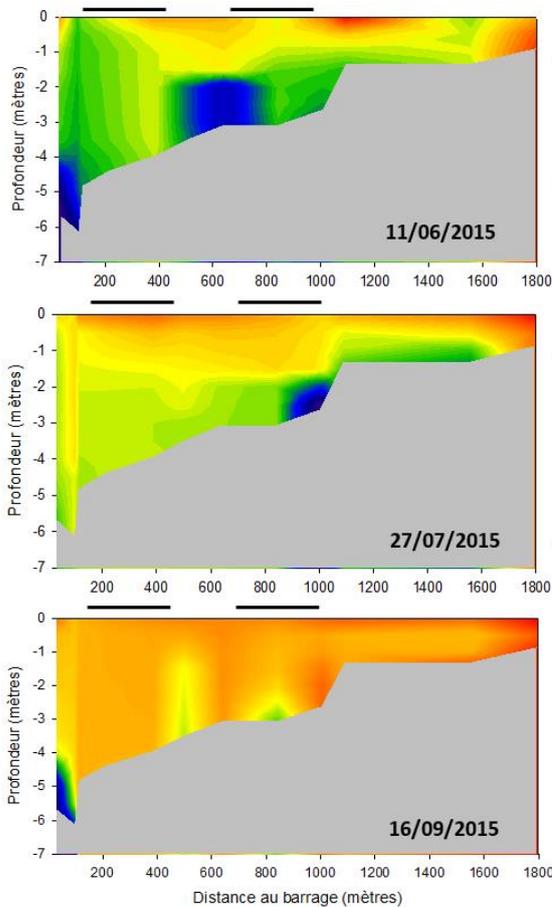


Figure 66 : Conditions de températures, oxygène dissous et taux de saturation en O<sub>2d</sub> le 16 avril 2015



La position des deux rampes d'aération est matérialisée par les traits noirs horizontaux situés au-dessus des graphiques. Mesures réalisées sur 13 profils verticaux par campagne.

Figure 67 : Distribution des taux de saturation en O<sub>2</sub> dissous dans le lac pendant la période de fonctionnement du déstratificateur

De la même façon, des sous-saturations significatives (65-70 %) ont été mesurées pendant les campagnes d'hiver (12/2015 et 03/2016) dans le tronçon aval du lac. Elles peuvent expliquer une partie des pics de fer, de manganèse et d'ammoniaque observés jusqu'au 15/12/2015.

Les relargages sont issus de la dégradation et de la minéralisation des stocks de vases et de matières organiques présents dans la retenue. Les processus en jeu peuvent être d'origine chimique (réduction des oxydes de fer) ou biologique (activité bactérienne). Mais dans tous les cas, ils sont activés par des températures croissantes et consomment d'autant plus d'oxygène que la température est élevée.

L'aération forcée doit pallier cette consommation d'oxygène en forçant des courants de convection de la masse d'eau du fond vers la surface, de part et d'autre du rideau de bullage. Une aération efficace se traduit alors par une colonne d'eau de température identique sur toute sa hauteur (homothermie) ; l'absence de gradient thermique entre le fond et la surface garantit un brassage homogène et continu, donc un rendement optimum de l'installation.

L'examen des données issues de l'étude thermique en continu illustre parfaitement l'étendue des gradients thermiques entre le fond et la surface de la masse d'eau. Dans le tronçon amont du lac, sans aérateur (figure 68), les différences de températures sont minimales chaque jour en début de matinée entre 6 et 10 h. Elles augmentent ensuite graduellement pour culminer en fin de soirée avec des écarts atteignant au maximum 5 à 6°C à la fin du mois de juin et au début de juillet. La masse d'eau refroidit progressivement pendant la nuit mais des écarts de 2 à 3°C peuvent se maintenir jusque vers 4h. Dans ces conditions, pour la période de fonctionnement de l'aération (01/05-22/10/2015), l'homothermie permettant le brassage efficace des eaux ne représentait, dans le secteur amont, que 16 % du temps, alors que des écarts compris entre 2 et 6°C étaient mesurables dans 43 % des cas.

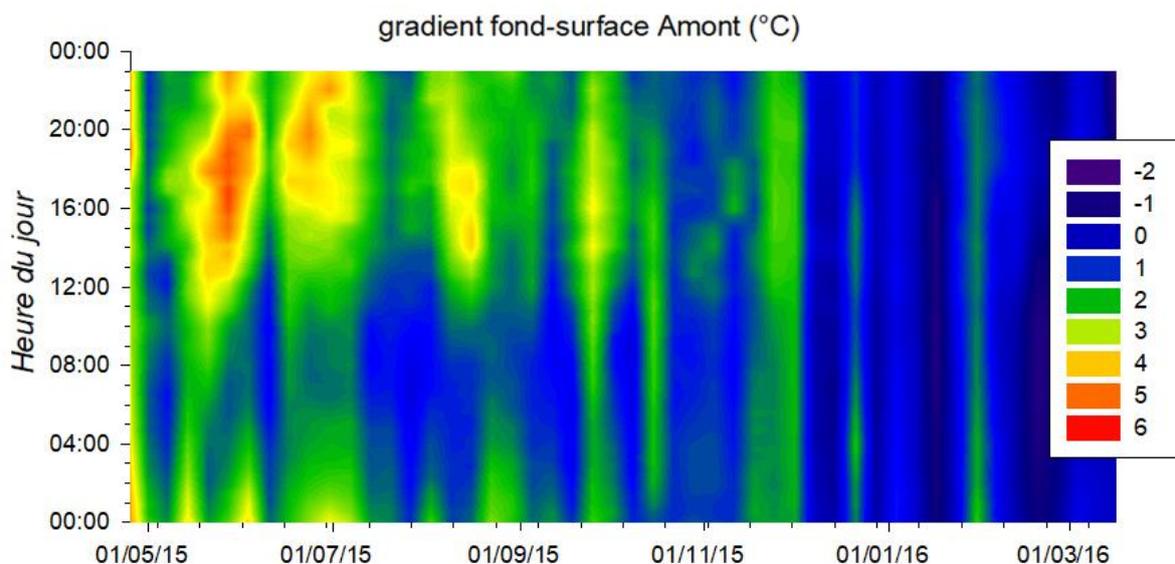


Figure 68 : Distribution des gradients thermiques dans le tronçon amont du lac (sans aérateur)

Dans le tronçon aval soumis à l'influence de l'aérateur (figure 69), la distribution journalière des gradients thermiques est similaire mais les écarts maximums sont plus réduits. Il existe bien une augmentation progressive du gradient fond-surface pour culminer en fin d'après-midi, mais les maxima sont inférieurs à 3°C, et les écarts supérieurs à 2°C ne sont observables que pendant 25 % de la période de fonctionnement de l'aération.

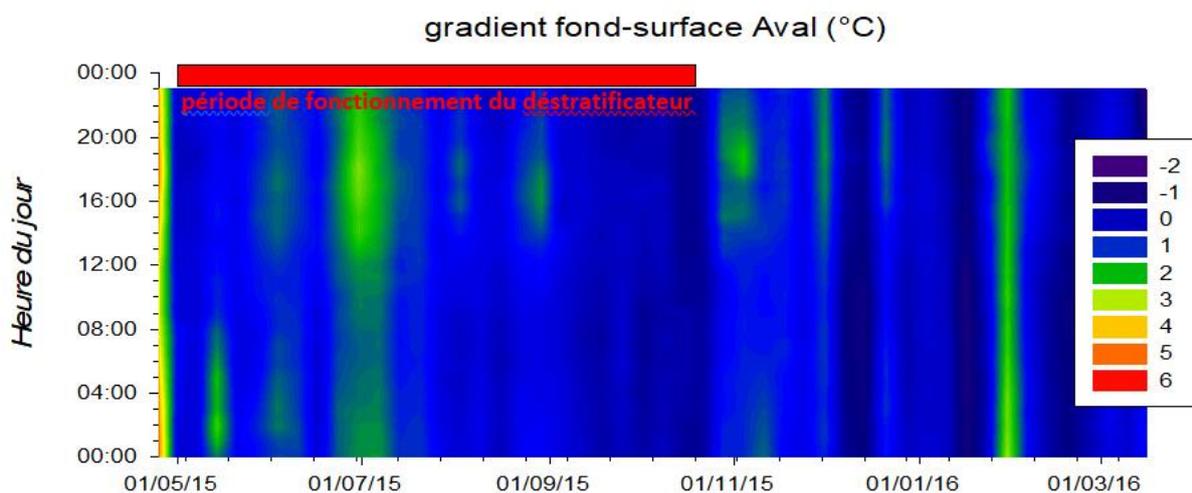


Figure 69 : Distribution des gradients thermiques dans le tronçon aval du lac (avec aérateur)

L'aération paraît donc bien contribuer à réduire les gradients thermiques, puisqu'elle étend pratiquement la durée des phases d'homothermie d'un facteur 5 (75 % des mesures contre 16 % en conditions naturelles). Son efficacité est cependant insuffisante au vu des objectifs contractuels, à savoir maintenir des écarts inférieurs à 1°C pendant 90 % des mesures. Cela se traduit ainsi, par exemple, par des concentrations en fer (parallèles aux relargages de phosphore) supérieures aux attentes, avec 2 à 4 mg/l mesurés contre 1 à 2 mg/l attendus. Les observations réalisées pendant l'étude montrent de plus que les critères retenus pour le dimensionnement ne sont plus remplis dans la mesure où il a été notamment constaté une stratification thermique supérieure aux prévisions (6°C observés contre 3°C retenus pour le dimensionnement), et une qualité insuffisante des eaux de l'Issoire pour assurer les garanties de l'installation, en particulier vis-à-vis du fer (mais ce manque de qualité ne peut expliquer les teneurs mesurées dans la retenue).

L'installation ne remplissant plus ses fonctions, la décision du SEP a été de ne pas remettre en marche l'aération durant l'été 2016 (de mai à octobre). L'objectif était d'observer l'évolution naturelle de la masse d'eau (stratification et qualité des eaux). Globalement, si l'été a été chaud et sec, visuellement, la masse d'eau est « restée belle et transparente et a beaucoup moins ressemblé, comme les années passées, à une station d'épuration » (discussion avec le SEP) tant l'aérateur remet en suspension la matière. Et, jusqu'à la mi-octobre, la station de prélèvement et distribution de Bellevue n'a pas observé de dégradation de l'eau même s'il y eut un pic de cyanobactéries courant juillet (un pic s'était également produit en 2015 avec l'aération de l'eau). Toutefois, les rampes d'aération ont été réenclenchées le 19 octobre au soir suite à des teneurs trop importantes en fer, manganèse et ammonium.

Dans le détail, les campagnes de mesures de l'été 2016 pour surveiller le comportement de la masse d'eau ont systématiquement révélé un fort déficit d'oxygénation de la masse d'eau. Dès la fin du mois du juillet, l'anoxie a été quasi totale à partir de la zone médiane du lac jusqu'en aval. Ces déficits se sont traduits par une gradation très nette du potentiel d'oxydo-réduction de la masse d'eau (figure 70) :

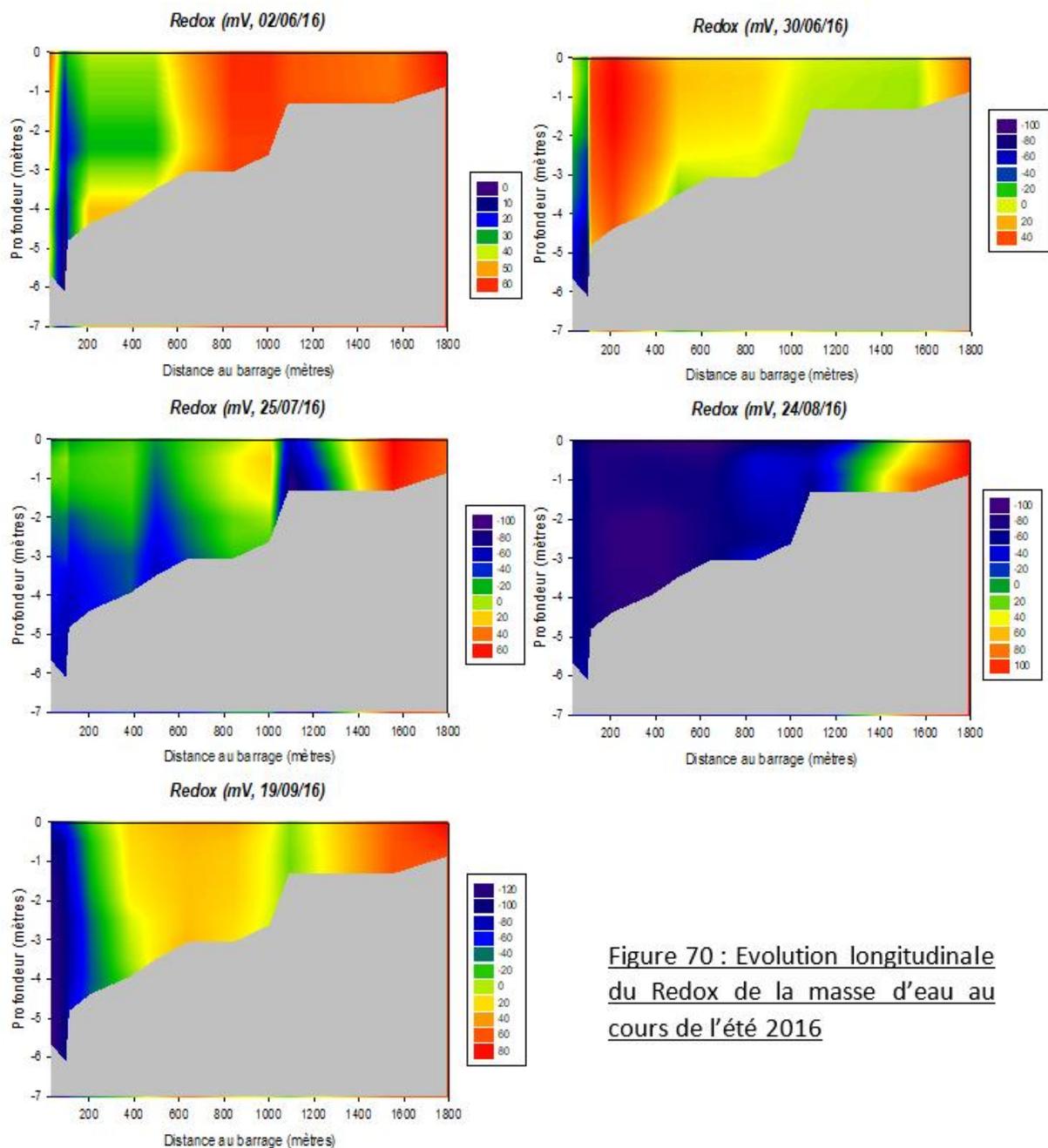


Figure 70 : Evolution longitudinale du Redox de la masse d'eau au cours de l'été 2016

- Bien que la crue de printemps ne fût pas terminée le 2 juin et que le masse d'eau était juste renouvelée, le redox était décroissant de l'amont vers l'aval, et nul à proximité de la digue.
- Le 30 juin, des valeurs nulles à négatives ont été observées au pied du barrage, et de l'amont vers le secteur médian, le redox décroissait. Dans cette partie du lac non stratifiée, où les eaux étaient plus chaudes, l'activité bactérienne devait être très élevée dans les sédiments, exportant un potentiel réducteur vers l'aval.
- Le 25 juillet, la distribution des redox était très chaotique car la quasi-totalité de la masse d'eau était en potentiel négatif ; les valeurs les plus basses étaient concentrées en aval des méandres exposés au vent, dans les zones abritées du brassage.
- Le 24 août, la masse d'eau était essentiellement sous potentiel négatif, seul le secteur amont présentait encore des zones positives, proches du fond, en raison de l'embouchure de l'Issoire.
- Le 19 septembre, grâce aux précipitations orageuse, le redox est remonté à des valeurs légèrement positives dans les secteurs médian et aval, seuls les abords du barrage restaient fortement négatifs.

En comparant ces résultats avec ceux de l'été 2015 où l'eau du lac était aérée, l'étendue et la persistance de conditions réductrices exceptionnelles en 2016 se sont traduites par des relargages massifs de fer, de manganèse, d'ammoniaque et de phosphates. Ils se sont cumulés à ceux issus des sédiments, principale source de relargage dans une masse d'eau aérée. La comparaison des concentrations maximales observées dans le secteur aval au cours des étés 2015 et 2016 apparaît dans le tableau 13. Les concentrations sont 4 à 6 fois plus élevées en 2016.

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>Ecart</b>
<b>Fer (µg/l)</b>	4 070	15 186	x 3,8
<b>Manganèse (µg/l)</b>	436	2 241	x 5,1
<b>P total (µgP/l)</b>	214	948	x 4,4
<b>PO<sub>4</sub> (µgP/l)</b>	131	580	x 4,4
<b>NH<sub>4</sub> (mgN/l)</b>	0,3	1,94	x 6,5

Tableau 13 : Concentrations maximales des éléments relargués en 2015 et 2016

Ces valeurs permettent d'estimer un bilan (concentrations des éléments par le volume d'eau concerné) des stocks d'éléments présents dans le lac au cours des deux étés : en 2016, la masse d'eau contenait jusqu'à 37 % de fer (1,37 tonnes au maximum), 150 % de manganèse (110 kg maximum), 29 % de phosphore total (80 kg maximum) et 50 % de matière organique (3,95 tonnes maximum), de plus qu'en 2015. En contrepartie, l'azote minéral était plus faible, notamment en fin d'été (170 kg contre 1,7 tonne en 2015). Plus surprenant, le phytoplancton est resté marginal en 2016, avec une biomasse maximale de 2,7 tonnes en septembre 2016, contre près de 37 tonnes à la fin du mois de juillet 2015.

Enfin, faute de suivi en amont et en aval du lac, il est impossible de calculer le bilan des flux exportés vers la Vienne. Mais, à partir des observations établies en 2015 sur la qualité des eaux entrant et sortant du lac (qualité similaire des entrées en 2015 et 2016, qualité similaire des sorties à celle des eaux de surface du point aval), il est possible de considérer que le lac a restitué, de la mi-juin à la fin août, près de 4 fois plus de fer (13 tonnes) et 6 fois plus de phosphore en 2016 qu'en 2015. L'export de phytoplancton, avec 16 tonnes de biomasse, ne représentait en revanche que 12 % du flux restitué en 2015, soit 140 tonnes.

En effet, les résultats issus des analyses de plancton sont surprenants : avec une météorologie favorable (comparé à 2015, l'été 2016 n'a pas eu d'épisodes pluvieux ou orageux affectant le temps de séjour), la retenue était plus riche en nutriments en 2016 qu'en 2015. Or, que ce soit en termes d'effectifs ou de biomasse, la flore est restée marginale durant tout l'été (4 % du volume de sédiments). Il est possible de lier ces observations avec les conditions Redox de la masse d'eau : de la fin juillet à la fin août, le lac a graduellement évolué vers des conditions négatives alors que le pH était exceptionnellement faible (valeurs inférieures à 6) et qu'une anoxie marquée régnait sous la lame d'eau de surface. Dans ces conditions, le fer relargué depuis les sédiments devait être majoritairement des oxydes ferreux ( $Fe^{2+}$ ) (figure 71) :

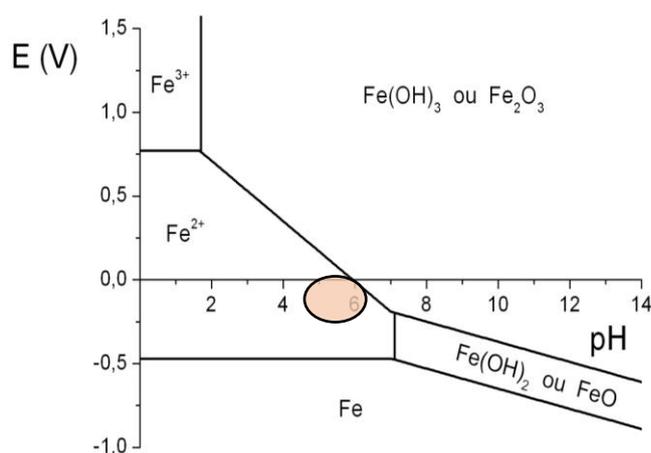


Figure 71 : Diagramme de solubilité du fer en fonction du pH et du Redox.

Ce fer est un flocculant capable de se lier aux MES et à la paroi des cellules planctoniques pour faciliter leur sédimentation. Il est donc possible que la discrétion apparente de la flore soit liée à une sédimentation massive des algues produites pendant l'été, en l'absence de brassage des eaux : comme en 2015, la flore produite et piégée pendant l'été correspondait à 4 % du volume des sédiments, donc, en supposant que la production de biomasse a été également similaire à celle de 2015, avec des exports réduits de 90 %, le stockage estimé de la MO a vraisemblablement été 10 fois plus élevé en 2016. Cet enrichissement des vases du lac en MO a pu contribuer à une accélération de la dégradation des eaux (anoxie et relargages) au cours de l'été 2016.

Ainsi, la suspension de l'aération en 2016 s'est accompagnée d'une dégradation nette de la qualité de la masse d'eau (stratification, anoxie et acidification des eaux, relargages), et d'un

stockage de la matière organique au sein des vases constituant une source importante de dégradation pour les étés à venir dans le sens où la présence de matières organiques en quantité plus importante dans les sédiments peut générer une anoxie plus précoce de la masse d'eau ainsi que des relargages plus intenses.

Pour finir, il convient de mentionner que l'ARS à Angoulême qui vérifie la conformité de l'eau distribuée, s'inquiétait de la décision consistant à ne pas réenclencher l'aération pour l'été 2016. Cette inquiétude, dirigée vers la capacité du SEP à traiter l'eau dans la limite des normes sanitaires de potabilisation, paraissait fondée au vu 1) des teneurs en fer et manganèse durant l'été, 2) des teneurs en MO pouvant entraîner plus de bactéries, voire des blooms de cyanobactéries et 3) de l'éventuelle dégradation de la qualité de l'eau au cours de l'été 2017. Cette situation a été possible car le lac de Saint-Germain, en raison de sa petite superficie, ne rentre pas dans le cadre de la DCE visant à réduire les manifestations d'eutrophisation dans les lacs pour ne pas contaminer les cours d'eau. Les petits plans d'eau peuvent donc ne pas atteindre le « bon état écologique ».

#### **4-4-3 – Eutrophisation et cyanobactéries**

La présence de Cyanobactéries constitue un risque potentiel pour la santé humaine dans la mesure où plusieurs espèces produisant des toxines agissent sur le système nerveux, le foie ou encore le système digestif (Baurès *et al.*, 2013). Dans le cas du lac de Saint-Germain de Confolens, la principale voie d'exposition est l'ingestion directe par l'eau distribuée en sachant que le code de la Santé Publique impose une limite de qualité de 1 µg/L de Microcystine-LR (toxine la plus fréquemment observée) dans l'eau traitée et distribuée. Compte-tenu du diagnostic (envasement, fortes teneurs en phosphore) et de la fonction exclusive du lac (AEP), il est intéressant d'évaluer le potentiel de développement des cyanobactéries dans le lac de Saint-Germain, à partir de paramètres (climatologie, statut trophique, morphologie lacustre et contamination extérieure) influant sur les risques sanitaires (Pitois *et al.*, 2014).

##### **a – Climatologie locale**

Le premier groupe de facteurs est défini par les paramètres climatiques locaux (température, pluviométrie, ensoleillement), qui participent à la sélection des aires géographiques favorables à certaines cyanobactéries lors de la période allant de mai à octobre.

Avec la figure 72, les caractéristiques climatiques du lac, pour la période de référence 1976-2015, se situent dans des valeurs élevées de température (14 à 18°C, en moyenne 16,1) et d'ensoleillement (26 à 62 kW/m<sup>2</sup>, en moyenne 50,5 kW/m<sup>2</sup>), valeurs optimales pour la plupart des espèces potentiellement toxiques : *Aphanizomenon* et *Planktothrix* ainsi que *Microcystis* et *Anabaena* lors des étés plus chauds et secs. La pluviométrie est également importante avec des cumuls de 250 à 610 mm (435 mm en moyenne). Les conditions les plus favorables aux proliférations sont donc liées à la température (dans 77 % des cas) et à l'ensoleillement (70 % des cas) ; la pluviométrie limite les cyanobactéries dans 60 % des cas.

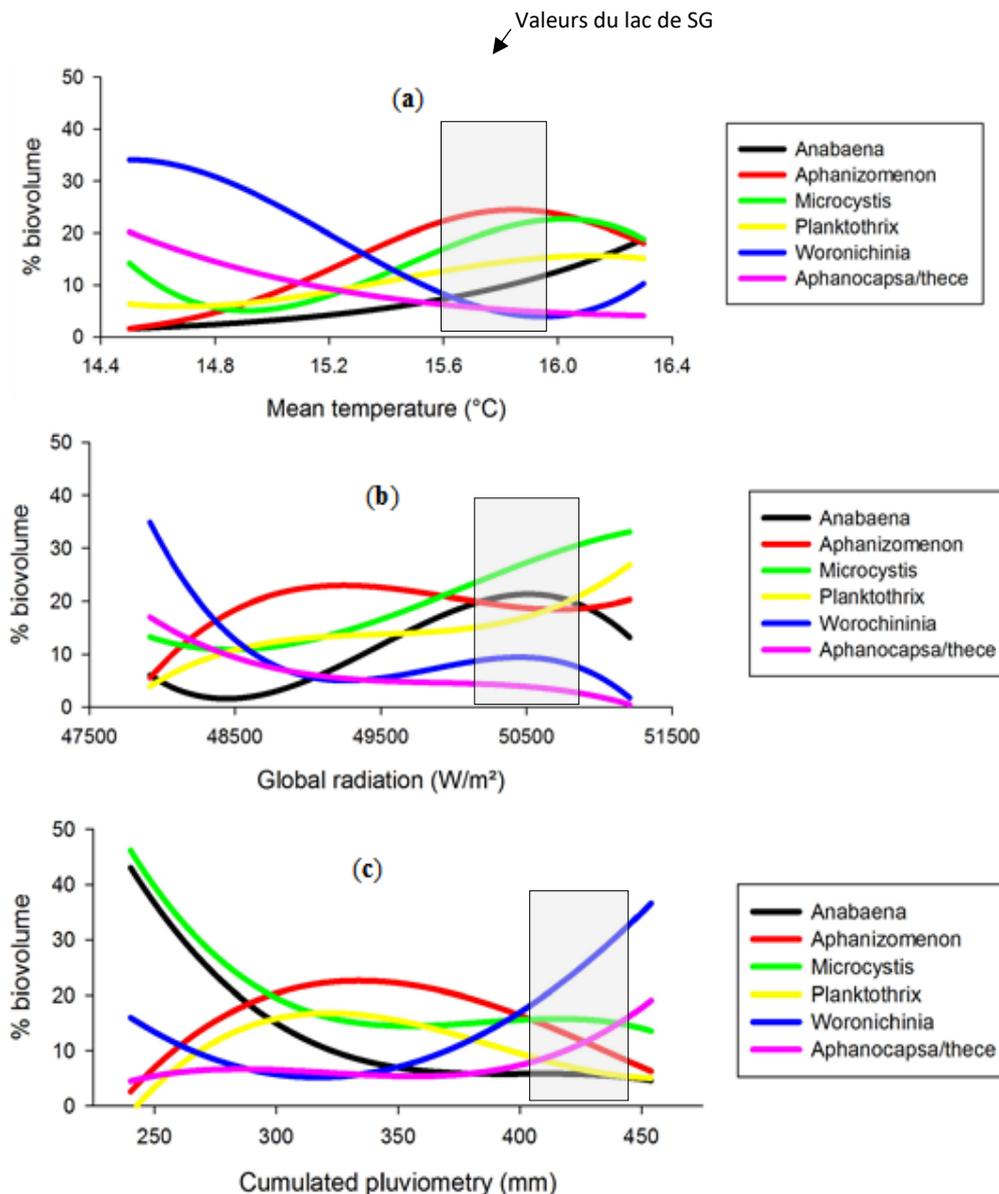


Figure 72 : Distribution des principaux genres de cyanobactéries en fonction de la température moyenne (a), du rayonnement global (b) et de la pluviométrie cumulée (c).

### **b – Statut trophique**

Le deuxième paramètre (dérivé de l'indice Carlsson développé pour l'OCDE) décrit le statut trophique du plan d'eau. Il montre notamment que la disponibilité du phosphore se trouve parmi les plus élevées observées (figure 73). Ce paramètre, conjugué à une météorologie favorable aux cyanobactéries potentiellement toxiques, permet à la flore d'atteindre des niveaux exceptionnellement élevés. Au cours de l'été, les concentrations en Phosphore total observées à Saint-Germain sont telles que les densités cellulaires maximales pourraient, selon le modèle Oracle (Pitois *et al.*, 2014), y atteindre de 1 à 10 millions de cellules/ml pendant 12 à 16 semaines entre juin et septembre, avec une récurrence de 7 à 8 années sur 10. En l'absence d'historique pour le lac, ces fréquences exceptionnelles n'ont pu être vérifiées.

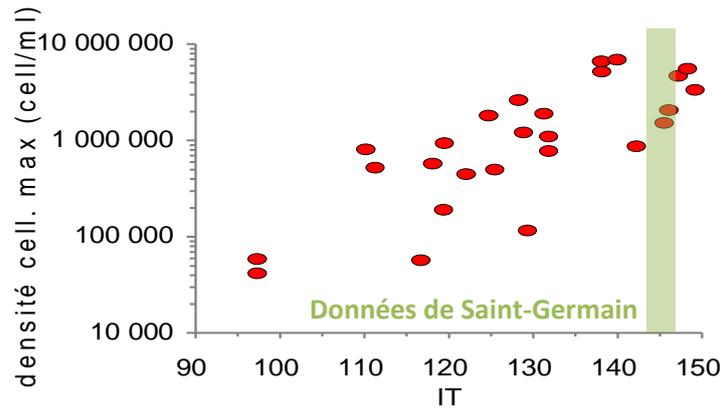


Figure 73 : Distribution des densités cellulaires maximales de cyanobactéries en fonction de la charge trophique

### c – Morphométrie lacustre

La dernière famille permet de définir des indices composites prenant en compte la morphométrie du lac et les rapports entre le lac et son bassin versant.

Le lac de Saint-Germain, avec une profondeur maximale proche de 7 mètres, se situe dans la gamme intermédiaire (figure 74) : densités maximales potentielles de 1 à 2 000 000 cellules/ml. Avec cette profondeur, les lacs sont trop profonds pour que les relargages depuis les sédiments aient un impact maximal, mais également trop peu profonds pour qu'une stratification thermique stable ne se développe et limite la diffusion des nutriments du fond vers la surface de la colonne d'eau. La profondeur, dans le cas présent, intervient donc comme un facteur atténuant l'impact de la charge phosphorée.

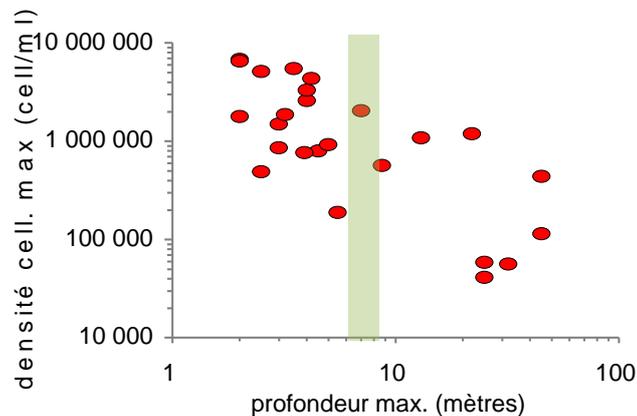


Figure 74 : Distribution des densités cellulaires maximales de cyanobactéries en fonction de la profondeur

L'influence du bassin d'alimentation dépend du volume du lac par le biais de la vitesse de renouvellement des eaux. Selon les résultats du projet Oracle (Pitois *et al.*, 2014), il existe une valeur optimale pour le développement des cyanobactéries et pour les occurrences de microcystines. De part et d'autre de cet optimum, leur développement est rapidement limité (si le renouvellement est trop rapide, les cyanobactéries sont diluées et exportées du lac avant d'avoir le temps de constituer de fortes biomasses ; si le renouvellement est trop lent, le milieu s'épuise rapidement en nutriments et la croissance diminue faute de soutien). Ainsi, le lac de Saint Germain, au vu de ses caractéristiques morphométriques (volume actuel de 430 000 m<sup>3</sup>, BV de 182 km<sup>2</sup>, pluviométrie de 435 mm de mai à octobre, 14 000 000 m<sup>3</sup> d'eau en moyenne portés par l'Issoire, pendant les 6 mois de belle saison), a un taux de renouvellement important et atteint en moyenne, 33 fois le volume de la masse d'eau chaque année (figure 75).

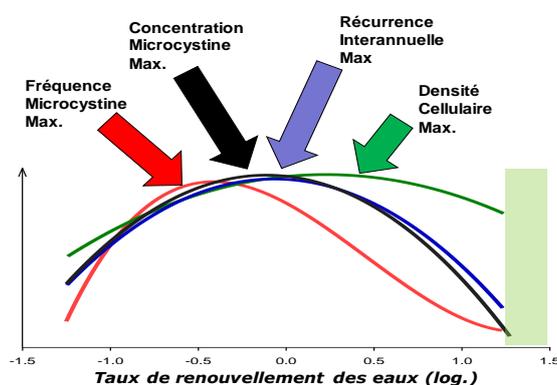
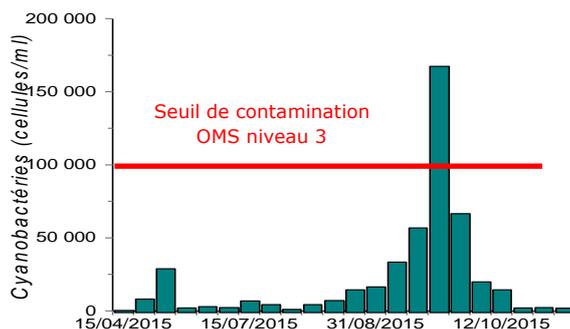


Figure 75 : Distribution des paramètres décrivant les proliférations de cyanobactéries en fonction du renouvellement des eaux

Ce taux se situe à l'extérieur de la gamme optimale pour les cyanobactéries, et pour les années où les débits ont été mesurés par la DREAL (depuis 2009), seules 2010 et 2011 se sont approchées des valeurs (0,75 et 1,1) permettant des proliférations de cyanobactéries toxigènes. Ce paramètre est donc particulièrement important pour la limitation des risques sanitaires liés à la biomasse et aux toxines de cyanobactéries. Un renouvellement rapide des eaux participant de plus à la diminution de la température des eaux du lac, améliore l'efficacité de l'aération des fonds et réduit l'intensité des relargages de nutriments ou de molécules posant un problème de traitabilité (fer, manganèse, ammoniacque et sulfures entre autres).

#### **d – Contamination extérieure**

Lors de l'étude, un dernier point a été mis en évidence : une contamination des eaux de l'Issoire par des cyanobactéries provenant de vidange ou débordement d'étangs situés en amont du lac de Saint-Germain (figure 76).



**Figure 76 : Effectifs des cyanobactéries au pont Binot, en amont du lac de SGC**

En effet, dès le début du mois de septembre ont été observées certaines espèces potentiellement toxiques (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*), dont le taux a atteint un maximum de 167 320 cellules/ml le 21 septembre 2015. Cette contamination, ayant démarré à la reprise des pluies du mois d'août, est intervenue en début d'automne en raison d'une météorologie en cours de dégradation, et alors que le temps de séjour des eaux était relativement faible (environ 16 jours). Pour cela, il n'y a pas eu d'épisode de prolifération car le front de bloom est ressorti du lac du 05 au 12 octobre 2015 avec des densités cellulaires de 86 400 à 87 300 cell/ml. Si cet épisode était intervenu plus tôt, par exemple entre la mi-juillet et la mi-août, alors que les eaux étaient plus chaudes et le temps de séjour maximal (de 35 à 50 jours), la situation aurait pu être critique. Cet ensemencement du lac susceptible de favoriser des épisodes de prolifération, doit être maîtrisé afin de favoriser le traitement de l'eau et écarter le risque sanitaire (production de toxines).

## 5 – CONCLUSION ET POSSIBILITES D' ACTIONS

Les résultats liés aux diverses méthodes de ce protocole d'étude ont mené au diagnostic environnemental du lac de Saint-Germain de Confolens c'est-à-dire à la connaissance relativement complète de son fonctionnement physique et de son évolution morphologique autant en termes de quantification que de bilan. Les acquis les plus importants pour l'aide à la gestion de ce milieu aquatique sont ceux relatifs à la sédimentation, à l'aération de la masse d'eau ainsi qu'aux apports du bassin versant.

En effet, aujourd'hui, 1) le lac a perdu 42 % de sa capacité utile en raison de la sédimentation estimée annuellement en moyenne à 8 000 m<sup>3</sup>. 2) La masse d'eau, pourtant aérée à partir du printemps, se trouve en situation de déficit d'oxygène dissous, ne contribuant pas à éliminer les relargages de fer, phosphore et ammoniacal depuis les sédiments. Il existe alors un impact important sur la qualité des eaux car ces relargages, en alimentant la flore planctonique pendant la période de croissance, favorisent d'une part à nourrir le stock de vase en matières organiques consommatrices d'oxygène, d'autre part, à exporter en aval du lac bien plus de MO qu'il n'en reçoit de l'Issoire (par exemple 5 fois plus d'algues et 30 fois plus de biomasse, chaque semaine, entre mai et novembre 2015). 3) Via l'Issoire, le bassin versant dont l'occupation est majoritairement agricole, amène au lac des flux significatifs de matières

(sédiments, nutriments ou cyanobactéries), sources de sédimentation de la cuvette et de dégradation de la qualité de l'eau lacustre (eutrophisation).

Ainsi, le fonctionnement interne du lac est expliqué non seulement par son individualité géographique mais également par son bassin d'alimentation (Touchart, 2002) tant les résultats montrent l'importance des échanges, notamment entre le bassin et le lac. Dans cette étude, les échanges révèlent les conflits d'usages qui peuvent exister lorsque le bassin d'un lac destiné à l'alimentation en eau potable est agricole, et que les agriculteurs sont peu soucieux de l'environnement.

Ces résultats, qui expliquent la récurrence des problèmes de potabilité observés par le gestionnaire, sont une aide à la décision pour la sauvegarde du lac et de sa fonction exclusive d'AEP. Ainsi, afin de perpétuer la distribution d'une eau de qualité, il convient de mettre en place des mesures conservatoires adéquates pouvant s'articuler autour de trois axes :

- La sensibilisation des agriculteurs

S'attaquer à la source des problèmes (comme l'assainissement ou les pratiques agricoles) est l'action la plus efficace pour limiter l'enrichissement du lac en sédiments et nutriments, même si c'est la plus difficile à mettre en œuvre (Touchart, 2002) car elle nécessite l'adhésion de tous les acteurs du territoire (les services de l'Etat, les communes, le SEP du Confolentais et la population). Par exemple, il convient d'associer les agriculteurs à la gestion de la ressource en eau afin d'éviter les conflits d'usage, et cette association concertée doit aboutir non seulement à des objectifs partagés de qualité d'eau, mais aussi à des performances économique et environnementale dans l'agriculture. Suite à cette étude qui identifie les sources de dégradations (ex de Brillac, La Courrière ou encore la Marchadaine), la chambre d'agriculture de la Charente va proposer une aide technique et financière aux agriculteurs pour les inciter à agir favorablement : modification du sens des labours et des périodes de labours, présence d'abreuvoirs, de bandes enherbées, de zones tampons humides artificielles (Banas *et al.*, 2016) ou de canaux de décantation (Nedjai *et al.*, 2016) au bas des parcelles cultivées, vidange d'étangs en fonction des débits des cours d'eau. En effet, si la plupart de ces techniques pour limiter l'érosion des sols et le transport des particules sont connues depuis longtemps, les changements de pratiques agricoles étant lents et complexes (Banas *et al.*, 2016), la décision de la chambre d'agriculture peut être bénéfique. Il faut savoir qu'il existe des précédents d'actions de ce type ayant abouti à l'amélioration de la qualité de la ressource en eau pour l'AEP, notamment en Bretagne (fortement exposée aux pollutions diffuses d'origine agricole), grâce au *Programme Eau Pure*, lancé dès les années 1990 (Hellier *et al.*, 2009). Par exemple, dans le Finistère, le suivi de 20 ans du lac et des tributaires de Pont l'Abbé (Pitois, 2017), au cours duquel des actions d'amélioration ont été mises en œuvre (assainissements mis aux normes, développement des bandes enherbées, suppression des piscicultures et aération du lac), a permis de mettre en évidence les effets bénéfiques sur 1) le goût et l'odeur de l'eau distribuée, 2) le colmatage des filtres en entrée de l'usine de traitement, et sur 3) la qualité de l'eau des affluents, du lac ou encore sur la biomasse (par exemple, réduction respective des concentrations en azote et phosphore par deux et cinq ; la biomasse des cyanobactéries ainsi que leur durée de présence ont été divisées par quatre et celle des toxines, par cinq). Si un suivi de 20 ans peut paraître long, il n'est rien en comparaison

de plus de 50 ans de mauvaises pratiques. Il est également nécessaire compte tenu des multiples délais parfois incompressibles (prise de compétence, négociations, montage des dossiers d'autorisation et de financement, sans compter le temps de convaincre la collectivité et les différents acteurs comme les agriculteurs). Bien entendu, sur le terrain, les effets positifs apparaissant beaucoup plus rapidement (dans les 2-3 ans qui suivent les actions) sont un point vital pour les gestionnaires et les élus.

- Des travaux

Deux types d'aménagement dans le lac peuvent être envisagés :

- concernant les sédiments, un curage de la retenue paraissant inenvisageable en raison du coût (près de 5 millions d'euros), et de l'absence, à ce jour, d'actions dans le BV pour réduire les apports (impliquant donc irrémédiablement un retour à l'état présent), il a été préconisé d'aménager la zone deltaïque selon un concept original et efficace de piégeage des sédiments dans une fosse (Jigorel *et al.*, 2003). Peu onéreux et facile à mettre en œuvre, il convient, dans la partie deltaïque, après diminution du niveau lacustre, de modeler des merlons destinés à bloquer les apports de l'Issoire, et de creuser juste en amont une fosse destinée à les collecter (figure 77). Régulièrement, au fur et à mesure du remplissage, les sédiments doivent être extraits pour permettre à la fosse d'assurer son rôle de décantation des apports.

Le gestionnaire envisage les travaux tout en attendant les résultats d'une synthèse bibliographique, faite par un étudiant de master, portant sur les solutions mises en œuvre dans les lacs et étangs aux mêmes caractéristiques environnementales.

- Concernant la qualité de l'eau, l'aération actuelle étant insuffisamment efficace, et les résultats de qualité de l'eau au cours de l'été 2016 (sans aération) étant mauvais, il a été décidé d'installer juste en amont du barrage une nouvelle rampe d'aération, dite ligne de forçage (figure 78), pour améliorer la qualité de l'eau prélevée mais aussi la qualité de celle rejetée en aval vers la Vienne. Ce nouveau dispositif d'aération est opérationnel depuis le printemps 2017 et complète la rampe aval existante. La rampe amont n'étant plus désormais en fonctionnement, la majeure partie du lac (de l'amont jusqu'au méandre des Barrières) sera vraisemblablement anoxique avec une biomasse planctonique probablement plus importante.

- La surveillance du lac

Cette surveillance devrait passer, à court terme, par un suivi de la qualité de l'eau lors des prochaines périodes estivales, pour 1) connaître l'influence de la ligne de forçage et 2) appréhender le comportement du stock de MO, source potentielle de dégradation, contenu dans les sédiments suite à l'été 2016. A moyen terme, il conviendrait de refaire une bathymétrie pour affiner les résultats des 3 bathymétries existantes et connaître l'impact de l'été 2016 (sans aération) sur la sédimentation.

Si le gestionnaire a opté pour un suivi de la sédimentation (étude en cours), afin d'approfondir les connaissances sédimentologiques sur un temps plus long, nous (l'équipe scientifique) avons tout de même maintenu les prélèvements et analyses d'eau pour 1) ne pas interrompre le suivi et le lier aux futurs résultats sédimentaires, et 2) surveiller la qualité pour prévenir le gestionnaire en cas de problème (par exemple, une augmentation d'éléments polluants).

Notre objectif étant l'aide à la gestion, d'autant plus importante pour un réservoir destiné à l'AEP.



**Figure 77 : Aménagement possible du delta pour piéger les sédiments**



**Figure 78 : Travaux d'optimisation de l'aération de lac de Saint-Germain-de-Confolens**

Cette étude environnementale sur le lac de Saint-Germain-de-Confolens illustre le dynamisme de la géographie limnologique appliquée, science connectée aux régions, collectivités et gestionnaires voulant comprendre et surmonter leurs difficultés lacustres, en termes de géomorphologie, de qualité d'eau, d'activités humaines... bref, d'environnement. Notre expertise amène à de larges perspectives de développement comme présentées à la fin du premier volume de cette HDR.



## CONCLUSION GÉNÉRALE

Bien que la géographie appliquée ait de tout temps existé, au moment où la discipline affermit ses méthodes et devient une science, les géographes la considèrent comme une discipline de culture, sans application pratique, laissant ainsi les autres disciplines investir le terrain de l'utilitaire. Cette abstention a été fâcheuse en termes d'environnement et d'aménagement de l'espace, induisant par exemple de multiples risques rendant la société plus vulnérable. « Il faut attendre que l'homme ait pris conscience des méfaits d'une emprise désordonnée sur l'espace et de la nécessité de son aménagement rationnel pour qu'il songe à utiliser à des fins pratiques une science dont les méthodes sont devenues solides » (Philipponneau, 1960, p. 16). Si les géographes n'avaient pas mis en avant ce rôle utile de la discipline dans la vie de la cité et dans l'organisation de la société moderne, la géographie aurait pu disparaître de l'enseignement scolaire au bénéfice d'autres disciplines (Philipponneau, 1999).

En participant à orienter les hommes d'actions grâce à ses recherches et ses conseils, le géographe contribue à améliorer le monde de demain. Et « c'est bien par-là que le métier de géographe est un beau métier » (Philipponneau, 1999, p. 104), même si perdure, au sein de la communauté, « une tension entre l'engagement dans le monde et la Tour d'Ivoire » (Philipponneau, 1996 *in* 1999, p. 243). Ainsi, « la géographie se retrouve, dans sa diversité, investie dans de nouvelles façons de voir et de parcourir son objet. Orientée vers l'élucidation des relations que les sociétés entretiennent avec leur espace, elle se retrouve dans une attitude inverse de celle de la géographie des années 1950 » (Knafou, 1997, p. 350), tournée vers le passé. Aujourd'hui, « le géographe fait apprécier son aptitude à confronter une approche théorique des problèmes avec la réalité du terrain, sa capacité d'écoute et de synthèse, comme sa capacité à maîtriser l'outil cartographique et informatique, à prendre en compte l'espace naturel et l'environnement. Ainsi le géographe, reconnu comme expert, peut susciter des demandes de la part des décideurs » (Philipponneau, 1999, p. 44).

Le thème de l'environnement a été découvert chez les géographes français dans les années 1960, par le biais de la pollution liée aux rejets d'effluents, issue de la concentration des hommes et des activités. Depuis, de multiples crises environnementales affectant « un écosystème et un groupe humain, pendant une période de temps significative (plusieurs années ou décennies) » (Bravard, 2006, *in* Robic et al., 2011, p. 508), se sont produites. Dans certains domaines comme celui des milieux aquatiques, ces crises peuvent avoir des conséquences négatives sur le quotidien des populations, en termes, par exemple, d'alimentation en eau potable. Saint-Germain-de-Confolens, principal lac pris en exemple dans cette HDR, est un cas parmi tant d'autres car aujourd'hui, « chacun sait, sans verser dans le catastrophisme », que l'anthropisation influe de plus en plus sur le fonctionnement des écosystèmes et « sur le devenir à long termes des sociétés » (Bertrand, 2002, p. 99). Si, jadis, le défi de l'homme a été de conquérir la nature (Claval, 1998), aujourd'hui, il est nécessaire de la bien gérer et la géographie limnologique a, pour les milieux aquatiques, un important rôle à jouer.

La géographie limnologique française, courant de taille modeste mais uni qui révèle son dynamisme et son utilité, place « le lac, l'étang, le limnosystème, l'aménagement des territoires d'eaux stagnantes, la structuration physique des échelles spatio-temporelles à l'extérieur et à l'intérieur du plan d'eau, la gestion des barrages artificiels et des étangs piscicoles par les sociétés, au centre de ses recherches scientifiques » (Bartout, 2015, p. 86). En effet, comme l'a montré l'étude du lac de Saint-Germain-de-Confolens, « la géographie limnologique se doit de faire la synthèse territoriale au sens d'espace géographique mettant en contact le territoire avec ses acteurs » (Bartout, 2015, p. 54), car « le mouvement de la nature doit être inscrit dans le mouvement de l'histoire humaine et vice-versa » (Bertrand, 2002, p.85).

C'est ainsi que nous avons œuvré pour la géographie appliquée par le biais de contrats, pour rendre la recherche utile à la société civile. En effet, comme nous l'avons déjà écrit, venir en AIDE à tous les acteurs des milieux aquatiques qui le demandent, est, et a été, le fil conducteur de nos activités scientifiques. Ainsi, la géographie limnologique, en mettant son savoir au service de l'action, est une discipline appliquée qui répond aux questions concrètes et pragmatiques des gestionnaires, tout en préconisant des actions et des mesures optimales de gestion, de conservation ou de restauration. Elle est une aide à la décision, d'autant que les propriétaires ou gestionnaires des milieux aquatiques ont, de plus en plus, une réelle volonté de gestion optimale de leurs plans d'eau (dans toute leurs dimensions ou d'une partie). Et, le fait de placer ces plans d'eau au centre de la recherche limnosystémique, comme sait le faire la géographie limnologique, plaît aux gestionnaires. Bien plus que plaire, ce fait est fondamental tant il apporte à la compréhension d'un milieu et d'un territoire pour tenter de résoudre les problèmes comme les pollutions. Avec leur multiplication, les gestionnaires deviennent des commanditaires d'études scientifiques relativement complètes. L'aide de la géographie limnologique devient alors cruciale pour les gestionnaires, parfois désarmés.

La fonction exclusive d'alimentation en eau potable du lac de Saint-Germain-de-Confolens est suffisamment importante pour que la géographie limnologique s'intéresse, à la demande du gestionnaire, le SIAEP du Confolentais, aux problèmes de ce lac. De fait, la possibilité de faire de ce milieu aquatique un lac expérimental a permis également, outre les résultats propres au lac et permettant de proposer des actions de conservation, d'œuvrer pour la géographie limnologique fondamentale en consolidant des acquis scientifiques mais aussi en apportant de nouveaux :

- pour les premiers, les travaux du début des années 2000 sur le lac de Saint-Pardoux en Haute-Vienne (Maleval, 2002, 2006, 2010) avaient abouti à l'établissement d'un bilan sédimentaire, pour lequel les apports biogènes non mesurés avaient été déduits (donnée manquante dans le bilan), mais cependant confirmés par les pourcentages moyens annuels de matières organiques obtenus par la méthode de la perte au feu. Au lac de Saint-Germain-de-Confolens, les apports biogènes calculé ayant également été confirmés par les pourcentages de la MO, il est raisonnable de dire que la réduction des apports biologiques à l'étude du seul phytoplancton donne un résultat convenable pour l'évaluation des apports biogènes dans la sédimentation lacustre.

- Pour les seconds, ces mêmes travaux sur le lac de Saint-Pardoux ont montré, pour la première fois, que l'ablation littorale peut contribuer à presque un tiers du total de sédiments accumulés au fond de la cuvette lacustre. Ce résultat était une surprise tant il était admis que la majorité du total sédimentaire provenait des seuls apports fluviaux et des matières organiques autochtones. Ainsi, pour avoir un bilan sédimentaire correct, il était désormais obligatoire d'y ajouter l'abrasion littorale. Puis, l'étude de Saint-Germain-de-Confolens, lac situé dans les mêmes conditions physiques (climatique et géologique) que celui de Saint-Pardoux, a révolutionné cet acquis dans la mesure où la part littorale est apparue négligeable dans le bilan sédimentaire (moins de 1 %). Ainsi, il est indispensable, pour chaque milieu aquatique, d'une part, de prendre en compte les trois paramètres du bilan sédimentaire (apports fluviaux, littoraux et biogènes), d'autre part, de se préoccuper des caractéristiques morphométriques des lacs ainsi que des conditions environnementales de leur bassin versant. Dans le cas de Saint-Germain-de-Confolens, 1) la forme en plan longiligne à forte sinuosité et sa faible largeur ne permettent pas aux vents dominants de directions très différentes d'avoir un fetch important à la surface du lac, et donc d'initier une vive érosion littorale, et 2) l'utilisation des sols et les méthodes agricoles œuvrent à donner aux apports fluviaux (près de 90 %), une importance prépondérante. En comparaison, le lac de Saint-Pardoux est composé de trois vastes bassins liés au modelé alvéolaire, et son BV est essentiellement forestier. De plus, s'il était admis que l'évaluation des apports allochtones par les seules MES était suffisante pour évaluer le pourcentage des apports fluviaux solides au lacs (Forel, 1892, Collet, 1925, Fournier, 1960), les résultats du lac de Saint-Germain-de-Confolens où le bassin versant est caractéristique, montrent qu'il est parfois nécessaire de mesurer les autres modes de transport fluvial (charriage et saltation), tant ils peuvent être conséquents comme en témoignent la présence des sables grossiers relevés dans les pièges à sédiments et l'important développement du delta fluvial.

Ces apports et consolidations scientifiques montrent l'utilité concrète de la géographie limnologique à la fois pour la recherche fondamentale et les territoires, grâce à l'aide à la gestion. Elle se doit de poursuivre son action. Cette aide, bien qu'elle se trouve au cœur des activités et de l'engagement scientifique, ne fait pourtant pas partie des paramètres d'évaluation des enseignants-chercheurs, alors même qu'il est nécessaire de valoriser la recherche universitaire, notamment par sa diffusion dans la société civile. Pourquoi ne pas faire en sorte alors que les applications géographiques aient leur place dans l'évaluation individuelle et collective ? Géographie fondamentale et géographie appliquée étant assurément liées.

Enfin, si l'assistance à la gestion peut parfois être compliquée en raison, notamment, du manque de confiance accordée aux scientifiques de la part de certains gestionnaires et/ou professionnels, mais aussi de la complexité de la science qui ne facilite pas son accessibilité, nos méthodes et travaux ont favorisé la communication entre ces mondes et ont réussi à établir une relation de confiance, et amicale, qui, loin de nuire à la recherche, en facilite son avancée par l'émulation suscitée. La géographie limnologique a ainsi consolidé les bases de la communication avec la société civile pour l'aide à la gestion, comme en témoigne le séminaire du printemps 2018, coorganisé par des gestionnaires (commune d'Eguzon dans l'Indre), des universitaires (d'Orléans, Limoges et Bordeaux) et des professionnels. Ce rapprochement

université / entreprise / gestionnaire a permis de constituer un réseau non seulement local (Centre-Val-de-Loire, Limousin) mais aussi national (Bretagne, Auvergne-Rhône-Alpes, Normandie) et international (Estonie, Maroc, Espagne), favorisant l'enrichissement de nos collaborations scientifiques, celles-ci profitant aux nouvelles générations de chercheurs, dont les perspectives de recherches doctorales ont été mentionnées à la fin du volume 1 de cette HDR.

Ce travail permet également de conclure, de notre point de vue, sur le rôle du géographe en général, limnologue en particulier, dans la vie de la cité : trop longtemps en retrait, le géographe, « à l'écoute à la fois de la nature et du corps social » (Valadas, 2004, p. 135), ne doit pas hésiter à s'assumer pour rendre à la société « les connaissances et l'expérience qu'elle lui a permis d'acquérir » (Philipponneau, 1960, p. 68), car aujourd'hui, plus encore que jadis, « l'intérêt des Hommes l'exige » (Tricart, 1962, p. 160).

## BIBLIOGRAPHIE

- AKBULUT N.E. (2004). Limnology in Turkey. In Gopal B. & Wetzel R.W. (Ed.), *Limnology in Developing Countries*. New-Delhi : International Association of Theoretical and Applied Limnology, 244 p., pp. 171-218.
- ALLIX A. (1957). Géographie appliquée et géographie régionale. In *La géographie française au milieu du XXe siècle*, Paris, 333 p., pp. 289-293.
- AMOROS C. ET PETTS G.E. (1993). *Hydrosystèmes fluviaux*. Collection d'écologie, 24, Masson, Paris, pp. 21-274.
- ANDRIEU J.P., CAULT J.B., BOUCHARD J.P., COMTET A., COTTIN L., GARROS-BERTHET H., BANAS D., PIERLOT F., GAILLARD J., SCHOTT F.X, CHERRIER R., THOMAS M., DAUCHY X., BOCKSTALLER C., FEIDT C. (2016). *Intégrer les dispositifs rustiques de filtration et les étangs dans la rétention et la dégradation de pesticides issus de parcelles agricoles localisées en tête de bassin versant*. Poster, Rencontre Science-gestion « Pour concilier biodiversité, fonctionnement écologique et usages des plans d'eau », 22-23 novembre 2016, Aix-en-Provence, La Baume.
- BANAS D., MASSON G., LEGLIZE L., DIDIER S., WAGNER P., PIHAN J-C. (2002). *Nouvelles trappes à sédiments destinées aux milieux peu profonds vidangeables*. Revue des Sciences de l'Eau / J. Watt. Sci. 15, pp. 263-272.
- BANAS D. (2001). Flux de matières en étangs piscicoles extensifs : rétention, sédimentation, exportation. Thèse de l'Université de Metz en Sciences de la Vie, spécialité Hydrobiologie, 237 p.
- BARROIN G. (1999). *Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau*. Lyon, AERMC, 215 p.
- BARTOUT P. (2015). *Les territoires limniques. Nouveau concept limnologique pour une gestion géographique des milieux lenticques*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université d'Orléans, Géographie, EA 1210 CEDETE. 444 p.
- BARTOUT P. ET TOUCHART L. (2015). La stabilité limnique dans le bassin de la Vienne : la place des plans d'eau au sein des milieux et des sociétés depuis le XIXe siècle. *Norois*, vol. 234, no. 1, 2015, pp. 65-82.
- BARTOUT P. ET TOUCHART L. (2013). L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. *Annales de Géographie*, n° 691, 2013, pp. 266-289, Armand Colin.
- BARTOUT P., BERNARD C. (2007). Peut-on concevoir la définition de l'étang comme un outil de gestion ? Géographie de l'étang : des théories globales aux pratiques locales, 16 p, in *Les territoires limniques. Nouveau concept limnologique pour une gestion*

*géographique des milieux lenticques*. P. Bartout (2015), HDR de Géographie, EA 1210 CEDETE, Université d'Orléans, 2 volumes.

- BAURES E., PITOIS F., JUNG A-V., THOMAS O. (2013). *Oracle, Objectivizing cyanobacteria associated risks in recreational waters*. Water and Society 2013 Proceeding, WIT press.
- BAXTER R.M., et GLAUDE P. (1980). Les effets des barrages et des retenues d'eau sur l'environnement au Canada : expérience et perspectives d'avenir. *Bulletin Canadien des Sciences Hallieutiques et Aquatiques*, pp. 10-16.
- BEAUJEU-GARNIER J. (1980). *Géographie et politique régionale*. Symposium de Géographie appliquée, Yokoama, p. 5.
- BEAUJEU-GARNIER J. (1975). Les géographes au service de l'action. *Revue Internationale des Sciences sociales*, Paris, UNESCO, XXVII, 2, p. 290-302.
- BENEDETTI-CROUZET E., DUSSART B. (1979). *Les retenues d'eau. Création, évolution, impacts et surveillance*. Synthèse bibliographique. I.B.D. Sarlat. Agence financière de bassin Seine-Normandie, 258 p.
- BERNARD C. (2005). L'étang solognot du XIX<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle : un témoin de l'évolution économique de la région ? in GHZH, *Les étangs, espaces de production : hier et aujourd'hui*. Paris : Collection Journées d'études, p. 27-39.
- BERTRAND G. et BERTRAND C. (2002). *Une géographie traversière. L'environnement à travers territoires et temporalités*. Ed. Arguments, Paris, 311 p.
- BERTRAND G. (sous la dir.) (1991). *La nature en géographie. Un paradigme d'interface*. Géodoc, documents de recherche de l'UFR géographie et aménagement, Université de Toulouse Le Mirail in KNAFOU R. (1997), *L'état de la géographie. Autoscopie d'une science*. Belin, Paris, Mappemonde, 438 p.
- BERTRAND G. (1982). Construire la géographie physique. *Hérodote*, 90-116.
- BETHEMONT J. (1996). Sur une école lyonnaise de géographie (1923-1976). In *La géographie française à l'époque classique*, p. 147-155.
- BLANCHON D. (2016). Radical political ecology et water studies. Quels apports pour la géographie de l'environnement en France. In CHARTIER D. et RODARY E., *Manifeste pour une géographie environnementale*, SciencesPo, Les Presses, 439 p.
- BLOESH J. & HUELHINGER U. (1986). Horizontal sedimentation differences in an eutrophic Swiss lake. *Limnol. Oceanogr.*, n° 31, pp. 1094-1109.
- BOILLAT J.L, SAYAT S. et SCHLEISS A. (2006). *Approche méthodologique pour l'établissement d'un projet de protection de rives lacustres*. EROSEE, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – Laboratoire Central d'Hydraulique, Lausanne, pp. 304-311
- BOULANGER P., SAVY B. (2015). *Histoires d'eaux en Confolentais*. SEP du Confolentais, Confolens – Texto, Saint-Junien, 123 p.

- BOULEAU G. et PONT D. (2014). Les conditions de références de la directive cadre européenne sur l'eau face à la dynamique des hydrosystèmes et des usages. *Natures Sciences Sociétés*, 22, p. 3-14.
- BRAVARD J-P. (2016). Débat parlementaire du 23 novembre 2016 : [http://videos.assemblee-nationale.fr/video.4447956\\_5835528f7e0e8.commission-du-developpement-durable-table-ronde-sur-l-usage-et-la-gestion-equilibree-des-cours-d-e-23-novembre-2016](http://videos.assemblee-nationale.fr/video.4447956_5835528f7e0e8.commission-du-developpement-durable-table-ronde-sur-l-usage-et-la-gestion-equilibree-des-cours-d-e-23-novembre-2016).
- BRGM (1983). Carte géologique de Confolens, n°662, 1:50 000 + notice géologique.
- BROC N. (2010). Une histoire de la géographie physique en France. Presses Universitaires de Perpignan, 2 tomes, 709 p.
- GUILLEMOT B., JIGOREL A., LEVENQ J., LURIN J. et MORIN J.P. (1997). *Expérience française récente dans le domaine de la gestion des sédiments dans les réservoirs*. Commission Internationale des Grands Barrages, 19ème Congrès des Grands Barrages, Florence, p. 365-383.
- CALVET M. & GIUSTI C. (2010). La géographie physique française cent ans après le Traité : et demain ? In BROU N. *Une histoire de la géographie physique en France*. Presses Universitaires de Perpignan, 2 tomes. p. 677-700.
- CAMPY M. & MEYBECK M. (1995). Les sédiments lacustres. In Pourriot et Meybeck (sous la dir.), *Limnologie Générale*, Paris, Masson, 956 p. pp. 185-226.
- CHARTIER D., RODARY E. (2016). *Manifeste pour une géographie environnementale*. SciencesPo, Les Presses, 439 p.
- CHASSIOT L. (2015). *Forçages naturels et anthropiques sur la sédimentation holocène en domaine lacustre. Application aux lacs d'Auvergne et aux réservoirs des bassins versants de la Loire et d'Adour Garonne*. Thèse de l'Université d'Orléans. ED Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers. Institut des Sciences de la Terre d'Orléans. 500 p.
- CLAVAL P. (1998). *Histoire de la Géographie française de 1870 à nos jours*. Nathan Université, Paris, 543 p.
- CLAVAL P. (1973). Problèmes d'histoire de la géographie naturelle. In *Etudes d'histoire de la géographie et de la cartographie*, Varsovie, p. 37-58.
- COLLET L.W. (1925). Les lacs : leur mode de formation, leurs eaux, leur destin. Ed. Gaston Doin, Paris, 320 p.
- CORPEN (2004). *Techniques culturales sans labour (TCSL)*. Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. INRA – INAPG, résumé des communications du colloque du 31 mars 2004. 21 p.
- DE CESARE G. (2014). Génie biologique et protection des rives. Conférence LATLAS – Gestion des rives lacustres, octobre 2014, Lausanne, Suisse.

- DELEBECQUE A. (1898). *Les lacs français*. Paris, Chamerot et Renouard, 436 p.
- DERIOS P., NEBOIT-GUILHOT R. et RENARD J. (1996). Des espaces ruraux fragiles et des paysages en mutation » in Neboit-Guilhot René et Davy Lucette (dir.), *Les français dans leur environnement*, Paris, Comité national français de géographie, Nathan, p. 145-181.
- DERVILLE I., BONENFANT M., ROYET P., LEPETIT D. et JIGOREL A. (2001). Retour d'expérience du démantèlement du barrage de Kernansquillec. *Ingénieries*, vol. 25, n°3, p. 13-27.
- DUFOUR S., PIEGAY H. (2009). From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25, pp. 568-581.
- FINGER-STICH (2013). Etangs en société : sujets versatiles. In Oertli B ; Frossard P.A. (dir.), *Mares et étangs : écologie, gestion, aménagement et valorisation*. Lausanne : Presses Polytechniques et universitaires romandes, p. 13-20.
- FOREL F. A. (1892-1904). *Le Léman : monographie limnologique*. Lausanne, F. Rouge, tome I, II et III, 1909 p.
- FOURNIER F. (1960). *Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle en Lettres et Sciences Humaines, Université de Paris, pp. 1-31.
- GAUTIER E., PECH P. (2016). La reconstruction d'un « géographie naturaliste ». In CHARTIER D. et RODARY E., *Manifeste pour une géographie environnementale*, SciencesPo, Les Presses, 439 p.
- GEORGE P. (1961). Existe-t-il une géographie appliquée ? *Annales de Géographie*, LXX<sup>e</sup>, n° 380, p. 337-345.
- GERASIMOV I.P. (1956). Le rôle de la géographie dans la construction socialiste en URSS et les tendances actuelles de son évolution. *Essai de géographie*, p. 7 et suiv.
- GERMAINE M.A. & BARRAUD R. (2013b). Restauration écologique et processus de patrimonialisation des rivières dans l'ouest de la France. *Vertigo*, Hors-série n°16 « Patrimonialiser la nature », <http://vertigo.revues.org/13583>.
- GERMAINE M.A., BARRAUD R. (2013a). Les rivières de l'Ouest de la France sont-elles seulement des infrastructures naturelles ? Les modèles de gestion à l'épreuve de la DCE. *Nature Sciences Sociétés*, 21/4, p. 373-384.
- GERMAINE M.A. and LESPEZ L. (2017). The failure of the largest project to dismantle hydroelectric dams in Europe? (Sélune River, France, 2009-2017). *Water Alternatives* 10(3): 655-676 ;

- GERMAINE M.A. & LESPEZ L. (2014). Le démantèlement des barrages de la Sélune (Manche). Des réseaux d'acteurs au projet de territoire ? *Développement durable et territoires*, 5(3). <http://developpementdurable.revues.org/10525>.
- GIANNINI J.A. (1986). A description of large-scale variability in the ocean using the diffuse attenuation coefficient. European Space Agency Publication, 86 (3), p. 1313-1318.
- GOLTERMAN H.L. (1975). *Physiological Limnology*. Amsterdam : Elsevier, 363 p.
- GRAFFOUILLERE M., TOUCHART L., SAVY B., PAPON P. (2003). *Qu'est-ce qu'un limnosystème ?* Aquadoc.
- GRANJEAN A. (2010). Le grand enjeu du barrage sur l'Issoire. Article du journal *La Charente Libre*, publié le 25 septembre 2010.
- GUÉDON G., DE SANTIAGO MARTIN A. et GALVEZ-CLOUTIER R. (2014) – *Restauration du lac La Retenue, L'Ange-Gardien (Québec)*. Phase I : Caractérisation des sédiments et qualité de l'eau de surface. Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval, Québec. 37 p.
- GUMUCHIAN H., MAROIS C., FÈVRE V. (2000). *Initiation à la recherche en géographie*. Aménagement, développement territorial, environnement. Presses Universitaires de Montréal, Ed. Economica, Anthropos, 425 p.
- HAGGETT P. (1983). *Geography, a modern synthesis*. 3ème édition, p. 598.
- HÅKANSON L. (1984). The swedish coastal zone project : sediment types and morphometry. In P.G. Sly, *Sediments and waters interactions*. Springer Verlag, 521 p.
- HELLIER E., CARRÉ C., DUPONT N., LAURENT F., VAUCELLE S. (2009). *La France. La ressource en eau. Usages, gestions et enjeux territoriaux*. Armand Colin, Géographie, collection U, 309 p.
- HORTON R-E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos Trans. AGU*, 13(1), pp. 350–361, DOI : 10.1029/TR013i001p00350.
- HUBER A. (2014). *Vagues et revitalisation des rives*. Conférence LATLAS – Gestion des rives lacustres, octobre 2014, Lausanne, Suisse.
- ISELI C. et M. WEHRLI M. (1995). Zehn jahre schilfund uferschutzmassnahmen am bielersee. VBS Schriftenreihe, vol. 4.
- JENNY J.P. (2013). *Réponses des grands lacs périalpins aux pressions anthropiques et climatiques récentes*. Reconstitutions spatio-temporelles à partir d'archives sédimentaires. Thèse de l'Université de Grenoble, spécialité Sciences Terre, Univers et Environnement, 247 p. CEMAGREF Edition, p. 163-177.
- JIGOREL A., LANG F., MELEC D., LEDRAPPIER M. (2003). *Impacts sédimentologique et biologique de la gestion des sédiments dans le bassin maritime de la Rance*. Actes du

colloque technique « Barrages et développement durable en France », Paris, novembre 2003. CEMAGREF Edition, pp. 163-177.

JOSSERAND L. (1958). Sur l'enseignement de la géographie. In *Revue de géographie de Lyon*, vol. 33, n°4, 1958. pp. 365-370.

JUILLARD E. (1962). Le colloque de géographie appliquée de Strasbourg (20 au 22 avril 1961). In *Revue Géographique de l'Est*, tome 2, n°1, pp. 47-50.

JUILLARD E. (1960). La géographie volontaire, une recherche interdisciplinaire. In *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*. 15<sup>e</sup> année, n° 5, pp. 927-935.

JUNG S., ARNAUD F., BONTÉ P., DESMET M., DORIOZ J.M., WINIARSKI T. et TASSIN B. (2007). *Sensibilité des milieux lacustres à la pression urbaine : expression des traceurs de pression*. Fiche Action ZABR : lacs urbains, Action 2 – année 2007 de l'accord cadre Agence de l'eau, 114 p.

KNAFOU R. (sous la dir.) (1997). *L'état de la géographie. Autoscopie d'une science*. Belin, Paris, Mappemonde, 438 p.

KONAN K.S., KOUASSI K.L., KONAN K.F., KOUAME K.I., AKA K. et GNAKRI D. (2013). Evaluation des charges solides et caractérisation hydrochimique des eaux du lac de barrage hydroélectrique d'Ayamé 1 (Côte d'Ivoire). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, 2013, n° 35, p. 17-25.

KOREN N. & KLEIN M. (2000). Rate of sedimentation in lake Kinneret, Israel : spatial and temporal variations. *Earth Surf. Proc. And Landf.*, n° 25, 895-904.

KOUAKOU K.A., AW S., ADAMOU M.M., SIAKA S. et SAVANE I. (2014). Caractérisation des sédiments du système lacustre de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) et spéciation de leurs phosphores. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (4), p. 1013-1020.

KROTOV W.A. (1967). The development of applied geography in the Soviet Union. Actes du Colloque international de géographie appliquée, Liège, p. 127-135.

LECHEVALIER C. (1992). Evolution des structures agraires et érosion des sols en pays de Caux. *BAGF*, p. 101-106.

LE LANNOU M. (1949). *La géographie humaine*. Paris, Flammarion, 249 p.

LE SAOUT M. (2001). Etude bathymétrique de la retenue de Saint-Germain de Confolens – Carte bathymétrique 1:1 500. Saunier-Techna, Saint-Grégoire.

LESPEZ L. (2012). *Paysages et gestion de l'eau : sept millénaires d'histoire des vallées en Normandie*, Bibliothèque du Pôle Rural 3, MRSH-Caen, 336 p.

LESPEZ L., DUFOUR S. (2017). *Géographie physique et gestion de l'environnement et des paysages. Expertise, critique et engagement*. Séminaire, 1<sup>ère</sup> demi-journée d'échange, 22 septembre 2017, ENS, Paris.

- LESPEZ L., GERMAINE M.A. (2016). La rivière désaménagée ? Les paysages fluviaux et l'effacement des seuils et des barrages en Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord-Est. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 67, p. 223-254.
- LESPEZ L., VIEL V., ROLLET A.J. & DELAHAYE D. (2015). The anthropogenic nature of present-day low energy rivers in western France and implications for current restoration projects. *Geomorphology*, 251, 64-76.
- LESPEZ L., VIEL V., CADOR J.M., GERMAINE M.A., GERMAIN-VALLÉE C., ROLLET A.J., DELAHAYE D. (2013). Environmental dynamics of small rivers in Normandy (western France) since the Neolithic era. What lessons for today in the context of the European Water Framework Directive? In Arnaud-Fassetta G., Masson E., Reynard E. (Ed.), *European Continental Hydrosystems under Changing Water Policy*, Friedrich Pfeil Verlag, München, p. 71-90.
- LIAGRE F. (2006). *Les haies rurales. Rôles, création, entretiens*. Editions France Agricole, Paris, pp. 15-67.
- LIMOUSIN UNIVERSITE (2016). *L'Université et l'Entreprise. Des facteurs de compétitivité, de développement, d'innovation et d'emploi*. LU, n° 119, janvier, p. 5-12.
- LOTITO V. (2011). *La reconquête des berges du lac du Bourget : un projet ambitieux et emblématique en termes de développement durable*. Dossier de presse. Le Grand Lac, 1999-2015. Conseil Général de la Savoie, 6 p.
- LOUP J. (1974). Maurice Pardé (1893-1973). *Revue de géographie alpine*, tome 62, n°2. pp. 133-136.
- MAILLOCHAUD J-F. (2006). *Etude pour l'élaboration de la charte départementale d'aménagement foncier de la Charente*. Magistère Aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours (EPU-DA), sept. 2006. Conseil Général de la Charente, Direction de l'animation et du développement durable. 113 p.
- MALEVAL V. (2015). *Etude limnologique du lac de Saint-Germain de Confolens. Protocole d'étude : objectifs, note méthodologique et budget prévisionnel*. UMR CNRS 6042 Géolab, mars 2015, 62 p.
- MALEVAL V. (2010). *Le lac de Saint-Pardoux. Evolution du littoral et sédimentation lacustre*. Presses Universitaires Blaise Pascal, coll. « Nature et Sociétés », 169 p.
- MALEVAL V. (2006). *L'apport d'un bilan sédimentaire en milieu lacustre*. Z. Geomorph. N.F. 50-4, pp. 465-477.
- MALEVAL V. (2002). La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux (massif d'Ambazac, Limousin, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2002, n° 4, p. 307-320.
- MALEVAL V. (1999). *L'évolution des rivages des lacs de barrages artificiels*. Norois, Poitiers, n° 143, tome 46, 1999 - 3, pp. 453-464.

- MALEVAL V. et ASTRADE L. (2003). Le modelage d'une cuvette lacustre artificielle après son remplissage : quantification et chronologie de l'érosion des rives du lac de Saint-Pardoux, Limousin (France). *Revue de Géographie Alpine*. 2003, Tome 91, n°1. pp. 29-40.
- MALEVAL V., JIGOREL A. (2002). La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux (massif d'Ambazac, Limousin, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 4, p. 307-320.
- MARGALEF R. (1983). *Limnologia*. Barcelona : Omega, 1010 p.
- MATAGNE P. (2016). Géographie-Écologie. Occasions manquées et opportunités. In CHARTIER D. et RODARY E., *Manifeste pour une géographie environnementale*, SciencesPo, Les Presses, 439 p.
- MATHIEU N. et JOLIVET M. (dir.) (1989). *Du rural à l'environnement. La question de la nature aujourd'hui*. Paris, L'Harmattan.
- MATHEY F., PRADERVAND R., BURRI D., JOTERAND J.P., SREHLER PERRIN C., CLERC C., ANTONIAZZA M., DURAND P., HOFMANN F., MEYLAN S., BEUCHAT S. et KULLING P. (2004). Lutte contre l'érosion de la rive sud du lac de Neuchâtel. Bilan de mesures. *Cahier de l'Environnement*, n° 372, Nature et Paysage, Berne, 2004, 69 p.
- MAUCORPS J. (1987). Estimation spatiale des risques de dégradation physique des sols dans le Nord-Pas-de-Calais. *Hommes et Terres du Nord*, p. 147-150.
- MEYNIER A. (1955). Quelques exemples de géographie appliquée. *Norois*, vol. 5, n°1, pp. 41-50.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET (2014). Guide méthodologique pour la mobilisation des mesures du FEADER en faveur du projet agro-écologique. MAAF, mai 2014, 20 p.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET (2014). *Les MAEC et l'AB, 2015-2020*. Réunions inter-régionales. Bureau des actions territoriales et agroenvironnementales. MAAF – Union Européenne. 125 diapositives.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET (2012). *Les mesures agroenvironnementales*. MAAF – Union Européenne. Wagram Editions, déc. 2012, 31 p.
- MITROI V., DEROUBAIX J-F., VINÇON-LEITE B., CATHERINE A., MALEVAL V., HUMBERT J-F. (2016). Évaluation de la qualité des plans d'eau urbains et périurbains : apport des approches transdisciplinaires et régionalisées. *Natures Sciences Sociétés, Dialogues*, EDP Sciences 2016. 14 p. DOI: 10.1051/nss/2016032.
- MITROI V., DEROUBAIX J-F., MALEVAL V., VINÇON-LEITE B., CATHERINE A., HUMBERT J-F. (soumis). Bringing together expert ecological indicators with social representations

of peri-urban lake quality. Contributions to a territorial management of peri-urban lakes in Ile-de-France.

- MORRIS G. L. et FAN J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use*. McGraw-Hill, New-York, 805 p.
- NAUMANN E. (1931). *Limnologische Terminologie*. Berlin : Urban and Schwarzenberge, Coll. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, 776 p.
- NEDJAI R., MESSAOUD N.N., BENSALD A. (2016). Evolution de la dynamique hydrosédimentaire des étangs de moyenne montagne sous la double influence urbaine et agricole : cas de l'étang de Haute-Jarrie (Isère, France). *Revue géographique de l'Est*. Vol.56/n°1-2, mis en ligne le 29 août 2016. URL : <http://rge.revues.org/5695>
- PAPON P. (2007). *Les plans d'eau superficiels : définition, fonctionnement et aménagements*. Etude du lac Balaton, du lac de Grand-Lieu et de l'étang de Cieux. Thèse de doctorat en géographie, septembre 2007, Université de Limoges.
- PAPON P., MALEVAL V., NEDJAÏ R. (2005). *Le bilan sédimentaire en lac : l'influence de la course du vent sur l'érosion*. BAGF, 2005-2, pp. 213-223.
- PARDÉ M. (1949). *Potamologie*. Université de Grenoble, École Nationale Supérieure d'Electrotechnique et d'Hydraulique, Section Hydraulique, 2<sup>ème</sup> édition, 2 tomes. 336 p.
- Parlement européen et Conseil de l'Union européenne (2000). *Directive 2000/60/CE* établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, 23 octobre.
- Parlement européen et Conseil de l'Union européenne (1998). *Directive 98/83/CE* relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, 3 novembre.
- PEIRY J-L. (1988). *Approche géographique de la dynamique spatio-temporelle des sédiments d'un cours d'eau intra-montagnard : l'exemple de la plaine alluviale de l'Arve (Haute-Savoie)*. Thèse de géographie et aménagement, Université Jean Moulin, Lyon 3, pp. 295-330.
- PHLIPPONNEAU Michel (1999). *La géographie appliquée. Du géographe universitaire au géographe professionnel*. Collection U – Géographie, Armand Colin, Paris. 299 p.
- PHLIPPONNEAU Michel (1996). La commission de géographie appliquée et le développement des applications de géographie. In *Géographes face au monde*, Paris, L'Harmattan, 464 p.
- PHLIPPONNEAU Michel (1992). Une relance des recherches sur la géographie appliquée. *Intergéo Bulletin*, n° 108.

- PHILIPPONNEAU Michel (1960). *Géographie et action. Introduction à la géographie appliquée*. Armand Colin, Paris. 227 p.
- PIDOUX F. (2014). *Genève 2000-2030 : étude préliminaire de localisation et de morphologie des aménagements lacustres*. Conférence LATLAS – Gestion des rives lacustres, octobre 2014, Lausanne, Suisse.
- PINCHEMEL Philippe (1996). Introduction. In Robic M-C. et al., *Géographes face au monde*. Paris, L'Harmattan. 464 p.
- PINCHEMEL Philippe et GENEVIÈVE (1996). La face de la terre. Armand Colin, Paris, collection U, 517 p.
- PITOIS F (2017). Retenue du Moulin Neuf à Pont l'Abbé (29) : bilan de 20 ans de suivis et d'actions. Rapport pour la CCPBS (Com Com du Pays Bigouden Sud). 68 p.
- PITOIS F, THOMAS O., THORAVAL I., BAURES E. (2014). Learning from 8 years of regional cyanobacteria observation in Brittany in view of sanitary survey improvement. *Environment International*, 62, 113-118.
- RAWSON D.S. (1942). A comparison of some large alpine lakes in Western Canada. *Ecology*, 23, pp. 143-161.
- REIGNIER D. ET KERRIEN F. (2015). L'eau des lacs : peut-on la boire et s'y baigner ? In MONTUELLE B. et CLEMENS A. (sous la direction). *Le tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions. 3- Qualité des eaux*. Ed. du GRAIE, Villeurbanne, p. 56-57.
- ROBIC M-C., TISSIER J-L, PINCHEMEL P. (2011). Deux siècles de géographie française. Une anthologie. *Géographie CTHS*, 559 p.
- ROUGERIE G. et BEROUTCHACHVILI N. (1991). *Géosystèmes et paysages. Bilan et méthodes*. Paris, Armand Colin, p. 41.
- RUTTNER F. (1963). *Fundamentals of limnology*. University of Toronto Press, 3<sup>rd</sup> ed., 295 p.
- SAVY B. (2006). Hydro-limnologie du haut bassin de la Charente : une approche géographique appliquée aux relations lac de barrage-émissaire. La température de l'eau en aval des lacs de Lavaud et Mas Chaban. Thèse de doctorat de l'Université de Limoges, géographie, mars 2006. 375 p.
- SCHWOERBEL J. (1987). *Handbook of Limnology*. Chichester : Ellis Horwood, 228 p.
- SEP DU CONFOLENTAIS (2015). Plan d'action sur 5 ans. Document interne du Syndicat d'Eau Potable, Confolens, 9 p.
- SIKIRDJI L. (1982). *Etude sédimentologique et géotechnique des alluvions déposées dans la retenue du Chambon (vallée de la Romanche, Isère), après 45 ans d'exploitation*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle en géologie appliquée, à l'Université de Grenoble 1, p. 26-55.
- STAMP L. Dudley (1960). *Applied geography*. Londres, Penguin Books. 218 p.
- STELLA E. (1984). *Fundamenti di Limnologia*. Roma : Ateneo, 300 p.

- STEVENSON (1852). Observations on the relation between the height of waves and their distance from the windward shore. *Edinburg Now (Jameson's) Philosophical Journal*, 53, pp. 358-359.
- STEYAERT P., OLLIVIER G. (2007). The European water framework directive: how ecological assumptions frame technical and social change, *Ecology and Society*, 12, 1, <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art25/>.
- THÉVENON F., POTE J., GIRARD CLOS S., ADATTE T. et DE ALENCASTRO L.F. (2014). Étude des sédiments lacustres. L'impact des activités humaines sur la qualité des ressources naturelles en eau. *AQUA & GAS*, n° 3, 22 p.
- TOUCHART L. (2016). Le bilan thermique des étangs : réflexion épistémologique et application aux étangs limousin. *Annales de Géographie*, n° 708, 2016, pages 143-169, Armand Colin.
- TOUCHART L. (2002). Limnologie physique et dynamique. Une géographie des lacs et des étangs. L'Harmattan, Paris. 395 p.
- TOUCHART L. (2000). *Les lacs, Origine et morphologie*. L'Harmattan, Paris. 203 p.
- TOUCHART L. (1993). La machine lacustre : l'exemple du Léman. *Annales de géographie*, n° 573, pp. 449-471.
- TOUCHART L. et BARTOUT P. (2018). Le limnosystème est-il un concept géographique ? *Annales de Géographie*, 127(719), pp. 29-58.
- TOUCHART L., BARTOUT P., NEDJAI R. (2014). La géographie limnologique en France : conjugaison de l'espace et du temps pour la compréhension des relations homme-milieu. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 62, pp. 81-91.
- TOUCHART L. et GRAFFOUILLE M. (sous la dir. de) (2004). *Les étangs limousins en questions*. Editions de L'A.I.G.L.E., Limoges, 187 p.
- TRICART J. (1978). *Géomorphologie applicable*. Masson, Paris, Collection de géographie applicable sous la direction de M<sup>me</sup> J. Beaujeu-Garnier, 204 p.
- TRICART J. (1973). La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. *Annales de Géographie*, t. 82, n°452, pp. 420-453.
- TRICART J. (1968). La recherche en Europe : Géographie. Conseil de la coopération culturelle, Conseil de l'Europe, Strasbourg, 51 p.
- TRICART J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Masson & Cie, Paris, pp. 7-75 ; 471-475.
- TRICART J. (1962). *L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée*. Masson, Paris, coll. Evolution des sciences, 160 p.

- TRICART J. (1959). Enquête sur les organismes faisant des recherches de géomorphologie appliquée : le Centre de Géographie Appliquée (Strasbourg). *Revue de Géomorphologie dynamique*, X, pp. 85-96.
- TRICART J. et KILIAN J. (1979). L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel. Édition Maspero, Paris, 326 p.
- TYMEN R. (1997). *Traitements curatifs de l'eutrophisation sur quelques retenues du bassin Loire-Bretagne*. Rapport de synthèse, AELB, 47 p.
- VALADAS B. (2004). *Géomorphologie dynamique*. Armand Colin, Campus, Paris, pp. 135-139.
- WEBB B.W. & WALLING D.E. (1997). Complex summer water temperature behavior below a U.K. regulating reservoir. *Regulated Rivers : Research and Management*, 13(5), pp. 463-477.
- WELCH P.S (1952). *Limnology*. New-York : Mc Graw-Hill, 2<sup>nd</sup> ed. 536 p.
- WETZEL R.G. (2001). *Limnology, lake and river ecosystems*. San Diego : Academic Press, 3<sup>rd</sup> ed., 1006 p.

## **ANNEXES**

### **- EXEMPLE DE PROTOCOLE D'ETUDE -**



### **ETUDE LIMNOLOGIQUE DU LAC DE SAINT - GERMAIN DE CONFOLENS**

#### **Protocole d'Etude :**

**Objectifs, notes méthodologiques et budget prévisionnel**

**Mars 2015**

**SEP DU CONFOLENTAIS**

7 rue des Recollets

16500 CONFOLENS

# Etude limnologique du lac de Saint-Germain de Confolens

## SOMMAIRE

● PRESENTATION DES PRINCIPAUX PROTAGONISTES DE L'ETUDE .....	p. 3
1 – CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	p. 3
1 - 1 – Le lac de Saint-Germain en Confolens .....	p. 3
1 - 2 – Objectifs de l'étude .....	p. 4
2 – ETUDE DU BASSIN D'ALIMENTATION .....	p. 4
3 – ETUDE DU LAC.....	p. 5
3 - 1 – Bathymétrie lacustre .....	p. 5
3 - 2 – Suivi sédimentologique .....	p. 5
3 - 3 – Morphologie littorale .....	p. 5
3 - 4 – Suivi de la qualité de l'eau .....	p. 6
3 - 5 – Thermodynamique de la retenue .....	p. 6
4 – EQUIPES MOBILISEES .....	p. 6
5 – BUDGET PREVISIONNEL .....	p. 7
6 – DATES D'INTERVENTIONS .....	p. 7
7 – PROPOSITION D'ETUDES COMPLEMENTAIRES .....	p. 7
ANNEXE .....	p. 9
● CV	
- Véronique MALEVAL	
- Benoît SAVY	
● Devis	

## Protocole d'Etude :

### Etude limnologique du lac de Saint-Germain de Confolens

#### PRESENTATIONS DES PRINCIPAUX PROTAGONISTES

**Véronique Maleval** (cf. CV en annexe), auteure du protocole de recherche ci-après à un statut d'enseignant-chercheure en Géographie et Aménagement à l'Université de Limoges et dans l'unité de recherche 6042 du CNRS : GEOLAB. Sa spécialité, la limnologie appliquée à la géomorphologie (étude des modelés des lacs), lui confère les compétences requises pour conduire cette étude sur le lac de Saint-Germain de Confolens. Sa fonction, entre autres, de coordinatrice des partenaires se fera en collaboration avec Benoît Savy, géographe de formation ayant également pour spécialité la limnologie appliquée à la thermique des lacs.

**Benoît Savy**, (cf. CV en annexe), maire de Montrollet et président du SIGIV<sup>1</sup> est docteur en Géographie de l'Université de Limoges. Il a mené de nombreuses études en hydrologie et limnologie notamment sur le haut bassin de la Charente et les lacs de Lavaud et de Mas Chaban.

#### 1 – CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

##### 1-1 – Le lac de Saint-Germain de Confolens

Le lac de Saint-Germain de Confolens, dont les caractéristiques apparaissent dans le tableau ci-dessous, a été créé au début des années 70 sur l'Issoire, juste en amont de sa confluence avec la Vienne, pour alimenter en eau potable le Confolentais, bassin de vie d'environ 14 000 habitants pour 18 communes. Le volume prélevé annuellement pour l'AEP dépassant le million de m<sup>3</sup>, cette fonction exclusive du lac représente un enjeu considérable pour la population mais aussi pour la structure qui gère à la fois la retenue et la distribution de l'eau : le Syndicat d'Eau Potable (SEP) du confolentais.

Date de mise en eau	1972
Cote normale de remplissage (m)	136
Superficie originelle à la cote 136 NGF (ha)	24
Volume originel à la cote 136 NGF (m <sup>3</sup> )	740 000
Profondeur maximale originelle (m)	8
Taux de renouvellement des eaux (jours)	6,5
Date d'installation du déstratificateur	1994

<sup>1</sup> Syndicat Intercommunal des bassins du Goire, de l'Issoire et de la Vienne de Charente limousine

Superficie actuelle à la cote 136 NGF : delta non inclus (ha)	environ 21
Périmètre : delta non inclus (km)	5,52
Superficie actuelle à la cote 136 NGF : delta inclus (ha)	environ 19
Périmètre : delta inclus (km)	6,68
Profondeur maximale actuelle (m)	à déterminer
Profondeur moyenne actuelle (m)	à calculer

**Caractéristiques du lac de Saint-Germain de Confolens**

**1-2 – Objectifs de l'étude**

Suite aux dysfonctionnements observés par le SEP et le SIGIV (notamment un fort taux de MES et phosphore dans l'eau du lac), la décision de procéder, sur un délai d'un an minimum, à une étude complète de la retenue dans son bassin-versant a été jugée primordiale. En effet, les paramètres environnementaux de ce lac, lac pourtant à enjeu déterminant (AEP), ne sont à ce jour pas connus car, mises à part quelques études ponctuelles (telle la qualité de l'eau), jamais il n'y eut d'étude d'impacts visant à connaître les facteurs d'évolution du milieu avant sa création ; cette obligation pour les nouveaux aménagements étant entrée en vigueur seulement quelques années après la création du lac de Saint-Germain (juillet 1976).

Pour assurer la sécurité de l'approvisionnement en eau et de sa qualité, cette étude propose donc de mettre en parallèle l'ensemble des paramètres environnementaux influant sur la vie du lac de façon à véritablement connaître le fonctionnement physique du lac ainsi que son évolution.

**2 – ETUDE DU BASSIN D'ALIMENTATION DU LAC DE SAINT-GERMAIN DE CONFOLENS**

Un lac n'est pas seulement un milieu qui interrompt un cours d'eau, c'est le maillon d'une chaîne complexe qui est en relation directe avec son bassin versant (dont les caractéristiques se trouvent ci-dessous). Pour cette raison, il est nécessaire d'étudier les échanges et influences s'exerçant du BV vers le lac d'autant que la superficie du bassin alimentant le lac est grande (284 km<sup>2</sup>) et que la vocation est très majoritairement agricole ; les activités fourragères et d'élevage ayant pour conséquences d'influencer la qualité des eaux et de leur livrer un important stock de sédiments, comme en témoigne le modelé deltaïque construit juste à l'embouchure de l'Issoire dans le lac de Saint-Germain.

Superficie (km2)	284,66
périmètre	à mesurer
Longueur maximale (m)	-
Altitude maximale (m)	-
Altitude minimale (m)	136
Longueur de l'Issoire (km)	39
Densité du drainage	à calculer

**Caractéristiques morphométriques du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens**

Les principaux échanges étudiés entre le BV et le lac seront les apports solides (MES) entrants avec les eaux de l'Issoire<sup>2</sup> elles-mêmes en relation avec les précipitations<sup>3</sup> Cette étude sera conduite sur une année de façon à observer les périodes de plus ou moins grandes teneurs en MES. Pour avoir une connaissance précise du volume solide retenu par le lac, le même travail sera conduit juste en aval de la retenue pour mesurer les sorties de MES du lac. Ce travail sur les débits solides de l'Issoire ne peut se passer de la mesure des débits liquides en entrée et sortie du lac. Pour cela, le SEP s'engage à installer une station limnimétrique aux 2 points de prélèvement des échantillons d'eau pour fournir les valeurs de débit. Les résultats de MES, complétés par ceux issus de l'étude à l'intérieur même de la retenue, permettront de faire le bilan sédimentaire lacustre.

Pour affiner les résultats de ce travail sur les échanges solides s'effectuant entre le BV et le lac, il conviendra de connaître l'occupation actuelle du sol du BV ainsi que l'évolution qu'elle a connu depuis la création du lac. Cette connaissance permettra de comprendre les teneurs, l'origine et la nature des apports solides aboutissant à la retenue par le biais du réseau hydrographique.

### **3 – ETUDE DU LAC DE SAINT-GERMAIN DE CONFOLENS**

Pour connaître le fonctionnement et l'évolution morphologique de la retenue d'eau de Saint-Germain de Confolens, il est nécessaire de mettre en œuvre, *in situ*, des méthodes complémentaires pour révéler les processus œuvrant à l'intérieur du lac ; ces méthodes se basent sur des séries d'observations, une instrumentation du lac, des mesures de terrain et de multiples analyses en laboratoire.

#### **3-1 – Bathymétrie lacustre**

Pour une étude sédimentologique, de surcroît indispensable à Saint-Germain, la base du travail se fait à partir d'une carte bathymétrique ; le premier travail sera donc d'établir cette carte grâce à une bathymétrie manuelle à la perche et à la sonde, dont la particularité est d'obtenir 1) les isohypses originelles de la cuvette, 2) les isobathes actuelles, 3) le volume de la sédimentation abyssale, 4) la nature des sédiments.

A partir de ces données générales, l'instrumentation du lac sera nécessaire pour acquérir des précisions sur les modes de dépôts à l'échelle intra-annuelle.

#### **1-1 – Suivi sédimentologique**

Ce suivi est indispensable pour connaître les particularités des dépôts à savoir, le rythme, la variabilité, les volumes et la nature des sédiments au cours d'une année. C'est grâce à l'installation dans le lac de 3 sédimentomètres que le suivi sédimentaire, temporel et spatial, sera réalisé ; il permettra en outre la récupération d'échantillons de sédiments pour leur analyse en laboratoire.

---

<sup>2</sup> Débit moyen annuel de l'Issoire de 2,8 m<sup>3</sup>/s avec des HE en hiver (4,3 m<sup>3</sup>/s en moyenne) et des BE en été (0,8 m<sup>3</sup>/s).

<sup>3</sup> Précipitations moyennes annuelles du bassin versant : 850 mm ; les données météorologiques seront fournies par le SEP du Confolentais.

## **1-2 – Morphologie littorale**

Cette étude du littoral lacustre doit apporter des précisions d'une part, sur son évolution morphologique (vitesse de recul), d'autre part sur sa participation au volume des apports solides stockés en fond de cuvette. En effet, par érosion des berges, le lac lui-même est producteur de sédiments.

La nappe d'eau lacustre modèle sa cuvette depuis 43 ans grâce à son pouvoir d'érosion, de transport des sédiments et de leur dépôt. Pour acquérir des données concernant cette érosion littorale, l'étude morphologique devra être menée en 2 temps : la 2<sup>ème</sup> campagne de relevés topographiques devra intervenir une année après la 1<sup>ère</sup> de façon à enregistrer la modification des modelés littoraux. Celle-ci permettant alors d'évaluer la vitesse moyenne de recul des littoraux lacustres au cours d'une année ainsi que de calculer le volume de sédiments érodés, migrants ainsi jusqu'au fond du lac. Les résultats seront extrapolés pour évaluer l'érosion et le volume érodé depuis l'année de création du lac.

## **1-3 – Suivi de la qualité de l'eau**

La qualité de l'eau est sans doute le paramètre le plus connu car le plus contrôlé par le SEP compte tenu de la fonction exclusive du lac de Saint-Germain. Mais, la présence excessive et croissante de certains composants dans cette eau rend obligatoire la mise en place d'un suivi régulier et poussé de façon à comprendre l'origine des perturbations.

La situation qualitative de l'eau du lac de Saint-Germain pourra être comparée avec celle d'autres lacs, notamment bretons, ayant les mêmes particularités environnementales. Ce sera l'occasion de mettre à jour le rôle du déstratificateur.

## **1-4 – Thermodynamique de la retenue**

L'intérêt de cette étude est la connaissance de l'impact du déstratificateur sur la qualité de l'eau en termes de température mais aussi probablement, de remise en suspension des fines dans la colonne d'eau. Pour l'obtention des données thermiques, il convient d'acquérir 10 sondes thermiques enregistreuses : dans le lac, deux chaînes de bouée comportant chacune 4 sondes disposées en fonction de la profondeur seront localisées à proximité des 2 sédimentomètres aval ; une sonde sera localisée à l'entrée de l'Issoire dans la retenue, une autre, à sa sortie.

Les résultats liés aux diverses méthodes de ce protocole mèneront au diagnostic environnemental du lac de Saint-Germain de Confolens c'est-à-dire à la connaissance assez complète du fonctionnement physique du lac, de son évolution morphologique autant en termes de quantification que de bilan. Cette connaissance permettra de prendre les bonnes décisions pour la sauvegarde du lac et de sa fonction d'AEP par la mise en place de mesures conservatoires adéquates.

## **4 – EQUIPES MOBILISEES**

Les sociétés retenues n'ont pas été choisies au hasard, toutes sont connues pour leurs compétences par la coordinatrice de l'étude, ayant elle-même travaillé avec ces équipes sur des programmes de recherches dont celui du Lac de Saint-Pardoux (Haute-Vienne) ou celui du Léman sur la commune de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie).

Quatre équipes aux compétences différentes sont nécessaires à l'étude :

- Le traitement d'images pour l'étude du bassin d'alimentation sera conduit par Thierry MOREAU de la société TM Pro (Limoges).
- Pour l'étude sédimentologique (bathymétrie comprise) et qualité de l'eau lacustre, le travail sera effectué par l'INSA et Limnologie SARL dirigée par Frédéric PITOIS (Rennes).
- Pour l'étude du littoral lacustre, les mesures topographiques seront réalisées par Michel VEYRIER d'Images et Métrages (Limoges).
- La coordination des équipes, le suivi de l'étude, l'interprétation des données topographiques, la synthèse des différents résultats et la rédaction du rapport final seront faits par Véronique MALEVAL, enseignante-chercheuse spécialiste des lacs, appartenant à l'Université de Limoges et à l'UMR 6042 du CNRS (GEOLAB), par le biais de l'AVRUL (Association pour la valorisation de la recherche universitaire en Limousin). Elle travaillera en collaboration scientifique avec Benoît SAVY, géographe-limnologue de formation, président du SIGIV.

## 5 – BUDGET PREVISIONNEL

Les tarifs TTC figurants dans le tableau ci-dessous sont donnés avec un taux de TVA de 20 % mais, dans la mesure où le lac de Saint-Germain de Confolens est réservé à l'AEP et que cette étude est destinée à améliorer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, le taux réduit à 10 % devrait pouvoir être appliqué.

<b>Limnologie SARL</b> : bathymétrie, étude sédimentologique, étude qualitative de l'eau	<b>40 924 €</b>
<b>TM Pro</b> : SIG, MNT, analyse diachronique, cartographie	<b>4 989 €</b>
<b>Images et Métrages</b> : étude topographique du littoral (2 campagnes)	<b>4 560 €</b>
<b>Agralis Service</b> : achat des 10 sondes thermiques (124 € HT pièce)	<b>1 622 €</b>
<b>AVRUL (HT)</b> : coordination, suivi, analyse topographique et synthèse des différents résultats, rédaction du rapport final	<b>12 093 €</b>
<b>SIGIV</b> : collaboration à l'étude	<b>1 980 €</b>

L'ensemble des devis détaillés pour chaque société se trouve en annexe.

**Le montant de l'étude dans sa globalité s'élève à 66 128 €.**

## 6 – DATES D'INTERVENTIONS

Dès l'accord de principe donné par le SEP du Confolentais, la première équipe à intervenir sera Limnologie SARL. Elle devra procéder dans un premier temps au travail bathymétrique et au dépôt des sédimentomètres ; dans un second temps, tous les 3 mois, la collecte des sédiments donnera lieu aux analyses en laboratoire. Chaque semaine, elle procédera à l'analyse de l'eau, après envoi des échantillons par les techniciens du SEP.

Le travail sur les littoraux par Images et Métrages s'effectuera en période de marnage des eaux pour en faciliter l'accès : probablement à partir du mois de juillet si le temps n'est pas favorable au marnage du lac dans les mois précédents. La seconde campagne topographique aura lieu une année après les premiers relevés.

Enfin, la partie géomatique de TPro pourra commencer dès l'accord de principe.

La coordinatrice de cette étude s'engage à être présente, avec Benoît Savy, à l'ensemble des missions de terrain des différentes équipes et participera aux réunions du SEP et, si nécessaire, d'autres structures, après concertation des dates retenues pour ces réunions. Le cas échéant, Benoît Savy, remplacera Véronique Maleval.

## **7 – PROPOSITION D'ETUDES COMPLEMENTAIRES**

Cette étude se déroulant sur une année (mars 2015 à mars 2016) ne prend ainsi pas en compte la 2<sup>ème</sup> campagne topographique, nécessaire à la connaissance de la vitesse d'évolution du trait de côte permettant de calculer le volume de sédiments arrachés au littoral et migrant jusque dans le fond de la cuvette lacustre. Pour cette raison, il sera nécessaire de poursuivre l'étude jusqu'à l'automne 2016.

De plus, pour cette partie littorale, le lac de Saint-Germain étant un aménagement anthropique, la végétation riveraine de la nappe d'eau n'est pas forcément adaptée à l'hydromorphie constante du sol ; sa détérioration pouvant entraîner un apport conséquent de matières organiques au lac. De ce fait, le recensement des différentes espèces végétales présentes sur les berges lacustres pourra s'avérer important (après l'obtention des vitesses d'érosion) pour qualifier les essences préservant la berge d'une vive érosion de celles, non adaptées, exacerbant le recul. Pour celles-ci, pourront être proposées des actions conservatoires.

Ce sera également l'occasion d'approfondir la recherche sur le bassin versant. En effet, lorsque les taux de MES entrants dans le lac seront connus dans leur variabilité à l'échelle annuelle, la détermination des zones du BV fournissant le plus de sédiments sera nécessaire pour envisager des actions destinées à ralentir le processus d'érosion et donc de transport vers la retenue de Saint-Germain. La détermination de ces zones passera notamment par la connaissance 1) de la valeur des pentes les plus enclines à l'érosion par les eaux de ruissellement, 2) des types de cultures (certaines, laissant le sol à nu lors des saisons recevant plus de précipitations, favorisent l'érosion des terres).

Si le SEP accepte la poursuite de l'étude, les devis correspondants aux études du BV et du peuplement végétal du littoral seront établis (celui de la 2<sup>nde</sup> campagne topographique étant inclus dans ce budget).

Etude limnologique du lac de Saint-Germain de Confolens – Annexe 1 CV –



**Véronique MALEVAL**  
Enseignant-chercheur

Equipe  
"Dynamiques  
géoenvironnementales actuelles "

veronique.maleval@unilim.fr

tel : 05 55 43 55 64  
fax : 05 55 43 56 03



**Thématiques de recherche / Research interests**

- Paysages lacustres périurbains / *Lacustrine peri-urban landscapes*
- Géomorphologie littorale lacustre / *lacustrine coastal geomorphology*
- Processus hydrosédimentaires et bilan sédimentaire / *hydrosedimentary processes and sedimentary balance*
- Risques littoraux / *coastal risks*

**Terrains de recherche / geographical area**

- France / *France*  
Ile-de-France, Limousin, Centre, Rhône-Alpes
- Maroc / *Morocco*
- Estonie / *Estonia*

**Programmes de recherche / Research projects**

- Programme Hubert Curien, Parrot 2013 (2013-2014) sur la séquestration du carbone dans les sédiments des plans d'eau.
- Programme ANR « PULSE » (2011-2014) / *Research National Agency program "Peri-urban lakes, Society and Environment"*
- SIGMED (2009-2012) Approche Spatialisée de l'Impact des activités agricoles au Maghreb sur les transports solides et les ressources en Eau De grands bassins versants / *Spatial approach and relationship between human activities and in particular agriculture and sediment transport in the watershed of two major dams in Algeria and Morocco*
- Programme PPF interdisciplinaire "Rivière Allier", CPER « Environnement Auvergne » (2008-2011)
- Programme régional 30 % « China 3G » (2009) / « *China 3G* » program
- Programme ELDRED (2004-2005) / *European Lakes, Dams and Reservoirs Database program*

**Responsabilités scientifique / Scientific responsibilities**

- Membre du comité de pilotage pour la sauvegarde des rives du Léman sur la commune de Thonon-Les-Bains (2011-2014).
- Co-organisatrice du Colloque International « Un transfert comme les autres ? La cartographie en Littérature et Sciences humaines ». Université de Limoges, 25-27 nov. 2010 (co-organisation avec Florent Gabaude et Marion Picker).
- Membre du Conseil de Laboratoire Géolab, UMR 6042 CNRS, Université de Clermont-Ferrand (depuis 2008).



**Animations et communications scientifiques / Animations and scientific presentations**

**2013**

V. Maleval - Conseil Général de la Haute-Vienne - Aménagement d'un parcours scientifique à objectif pédagogique sur le sentier circumlacustre de Saint-Pardoux (Limousin).

**2012**

V. Maleval - Les apports sédimentaires directs au barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah. Workshop SIGMED, Rélizane (Algérie), 2-5 juin 2012.

**2011**

V. Maleval - Projet de bilan sédimentaire pour la retenue SMBA (Maroc). Workshop SIGMED, Rabat (Maroc), 29-30 septembre 2011.

**2010**

V. Maleval - La topographie féminine vue par une géographe géomorphologue. Journée de travail sur les « Topographies Féminines » EHIC, Université de Limoges, FLSH, juin 2010.

**2008**

V. Maleval - « *ToxCyc and GIS* ». Sino-France workshop on Water and Environment Science and Technology, November 03-07, 2008, Wuhan, China, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences.

**2008**

V. Maleval - *Presentation of the research project « China 3G Survey »*. Sino-France workshop on Water and Environment Science and Technology, May 12-15, 2008, Wuhan, China, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences.

**2007**

V. Maleval - *Le barrage des Trois Gorges (Chine) : étude de géographie limnologique*. Dialogues européens d'Evian « Du Baïkal au Léman », 13-15 septembre 2007.

**Publications récentes / Recent publications**

**2013**

Maleval V. (2013) « Premiers résultats des mesures d'érosion ravinatoire sur les versants lacustres du barrage Sidi Mphammed Ben Abdellah (Maroc) et perspectives de recherche. Pp 53-62, in « Gestion durable des terres », ARGDT, CERGeo, SigMED, mai 2013, 172 p.

**2013**

Touchart L., Millot C., Maleval V., Koff T., Terasmaa J., Vandel E., Vainu M., Nedjai R., Bartout P. & Azaroual A. (2013) « Le risque de dégradation de la qualité de l'eau des lacs de la réserve naturelle de Kurtna (Estonie) : le cas de la température et de l'oxygène dissous » *Riscuri și catastrofe*. Cluj-Napoca, Casa Cărții de Știință, vol. 13, an XII, n° 2 : 49-62. Revue (ISSN 15845273)

**2013**

Collectif SIGMED - Occupation du sol sur deux grands bassins d'Algérie et du Maroc, transport sédimentaire et barrages. Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management. *IAHS Publ. 362*, 10 p.

## *Curriculum Vitae*

### **Benoit Savy**

Né le 17 juillet 1975 à Confolens (16)

Marié, trois enfants.

2 Rue de la Résistance, 16 420 Montrollet

Tel : 05 45 71 28 18 / 06 81 22 32 55 – Courriel : benoit.savy@wanadoo.fr

*Maire* de Montrollet depuis mars 2014

*Président* du SIGIV (Syndicat Intercommunal des bassins du Goire, de l'Issoire et de la Vienne en Charente limousine) depuis avril 2014.

*Délégué* au Pays de Charente limousine

*Membre de la CLE* du SAGE Vienne, représentant les Maires de Charente.

### *Cursus scolaire et universitaire*

2006 : *Doctorat de Géographie* physique à l'Université de Limoges, mention très honorable avec félicitations du Jury.

Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Limoges.

2005 - 2001 : *Doctorant* à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Limoges.

2000 : *D.E.A. de Géographie, Moyennes montagnes et milieux ruraux fragiles*, (mention B.), Université de Limoges.

Adhésion à l'U.M.R 6042 C.N.R.S *Géodynamique des milieux naturels et anthropisés*.

1999 : *Maîtrise de Géographie*, (mention T.B.), Université de Limoges.

1998 : *Licence de Géographie, Aménagement des milieux naturels*, Université de Limoges.

1997 : *D.E.U.G de Géographie*, Université de Limoges.

1995 : *Baccalauréat général scientifique*, (mention A.B.), lycée Emile Roux de Confolens.

### *Activités professionnelles et d'enseignement*

2015-2011 *Enseignant en Histoire-Géographie*.

2009 : *Ingénieur Géographe*.

2008 : *Chargé de Mission Postdoctorat* GEOLAB (Equipe C.N.R.S UMR 6042),

2006-2005 : *Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche* à l'Université de Limoges.

2004-2001 : *Chargé de cours* à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines et de Pharmacie de l'Université de Limoges.

2003 - 2002 : *Membre Expert* du réseau Aquadoc Inter mis en place par L'Office International de l'Eau.

*Travaux universitaires et publications scientifiques dans le domaine de l'eau.*

**SAVY B.**, 2006, *Hydro-limnologie du haut bassin de la Charente : Une approche géographique appliquée aux relations lac de barrage-émissaire. La température de l'eau en aval des lacs de Lavaud et de Mas Chaban.*, Univ. Limoges, Thèse de doctorat en géographie, 375p.

**SAVY B.**, 2000, *Les lacs de Mas Chaban et de Lavaud et la température des eaux du fleuve Charente durant le soutien d'étiage 2000*, Univ. Limoges, mémoire de D.E.A de géographie, 119p.

**SAVY B.**, 1999, *La température de l'eau du fleuve Charente, tronçon entre la retenue de Lavaud et Alloue, du 16/11/98 au 30/06/99*, Univ. Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 168p.

GRAMONT D., **SAVY B.**, GRAFFOUILLERE M., BARTOUT P., 2005, *Méthodologie de délimitation des zones humides : de l'image satellitale à l'analyse terrain*, Bulletin de l'Association des Géographes Français (B.A.G.F), juin 2005.

**SAVY B.**, TOUCHART L., NION G., 2004, *Les étangs réchauffent-ils les rivières ?* dans Touchart L. & Graffouillère M., 2004, *Les étangs limousins en question*, Edition de l'A.I.G.L.E, Limoges, 179p : 87-127.

BARTOUT P., **SAVY B.**, GRAFFOUILLERE M., TOUCHART L., MATHELIN E., 2004, *Le Limousin est-il une région d'étangs ?* dans Touchart L. & Graffouillère M., 2004, *Les étangs limousins en question*, Edition de l'A.I.G.L.E, Limoges, 179p : 15-36.

PAPON P, TOUCHART L, **SAVY B.**, BRUNAUD D., GRAFFOUILLERE M., 2004, *Les étangs présentent-ils un risque pour la qualité des eaux du Limousin ?* dans Touchart L. & Graffouillère M., 2004, *Les étangs limousins en question*, Edition de l'A.I.G.L.E, Limoges, 179p : 131-153.

GRAFFOUILLERE M., MATHELIN E., **SAVY B.**, MALEVAL V., PAPON P, 2004, *Quel est l'impact de la vidange des étangs ?* dans Touchart L. & Graffouillère M., 2004, *Les étangs limousins en question*, Edition de l'A.I.G.L.E, Limoges, 179p : 39-63.

CROUZEVIALLE R., GRAFFOUILLERE M., TOUCHART L., **SAVY B.**, NION G., PAPON P., 2004, *Les étangs réduisent-ils les ressources en eau ?* dans Touchart L. & Graffouillère M., 2004, *Les étangs limousins en question*, Edition de l'A.I.G.L.E, Limoges, 179p : 67-83.

**SAVY B.**, TOUCHART L., 2003, *Les lacs à destratificateur thermique et le cas de Mas Chaban (Charente, France)*, *Revue de géographie alpine*, 91-1 mars 2003, 81-92.

## Etude limnologique du lac de Saint-Germain de Confolens – Annexe 2 – Devis détaillés



Rennes le 30/01/2015

**SEP du Confolentais**  
**7 rue des Récollets**  
**16500 Confolens**

### **Objet : Etude de la retenue de St Germain de Confolens**

Monsieur,

Suite à la demande transmise par Mlle Maleval (Université de Limoges), vous trouverez ci-joint une proposition pour l'étude du lac de Saint Germain de Confolens.

Cette étude reprend un canevas de méthodes appliquées dans l'ensemble des études de lacs eutrophes que nous avons pu conduire dans le grand Ouest au cours des 15 dernières années, et comprend 4 volets :

- Bathymétrie, cartographie des fonds et cubage des sédiments
- Etude sédimentaire permettant l'estimation des taux d'envasement par saison au cours d'un cycle annuel complet
- Suivi des flux de MES et du Phosphore total en entrée/sortie du lac, pendant un an sur un pas de temps hebdomadaire
- Suivi de la qualité des eaux pendant un an au cours de 5 campagnes de mesures sur site

Les différentes prestations seront réalisées soit directement par nos soins, soit sous-traitées à l'INSA de Rennes. Les analyses d'eau et de sédiments seront confiées au laboratoire LERES de l'EHESP de Rennes et au LDA d'Ille et Vilaine, tous deux accrédités COFRAC et agréés par le Ministère en charge de l'Environnement.

Restant à votre disposition, veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de mes plus sincères salutations.

F. Pitois

## Bathymétrie

Titre	nombre	TU (€ HT)	ss/total HT
Bathymétrie (ss traitance INSA)	1	4 670.00	4 670.00
Cartographie - traitement données	1	1 120.00	1 120.00
<b>ss/total 1</b>			<b>5 790.00 €</b>

## Etude sédimentaire

Titre	nombre	TU (€ HT)	ss/total HT
Location 3 sédimentomètres	3	784.00	2 352.00
Examen MEB	3	150.00	450.00
Granulométrie laser	12	93.00	1 116.00
Analyses COT/Ntotal/Ptotal	12	85.00	1 020.00
Teneur en eau	12	11.00	132.00
Masse volumique apparente	12	64.00	768.00
<b>ss/total 2</b>			<b>5 838.00 €</b>

## Qualité des eaux volet 1

Titre	nombre	TU (€ HT)	ss/total HT
Suivi annuel MES	104	7.00	728.00
Suivi annuel P total	104	14.58	1 516.32
Suivi mensuel formes de N	24	22.90	549.60
Suivi mensuel fer et manganèse	24	30.00	720.00
Suivi mensuel COT et COD	24	32.00	768.00
Suivi mensuel chlorophylle A	24	13.00	312.00
Suivi mensuel phytoplancton	24	85.00	2 040.00
Flaconnages MES/Ptotal	104	2.00	208.00
Flaconnages autres	24	3.00	72.00
<b>ss/total 3</b>			<b>6 913.92 €</b>

## Qualité des eaux volet 2

Titre	nombre	TU (€ HT)	ss/total HT
Campagnes terrain	5	980.00	4 900.00
Formes du phosphore (5 points)	25	14.58	364.50
Formes de l'azote (5 points)	25	22.90	572.50
Fer et manganèse (5 points)	25	30.00	750.00
COT et COD (5 points)	25	32.00	800.00
MES (3 points)	15	7.00	105.00
Chlorophylle A (3 points)	15	13.00	195.00
Phytoplancton (3 points)	15	85.00	1 275.00
<b>ss/total 4</b>			<b>8 962.00 €</b>

## Synthèse

Titre	nombre	TU (€ HT)	ss/total HT	
		6 600.00	6 600.00	
		<b>ss/total 5</b>	<b>6 600.00</b>	€
<b>Total HT</b>				<b>34 103.92</b> €
TVA 20 %				6 820.78 €
<b>Total TTC</b>				<b>40 924.70</b> €

Pour ces prestations, le taux de TVA applicable est de 20 %, sauf s'il s'agit d'une étude destinée à améliorer la distribution des eaux destinées à la consommation humaine (taux réduit de 10 %, sous réserve).

Fait à Rennes le 30/01/2015

F. Pitois

# THIERRY MOREAU

Immeuble Antarès - Rue Atlantis  
Ester Technopole  
87 069 LIMOGES  
Tél. : 05 55 42 72 43 - 09 77 96 46 45

Devis : D15-01-22

Date : 22/01/2015  
Client : CL 050  
Page : 1

## Devis

### Affaire : cartographie de l'occupation du sol du Lac de Saint-Germain-de-Confolens

Destinataire			
Nom	SEP du Confolentais		
Adresse	7 rue Recollets		
Code postal	16 500	Ville	Confolens
Téléphone	05 45 29 54 80	Fax	
		e-mail	
		Pays	France

Description	Quantité	P.U. HT	Montant HT
<b>Lac de Saint-Germain-de-Confolens</b> Préparation des bases SIG - Analyse diachronique de l'occupation du sol - Cartographies thématiques			
Coût journalier cartographie : 385,00€/J - Coût journalier ingénieur : 500,00€/J			
<b>1 - technique cartographique</b>			
Préparation des bases de données			
Analyse diachronique de l'occupation du sol sur la base de l'interprétation des photographies aériennes	5	385,00 €	1 925,00 €
Réalisation du modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant			
<b>2 - exploitation des bases de données SIG constituées</b>			
Réalisations des cartes de synthèses de l'occupation du sol	1	385,00 €	385,00 €
<b>3 - rédaction d'une note de synthèse</b>			
Rapport technique présentant les méthodes de la cartographie et les résultats de l'analyse diachronique	1	500,00 €	500,00 €
<b>4 - réalisation de la cartographie complète de l'étude</b>	3,5	385,00 €	1 347,50 €

Cachet et signature du prestataire:

T. MOREAU - CONSULTANT  
CARTOGRAPHIE - AMÉNAGEMENT  
BAT. ANTARÈS - RUE ATLANTIS  
ESTER TECHNOPOLE 87069 LIMOGES  
☎ 09 77 96 45 45 / 06 99 03 62 68

Total H.T. :	4 157,50 €
T.V.A. (20 %) :	831,50 €
Total T.T.C. :	4 989,00 €
<b>Montant à régler</b>	<b>4 989,00 €</b>

Règlement par chèque ou virement à l'ordre de M. Thierry MOREAU

Banque : CIC Limoges Carnot - 79 avenue Garibaldi 8700 Limoges  
Références bancaires : 30047 14266 00080299401 38

Thierry MOREAU  
Consultant - Cartographe - n°siret : 48825068900020 - NAF 7112B  
TVA Intracommunautaire : FR87488250689

**IMAGES ET METRAGES**

S.A.R.L. au capital de 38112,25 Euros  
Topographie Photogrammétrie  
1 rue Martial Pradet 87100 LIMOGES  
SIRET 381240555 00015 APE 7112A  
R.C.S. LIMOGES 381 240 555  
Tél. 05 55 50 54 66 Fax 05 55 37 30 89  
Michel VEYRIER Ingénieur-géomètre  
Tél. portable : 06 61 53 98 12  
[images-et-metrages@orange.fr](mailto:images-et-metrages@orange.fr)

Limoges, le 13 février 2015

S.E.P. du Confolentais  
7 rue des Récolets  
16500 COFOLENS

**DEVIS D'HONORAIRES**

OBJET : Plan d'eau à Saint-Germain de Confolens sur l'Issoire.

Levé et report d'une quarantaine de profils de 2 mètres de long environ chacun sur les berges du lac. Matérialisation de chaque profil par un piquet bois au point le plus haut. Repérage de chaque piquet en coordonnées XYZ pour rattachement en nivellement et confection d'un plan de situation des profils. Le rattachement sera effectué au tachéomètre électronique. Il est prévu que le demandeur mettra à disposition un bateau à moteur pendant deux ou trois jours (si possible avec pilote et gilets) pour assurer les nombreuses allées et venues le long des berges et d'une berge à l'autre. Les piquets seront à conserver pendant au moins un an pour pouvoir réaliser une seconde campagne de relevé des profils aux mêmes endroits, un an plus tard, avec les mêmes références. Campagne 2015 à réaliser courant avril.

Désignation :	Quantité :	Prix unitaire H.T. :	Montant H.T. :
Campagne 2015		Forfait	2400,00 Euros
		Total H.T.	2400,00 Euros
		T.V.A. 20,00%	480,00 Euros
		Total T.T.C.	2880,00 Euros

Devis remis avant l'exécution des travaux.

Offre valable deux mois.

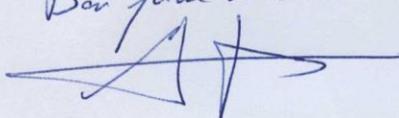
Devis gratuit.

Intérêts de retard : 1,5 fois le taux légal.

Signature précédée de la mention manuscrite « Bon pour accord ».

Prière de nous retourner un exemplaire accepté.

Le topographe :

*Bon pour accord.*  


Le demandeur :

**IMAGES ET METRAGES**

S.A.R.L. au capital de 38112,25 Euros  
Topographie Photogrammétrie  
1 rue Martial Pradet 87100 LIMOGES  
SIRET 381240555 00015 APE 7112A  
R.C.S. LIMOGES 381 240 555  
Tél. 05 55 50 54 66 Fax 05 55 37 30 89  
Michel VEYRIER Ingénieur-géomètre  
Tél. portable : 06 61 53 98 12  
[images-et-metrages@orange.fr](mailto:images-et-metrages@orange.fr)

Limoges, le 16 février 2015

S.E.P. du Confolentais  
7 rue des Récolets  
16500 COFOLENS

**DEVIS D'HONORAIRES**

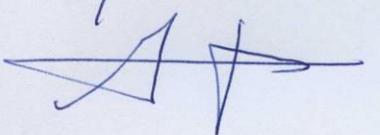
OBJET : Plan d'eau à Saint-Germain de Confolens sur l'Issoire.

Levé et report d'une quarantaine de profils de 2 mètres de long environ chacun sur les berges du lac. Réutilisation de la matérialisation de chaque profil en 2015 par un piquet bois au point le plus haut, avec marque de peinture et jalonnage en bambou. Le présent devis est établi sous réserve que 10% des piquets au maximum auront disparu entre les deux campagnes. La rematérialisation des points disparus se fera au tachéomètre électronique. Il est prévu que le demandeur mettra à disposition un bateau à moteur pendant environ deux ou trois jours (si possible avec pilote et gilets) pour assurer les nombreuses allées et venues le long des berges et d'une berge à l'autre.

Désignation :	Quantité :	Prix unitaire H.T. :	Montant H.T. :
Campagne 2016		Forfait	1400,00 Euros
		Total H.T.	1400,00 Euros
		T.V.A. 20,00%	280,00 Euros
		Total T.T.C.	1680,00 Euros

Devis remis avant l'exécution des travaux.  
Offre valable deux mois.  
Devis gratuit.  
Intérêts de retard : 1,5 fois le taux légal.  
Signature précédée de la mention manuscrite « Bon pour accord ».  
Prière de nous retourner un exemplaire accepté.

Le topographe :

*Bon pour accord.*  


Le demandeur :



AEROPORT D'AGEN 47520 LE PASSAGE

Tél. : 05.53.47.24.00 - Fax : 05.53.66.36.08 - E-mail : agralis@agralis.fr - Site WEB : www.agralis.fr

DEVIS	
Référence	: DV15108
Date	: 26/02/15
Contact	: I. BERTHOUMIEU
Validité du devis	: 1 mois

**SEP du Confolentais**

A l'attention de Mme Véronique MALEVAL

9, rue des Recollets

16500 CONFOLENS

Référence	Désignation	Quantité	Prix Unitaire	Montant H.T en €
07-TG-4100	TinyTag Aquatic 2 (-40°C à + 70°C)	10,00	124,000	1 240,00
07-SWPK-3-USB	Pack logiciel avec plateau inductif pour TG-4100	1,00	87,000	87,00
07-PORT	Frais d'emballage et de port en valeur déclarée	1,00	25,000	25,00

Réserve de propriété (Article L624 du code de commerce).

**LA SOCIETE AGRALIS SE RESERVE LA PROPRIETE DES MARCHANDISES LIVREES JUSQU'A COMPLET PAIEMENT DU PRIX EN PRINCIPAL ET INTERETS.**

**Conditions de vente**

Acompte de 30% du montant TTC à la signature du devis.

Le matériel sera commandé dès réception de cet acompte.

Livraison : prévoir un délai d'au moins 15 jours ouvrables (tout retard émanant de notre fournisseur n'engage en aucun cas la responsabilité d'Agralis).

Le solde devra être versé à la livraison du matériel. Il ne sera accordé aucun escompte pour paiement comptant ou anticipé.

Total HT Net	1 352,00
TVA 20.0%	270,40
<b>Total TTC</b>	<b>1 622,40</b>
Acompte 30%	486,72
Net à Payer	1 135,68

Nous vous remercions de nous renvoyer cette offre avec la mention "BON POUR ACCORD", datée et signée

le \_\_\_\_\_

à \_\_\_\_\_

Signature

A la signature de ce devis, le client reconnaît avoir pris connaissance des conditions générales de vente jointes à la présente et les acceptent dans leur totalité.



DEVIS N° 19022015

Date : 19. 02. 2015, validité : 1 mois

**AVRUL**  
**Ester Technopole**  
1 avenue d'Ester  
87069 LIMOGES Cedex FRANCE

Tél. (33) (0)5 55 35 88 60  
Fax (33) (0)5 55 35 95 04  
SIRET 503 371 965 00024  
Code APE 9499Z  
TVA Intracommunautaire FR22503371965

**SEP du Confolentais**  
7 rue des Recollets  
16 500 Confolens

**LABORATOIRE :**

**Laboratoire GEOLAB**  
Université de Limoges  
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines  
39E rue C. Guérin  
87036 LIMOGES

Contact : **Véronique MALEVAL**  
Tél. 06 30 99 88 74  
e-mail : [veronique.maleval@unilim.fr](mailto:veronique.maleval@unilim.fr)

Titre de l'étude : "Etude limnologique du lac Saint-Germain de Confolens"

**Déroulement de l'étude**

Durée : 12 mois

**Remise des résultats**

Sous 12 mois environ après réception du bon de commande.

**Coût de l'étude**

Frais de fonctionnement	Coût H.T (€)
• Salaire permanent	7 793,04
• Frais de mission	2 970
<b>Frais de gestion (11%)</b>	1330,26
<b>TOTAL (HT)</b>	12 093,30

ESTER TECHNOPOLE - 1 avenue d'Ester - 87069 LIMOGES cedex - Tél. 05 55 35 88 60

Fax 05 55 35 88 20- Email : [avrul@unilim.fr](mailto:avrul@unilim.fr)

Code APE : 9499Z – n° Siret : 503 371 965 000 24 – Association loi 1901 – RCS Limoges

**Modalités de paiement :**

Cette somme sera versée sur présentation de facture selon l'échéancier de paiement suivant :

-50% à la signature

-50% au terme de l'étude

La facture sera payée par virement à l'ordre de l'AVRUL.

Directeur

La commande de cette intervention se finalise par le retour d'un exemplaire à l'AVRUL précédé de la mention "bon pour accord".

Pour le client

Date :

Nom et qualité du signataire :

Signature et cachet de la société :



- EXEMPLE DE RAPPORT D'ETUDE -

**Association Syndicale des Copropriétaires du  
Domaine de Coudrée  
Avenue de Coudrée  
74140 Sciez**



**DIAGNOSTIC DES PHENOMENES  
D'EROSION DE LA PLAGE DU  
FORON ET DU GUIDO**

10684-1 Version A du 19/01/18



## Maître d'Ouvrage

Association Syndicale des  
Copropriétaires du Domaine de Coudrée  
74 140 Sciez

## Document établi par



INGETEC

Agence Rhône Alpes  
421 rue du Centre  
38300 Chateaufort

## Référence, auteur et archivage du document

Référence	10684-1 Version A
Auteurs	pierrebriecdestombes@ingetec.fr ; veronique.maleval@unilim.fr
Archivage	D:\01 Ingetec\Production\2016-01-27 Domaine de Coudrée Lac Léman\étude\Domaine de Coudrée - zones de baignade du Foron et du Guidou.docx

## Contrôle interne et suivi des modifications

Contrôle	Date :	Par :	Visa :
Auto-contrôlé	19/01/18	pierrebriecdestombes@ingetec.fr	
Vérifié et présenté	19/01/18	veronique.maleval@unilim.fr	
Approuvé	19/01/18	nazilajavanshir@ingetec.fr	

Version	Date	Nature des modifications
A	19/01/18	

# 1

## Sommaire

1	SOMMAIRE .....	3
2	TABLE DES ILLUSTRATIONS .....	4
3	CONTEXTE GENERAL .....	5
3.1	CONTEXTE DE L'ÉTUDE .....	5
3.1.1	LA PLAGE DU GUIDO .....	6
3.1.2	LA PLAGE DU FORON .....	6
3.2	OBJECTIFS ET METHODOLOGIE .....	7
3.2.1	ÉTAT DES LIEUX DES PLAGES .....	7
4	PARAMETRES NATURELS INFLUENÇANT L'ÉROSION DES BERGES .....	8
4.1	LA NATURE DE LA MICROFALAISE .....	8
4.2	L'EXPOSITION AU VENT .....	9
4.3	LA MORPHOLOGIE EN PLAN DU LITTORAL .....	10
4.4	ENRACINEMENT PAR LES VEGETAUX .....	12
5	LES PARAMETRES ANTHROPIQUES .....	13
5.1	L'ENTRETIEN REGULIER DE LA VEGETATION .....	13
5.2	LE PIETINEMENT .....	13
5.3	LES OUVRAGES DE PROTECTION : MURS ET EPIS .....	13
5.4	LA NAVIGATION .....	13
6	CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC .....	14
7	OPERATION ENVISAGEE .....	14
7.1	PREVISION .....	14
7.2	MESURES A PRENDRE .....	14
7.2.1	LA GRANULOMETRIE .....	14
7.2.2	LE MODE OPERATOIRE .....	15
7.2.3	RAPPEL SUR LE DOMAINE PUBLIC FLUVIAL .....	15

## 2

# Table des illustrations

### Liste des schémas

---

Schéma 1 :	Localisation des secteurs de baignade	5
Schéma 2 :	Localisation de la plage du Guido	6
Schéma 3 :	Localisation de la plage du Guido	6
Schéma 4 :	Carte géologique du secteur d'étude	8
Schéma 5 :	Rose des vents ( <a href="http://www.swisslakes.net/latlas">http://www.swisslakes.net/latlas</a> )	9
Schéma 6 :	Phénomène de réfraction des vagues (d'après N.N DJOUNKOVSKI et al, La houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers.)	10
Schéma 7 :	Phénomène de diffraction – réflexion des vagues (d'après N.N DJOUNKOVSKI et al, La houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers.)	10
Schéma 8 :	phénomènes en jeux sur les secteurs d'étude	11
Schéma 9 :	Morphologie type d'un littoral lacustre	11

### Liste des photos

---

Photo 1 :	Vue d'ensemble de la plage du Guido depuis l'Est	7
Photo 2 :	Vue d'ensemble de la plage du Foron depuis l'Est	7
Photo 3 :	Plage du Guido par un jour d'été battue par du clapot	12

# 3

## Contexte général

### 3.1 Contexte de l'étude

L'Association Syndicale des Copropriétaires du Domaine de Coudrée est responsable des zones de baignade du domaine situé à Sciez.

Des érosions du trait de côte sont constatées particulièrement sur les plages du Foron et du Guido. L'Association Syndicale prévoit de ré-engraisser les plages avec du sable depuis la microfalaise jusqu'à la limite de l'eau pour une durée limitée par les conditions météorologiques.

Les services instructeurs ont alerté le gestionnaire des plages que toute opération de remblaiement des milieux littoraux est soumise à avis et nécessite une approche des phénomènes érosifs.

L'association syndicale souhaite missionner des experts pour dresser l'état des lieux et montrer le faible impact de cet apport sur l'environnement ainsi que d'organiser l'action pour minimiser les impacts sur le milieu.

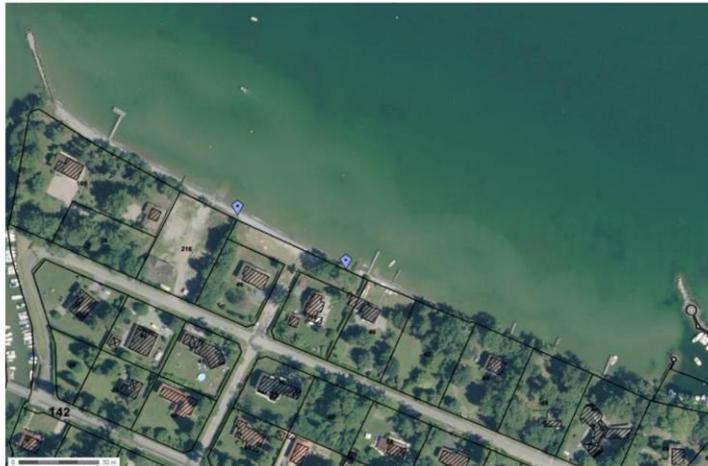
Schéma 1 : Localisation des secteurs de baignade



### 3.1.1 La plage du Guido

La plage du Guido se situe au bout de la rue du Guido. Elle s'étend sur 76 m devant les parcelles cadastrales 44 et 45 de la feuille AC.

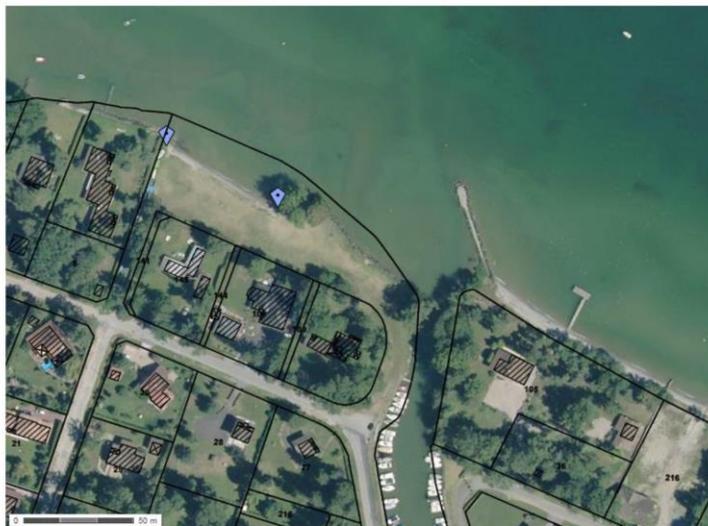
Schéma 2 : Localisation de la plage du Guido



### 3.1.2 La plage du Foron

La plage du Foron se situe à l'ouest de l'embouchure du Foron. Elle s'étend sur 60 m devant les parcelles cadastrales 141, 145, 144, et une partie de la 108 de la feuille AC.

Schéma 3 : Localisation de la plage du Guido



## 3.2 Objectifs et méthodologie

L'objectif de ce diagnostic est de recenser et de qualifier les facteurs responsables de l'érosion visible sur les deux plages. Certains sont naturels, d'autres, d'origine humaine.

### 3.2.1 Etat des lieux des plages

Les deux plages offrent une partie plane horizontale engazonnée se terminant par une microfalaise vive dont la hauteur maximale atteint 40 cm. Celle-ci est affectée lors des tempêtes de hautes-eaux. L'espace herbacé est entretenu régulièrement et quelques arbres de hauts jets ponctuent le paysage sur la plage du Guido alors que celle du Foron en est entièrement exempte.

**Photo 1 :** Vue d'ensemble de la plage du Guido depuis l'Est



**Photo 2 :** Vue d'ensemble de la plage du Foron depuis l'Est



## 4

# Paramètres naturels influençant l'érosion des berges

Les paramètres naturels sont les suivants :

- ✓ La nature de la microfalaise
- ✓ Son enracinement par les végétaux
- ✓ L'exposition au vent
- ✓ La morphologie en plan du littoral

### 4.1 La nature de la microfalaise

Les deux plages sont situées de part et d'autre de l'embouchure du Foron. Sur la carte géologique, les deux plages sont constituées de formations légèrement différentes : celle du Guido est faite d'alluvions lacustres et palustres du Quaternaire Post Würm (FL), alors que celle du Foron est constituée des sables d'Excenevex formant les dunes (D).

Cela est confirmé par les recherches de B. DUSSART *et al.* (1959, Les sables des dunes lémaniques, conditions de transport, nature ; Extrait des Archives des Sciences, Genève) : « les sédiments sont d'abord poussés par la force des vagues puis les particules les plus fines sont accumulées au fond du golf de Coudrée. Ainsi on remarque une distribution décroissante de la granulométrie de l'est vers l'ouest ».

**Schéma 4 : Carte géologique du secteur d'étude**



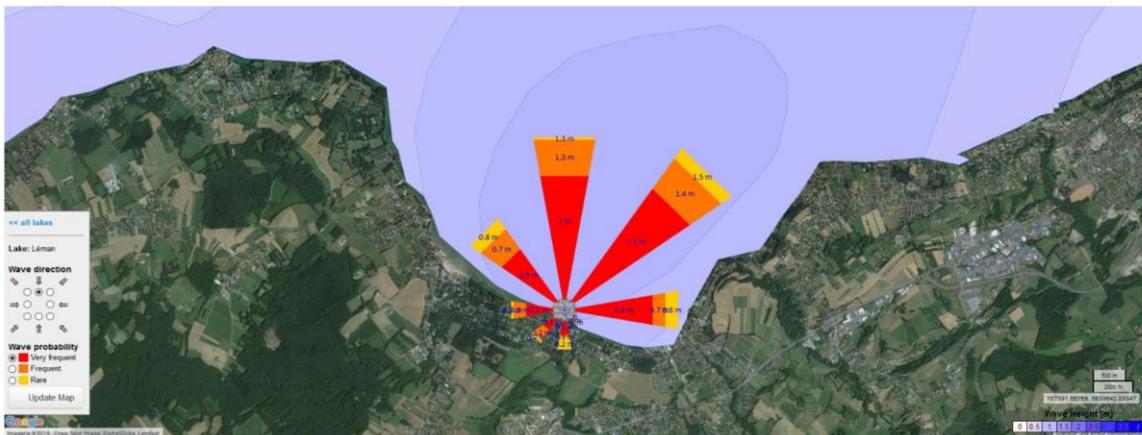
Les plages sont donc uniquement formées d'alluvions modernes sur lesquels repose un très fin horizon superficiel de sol friable et peu cohésif.

## 4.2 L'exposition au vent

Le vent est le paramètre le plus important pour expliquer l'érosion des plages : il influence la dynamique lacustre en générant l'énergie nécessaire à la formation des vagues.

Le projet LATLAS a permis de modéliser la rose des vents sur les grands lacs suisses et de déterminer la hauteur des vagues pour chaque point. Au domaine de Coudrée, ce modèle indique que la bise, vent dominant, est capable de former des vagues supérieures au mètre et pouvant aller jusqu'à 1,5m.

Schéma 5 : Rose des vents (<http://www.swisslakes.net/latlas>)



En effet, la puissance des vagues dépend du fetch. Le fetch est la distance parcourue par le vent sur la surface lacustre. De cette distance dépend la hauteur des vagues et leur vitesse de propagation. Le fetch parcouru par un vent de bise est de 25km jusqu'au domaine de Coudrée.

Le fetch important, explique l'érosion observée sur les plages matérialisée par une microfalaise.

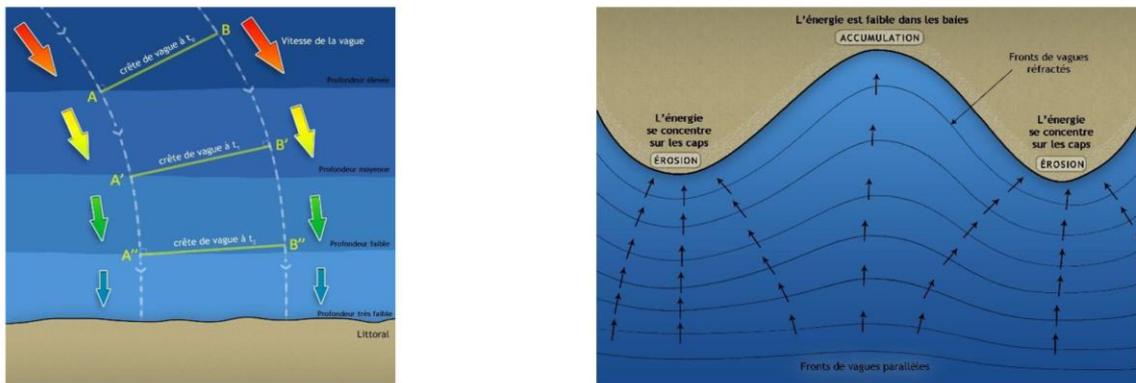
### 4.3 La morphologie en plan du littoral

Rappels :

La houle est une onde qui change de forme à l'approche des côtes en devenant une vague. Lorsque la profondeur diminue, la vague devient sujette aux phénomènes de réfraction, diffraction et réflexion.

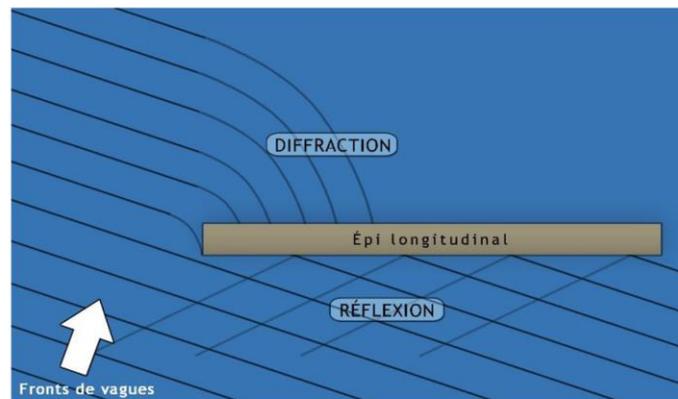
- La réfraction : une vague se propageant plus vite en eau profonde, si elle arrive obliquement à la côte, elle va progressivement s'aligner sur les isobathes

Schéma 6 : Phénomène de réfraction des vagues (d'après N.N DJOUNKOVSKI et al, La houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers.)



- Diffraction - Réflexion des vagues : aux abords d'un obstacle, le train de vagues changent de direction.

Schéma 7 : Phénomène de diffraction – réflexion des vagues (d'après N.N DJOUNKOVSKI et al, La houle et son action sur les côtes et les ouvrages côtiers.)



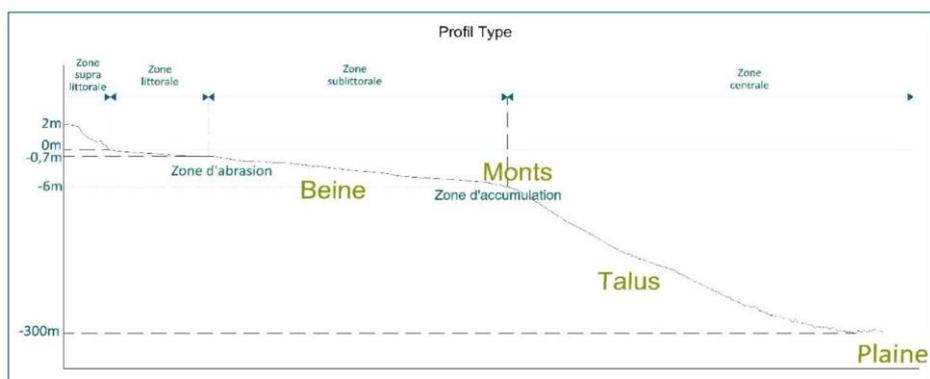
Le domaine de Coudrée se situe en fond du « Golf de Coudrée ». Il serait donc à priori moins exposé qu'un cap puisque la houle a tendance à diverger et à perdre de son énergie. Les contraintes sont donc moins fortes que celles rencontrées au niveau du cap de Rovorée par exemple.

**Schéma 8 : phénomènes en jeux sur les secteurs d'étude**



La pente de la beine influence la distance à laquelle la vague déferle : il est également admis par la littérature que le déferlement de la houle se produit à une profondeur équivalente à l'amplitude de la vague. Ce qui signifie que plus la pente est faible, plus le déferlement se fait loin de la côte. En l'absence de donnée bathymétrique et d'après nos observations, cette pente est faible. Les vagues générées par des tempêtes déferlent donc au large. Le battillage permanent quant à lui attaque en permanence le littoral.

**Schéma 9 : Morphologie type d'un littoral lacustre**



**Photo 3 : Plage du Guido par un jour d'été battue par du clapot**

---



#### **4.4 Enracinement par les végétaux**

Les racines des végétaux permettent une meilleure cohésion du sol et protègent ainsi mieux les sites exposés à de fortes contraintes érosives.

Les deux plages ayant vocation à la baignade, la partie engazonnée est entretenue régulièrement et ne permet pas un développement naturel d'une végétation adaptée aux conditions hydromorphologiques relativement fortes.

## 5

# Les paramètres anthropiques

On relève les paramètres anthropiques suivants sur les lieux et à proximité :

- ✓ L'entretien régulier de la végétation
- ✓ Le piétinement
- ✓ Les ouvrages de protection : murs et épis
- ✓ La navigation

### 5.1 L'entretien régulier de la végétation

Comme évoqué précédemment, l'entretien des espaces verts permet d'assurer la baignade mais ne permet pas à une végétation autochtone et adaptée de coloniser les berges et d'offrir une protection efficace contre le batillage.

### 5.2 Le piétinement

Le sol est naturellement fragile puisqu'il repose sur des formations géologiques peu cohésives. Les deux plages attirent des baigneurs qui en transitant déstabilisent les terrains.

### 5.3 Les ouvrages de protection : murs et épis

Le chapitre sur la morphologie des littoraux a montré que les vagues subissent l'influence de la côte. Tout obstacle modifie leur direction.

Ainsi un épi peut aussi bien protéger le littoral selon un axe de vent mais peut générer des érosions du côté exposé. De même ce même épi ne fonctionne pas de manière identique selon toutes les orientations du vent.

Tout point dur rencontré par augmente l'énergie des vagues qui, dès qu'elles trouvent un point faible a tendance à éroder celui-ci.

On remarque que les deux zones de baignade sont situées sur des secteurs compris entre des points durs latéralement et où l'arrière n'est pas protégé par un mur. Ce sont donc deux zones propices aux érosions.

Ces deux remarques n'impliquent absolument pas la nécessité de créer des points durs pour protéger le littoral mais bien au contraire signifie que la recherche d'une naturalité globale du littoral permettrait de réduire les phénomènes érosifs.

### 5.4 La navigation

Même si les Navibus semblent évoluer au large du Golf de Coudrée, les vagues générées par ces bateaux, ajoutées à celles des bateaux à moteur de plaisance s'ajoutent aux effets du batillage naturellement fort.

## 6

### Conclusions du diagnostic

Les deux zones de baignade ont des caractéristiques intrinsèques propres à accueillir durablement l'activité de baignade puisque naturellement :

- ✓ Le sédiment est un mélange de sable et de graviers
- ✓ Leur positionnement en fond de baie est propice puisque l'effet des vagues est atténué.

Ce qui fait la force du site en fait aussi sa faiblesse puisque, positionnées face à la bise, les deux zones de baignade reçoivent la houle initiée par ce vent dominant.

L'usage même des zones de baignade conduit à favoriser l'érosion par piétinement et par un manque de couvert végétal adapté.

## 7

### Opération envisagée

#### 7.1 Prévision

L'Association Syndicale des Copropriétaires du Domaine de Coudrée souhaite pérenniser l'activité de baignade sur les deux plages identifiées.

Elle envisage de faire apporter 150m<sup>3</sup> de sable à répartir entre les deux plages par voie terrestre. Un engin niveleur se chargera d'aplanir ce sédiment entre la microfalaise et la limite de l'eau.

Cette intervention se déroulera en début d'été (fin juin) pour que les estivants puissent profiter de la plage. L'opération n'a pas vocation à être pérenne puisque les facteurs influençant l'érosion sont relativement puissants : des régimes de bises soutenus pourront avoir raison, à court terme, de cette centaine de mètres cube.

#### 7.2 Mesures à prendre

##### 7.2.1 La granulométrie

La granulométrie en place indique la morphodynamique naturelle du site ainsi les deux plages n'ont pas exactement la même composition :

- ✓ La plage du Guido possède une granulométrie d'un mélange de gravier grossiers / graviers fins / sable,
- ✓ la plage du Foron a un mélange plus fin de graviers fins / sables.

L'apport en sédiments devrait prendre en compte l'existant.





## TABLE DES FIGURES

### Volume 1

n°	page
1	Affiche du colloque « Un transfert comme les autres ? » 11
2	Couverture de l'ouvrage de Géographie poétique 11
3	Projet d'aménagement du sentier circumlacustre de Saint-Pardoux 245
4	Localisation et secteur d'étude du parc de Clères (Seine-Maritime) 247

### Volume 2

1	Le bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens	49
2	Localisation des points amont et aval des prélèvements d'eau de l'Issoire	52
3	Localisation des points de prélèvements d'eau dans le BV du lac	53
4	Localisation des profils bathymétriques du lac de SGC	54
5	Localisation et caractéristiques des sédimentomètres	55
6	Localisation des profils topographiques en fonction de la lithologie littorale	57
7	Localisation des profils verticaux	58
8	Localisation et caractéristiques des sondes thermiques enregistreuses	59
9	Synthèse du protocole de mesures	60
10	MNT de l'envasement de la cuvette lacustre de SGC	62
11	Evolution longitudinale des épaisseurs moyennes et maximales de sédiments (bathymétrie 2015)	63
12	MNT de la hauteur de la colonne d'eau du lac de Saint-Germain de Confolens	64
13	Courbe de remplissage du lac de Saint-Germain depuis sa création	64
14	L'évolution saisonnière des taux de sédimentation des 3 stations lacustres (2015 - 2016)	65
15	L'évolution longitudinale et saisonnière des sables contenus dans les fûts	65
16	Evolution saisonnière des teneurs en COT, Ptotal et NTK des sédiments piégés	67
17	Estimation de la vitesse moyenne d'évolution du littoral de Saint-Germain de Confolens	68
18	Détail de l'évolution du littoral du profil 10 entre 2015 et 2016	69
19	Détail de l'évolution du littoral du profil 16 entre 2015 et 2016	70
20	Détail de l'évolution du littoral du profil 20 entre 2015 et 2016	70
21	Détail de l'évolution du littoral du profil 29 entre 2015 et 2016	71
22	Détail de l'évolution du littoral du profil 32 entre 2015 et 2016	71
23	La rose des vents à la station de Montemboeuf (16) pour la période 1991-2012	73
24	Les caractéristiques du fetch sur le lac de Saint-Germain de Confolens	74
25	Evolution des concentrations de MES	77
26	Evolution longitudinale du pH	77
27	Evolution longitudinale de l'oxygène dissous	78
28	Evolution des valeurs moyennes de conductivité	79
29	Evolution longitudinale des concentrations en chlorophylle des 3 stations (2015 - 2016)	80
30	Effectif et diversité du phytoplancton en amont et aval du lac	81
31	Effectif du phytoplancton dans les stations lacustres	81
32	Evolution de la composition synthétique de la flore dans les stations lacustres	82

33	Evolution des concentrations en NO <sub>3</sub> et NH <sub>4</sub> dans les 3 stations lacustres	84
34	Evolution des concentrations en PO <sub>4</sub> et P. particulaire dans les 3 stations lacustres	85
35	Evolution des concentrations en fer et manganèse aux 3 stations lacustres	86
36	Evolution des températures moyennes journalières de l'Issoire	86
37	Evolution des températures moyennes journalières atmosphériques et hydrologiques à la station de l'Issoire	87
38	Cycle thermique diurne moyen à la station Issoire amont	87
39	Evolution longitudinale des températures ponctuelles	88
40	Evolution des différences thermiques (surface - fond) moyennes journalières de la station A	89
41	Evolution des différences thermiques (Surface - Fond) moyennes journalières de la station B	90
42	Evolution du gradient thermique de la colonne d'eau des stations A et B	90
43	Evolution des températures moyennes journalières au fond de la retenue au droit des stations A et B (avril 2015 - mars 2016)	91
44	Evolution des températures moyennes journalières en surface de la retenue au droit des stations A et B	92
45	L'occupation du sol du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens en 1972	93
46	L'occupation du sol du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens en 2012	94
47	L'évolution de l'OS du BV du lac entre 1972 et 2012	95
48	Détail de l'OS en 2012 : la vallée de l'Issoire en amont du lac	96
49	Evolution de la densité des haies du BV du lac de Saint-Germain entre 1972 et 2014	98
50	Evolution hebdomadaire des débits de l'Issoire	102
51	Evolution hebdomadaire des flux de MES	103
52	Evolution hebdomadaire des flux de Phosphore total	104
53	Evolution hebdomadaire des flux de Phosphore dissous	104
54	Evolution des valeurs mensuelles en phosphore (total, dissous et particulaire)	105
55	Evolution des valeurs mensuelles en nitrates et ammoniacque	106
56	Evolution des valeurs mensuelles de fer et manganèse	106
57	Les pentes du BV du lac de Saint-Germain de Confolens	108
58	Bilan hebdomadaire des flux de MES et de Ptotal au lac de Saint-Germain	110
59	Effectifs totaux du phytoplancton (tous taxons confondus) en entrée et sortie du lac	111
60	Evolution longitudinale du taux de comblement depuis 1994 du lac de Saint-Germain	113
61	Evolution longitudinale de la profondeur du chenal depuis 1994 dans le lac	114
62	Schématisation de la progression vers l'aval des zones de sédimentation active	114
63	L'origine des sédiments du lac de Saint-Germain de Confolens	116
64	La qualité de l'eau du lac de Saint-Germain par rapport aux lacs bretons et limousins	117
65	La qualité des sédiments du lac de Saint-Germain par rapport aux lacs bretons et limousins	118

66	Conditions de températures, oxygène dissous et taux de saturation en O <sub>2d</sub> le 16 avril 2015	119
67	Distribution des taux de saturation en O <sub>2</sub> dissous dans le lac pendant la période de fonctionnement du déstratificateur	119
68	Distribution des gradients thermiques dans le tronçon amont du lac (sans aérateur)	120
69	Distribution des gradients thermiques dans le tronçon aval du lac (avec aérateur)	121
70	Evolution longitudinale du Redox de la masse d'eau au cours de l'été 2016	122
71	Diagramme de solubilité du fer en fonction du pH et du Redox	124
72	Distribution des principaux genres de cyanobactéries en fonction de la température moyenne (a), du rayonnement global (b) et de la pluviométrie cumulée (c)	126
73	Distribution des densités cellulaires maximales de cyanobactéries en fonction de la charge trophique	127
74	Distribution des densités cellulaires maximales de cyanobactéries en fonction de la profondeur	127
75	Distribution des paramètres décrivant les proliférations de cyanobactéries en fonction du renouvellement des eaux	128
76	Effectifs des cyanobactéries au pont Binot, en amont du lac de SGC	129
77	Aménagement possible du delta pour piéger les sédiments	132
78	Travaux d'optimisation de l'aération de lac de Saint-Germain-de-Confolens	132



## TABLE DES PHOTOGRAPHIES

### Volume 1

n°		page
1	Le Populaire du 20 avril 2004 « Réponses de géographes »	9
2	La délégation chinoise à Paris le 14 septembre 2009.	10
3	Exemple de ravines à étudier (SMBA, avril 2012)	12
4	L'évacuateur de crue du barrage de SGC et la vallée de l'Issoire (juillet 2015)	13
5	La plage du Foron (Sciez, janvier 2016)	13
6	Effet des épis sur les plages thononaises (mars 2014)	14
7	Erosion du bassin versant du SMBA (septembre 2011)	15
8	Les L2 Géographie, promotion 2016 - 2017 sur la dune du Pilat le 27 février 2017	18

### Volume 2

Partie 1	Le géographe de Johannes Vermeer, 1669	13
Partie 2	Vue du delta de l'Issoire à son embouchure dans le lac de SGC	47
1	Prélèvement d'eau dans l'Issoire aval	52
2	Prélèvement d'eau dans l'Issoire amont	52
3	Bathymétrie en pleine eau du lac de SGC	54
4	Bathymétrie dans le delta de l'Issoire	54
5	Préparation d'un sédimentomètre	55
6	Système de repérage d'un sédimentomètre en surface	55
7	Système de repérage d'un profil littoral	57
8	Système de mesure d'un profil topographique littoral	57
9	Géolocalisation des profils littoraux	57
10	Mesures à la sonde multiparamètre	58
11	Matériel de prélèvement d'eau de profondeur	58
12	Matériel de mesure de la température de l'eau lacustre	59
13	Matériel de mesure de la température de l'eau fluviale	59
14	Localisation de la sonde thermique dans l'Issoire amont	59
15	Caractéristiques littorales du profil 10	69
16	Caractéristiques littorales du profil 16	70
17	Caractéristiques littorales du profil 20	70
18	Caractéristiques littorales du profil 29	71
19	Caractéristiques littorales du profil 32	71
20	Littoral rocheux de la côte sud du lac de SGC	73
21	Littoral rocheux et pentu de la côte nord du lac de SGC	73
22	Caractéristiques littorales du profil 19	76
23	Caractéristiques littorales du profil 15	76
24	Caractéristiques littorales du profil 2	76
25	<i>Planktolyngbya</i>	80
26	<i>Melosira</i>	83
27	<i>Merismopedia</i>	83
28	<i>Cyanodictyon</i>	83
29	<i>Snowella</i>	83

30	<i>Planktothrix</i>	83
31	<i>Pseudanabaena</i>	83

## **TABLE DES TABLEAUX**

### **Volume 1**

n°		page
1	Références scientifiques de 1999 à 2018	25
2	Sujets de recherche doctorale	248

### **Volume 2**

1	Nos principales activités d'aide à la gestion des milieux aquatiques	32
2	Programmation des études	36
3	Caractéristiques originelles du lac de Saint-Germain de Confolens	48
4	Comparaison des caractéristiques du lac de Saint-Germain de Confolens	64
5	Les valeurs relatives aux microfalaises lacustres	67
6	Les valeurs relatives à l'évolution littorale	69
7	La hauteur des vagues calculées selon la formule de Stevenson (1852)	75
8	Les caractéristiques de la disparition des haies sur la commune d'Esse	99
9	Contributions relatives des sous-bassins aux flux d'éléments apportés vers le lac	100
10	Origine des apports au lac de Saint-Germain via les cours d'eau	101
11	Evaluation de la dégradation spécifique du BV entre 1972 et 2012	109
12	Bilan approché de l'impact du lac de SG sur la qualité des eaux de l'Issoire	112
13	Concentrations maximales des éléments relargués en 2015 et 2016	123



## TABLE DES MATIERES

### VOLUME 1

SOMMAIRE .....	5
<b>Introduction</b> .....	7
<b>Curriculum Vitae</b> .....	8
Parcours académique .....	8
Formation académique .....	8
<b>Activités de recherche de la thèse à l’HDR</b> .....	9
Premiers pas de géographie limnologique .....	9
Une traversée du désert .....	10
L’espoir chinois .....	10
Le renouveau scientifique .....	11
Programmes et contrats de recherche .....	12
PHC Toubkal 2016 « CASBA » .....	12
Contrat SEP du Confolentais .....	13
Contrat Sciez .....	13
ANR CEP&S « PULSE » .....	14
Contrat Thonon-les-Bains .....	14
SIGMED .....	15
Contrat Pe@rl .....	15
30 % « China 3G » .....	16
ANR JCJC « China 3G Survey » .....	16
ELDRED .....	16
<b>Activités d’enseignement</b> .....	17
Enseignements assurés à l’Université de Limoges .....	17
Liste détaillée pour les 3 dernières années .....	17
Liste sommaire pour les années précédentes .....	19
Enseignements assurés au CES de Châteauroux .....	21
Enseignements assurés en classe préparatoire au lycée Limosin de Limoges .....	21
<b>Activités collectives diverses</b> .....	21
Responsabilités pédagogiques et administratives .....	21
Responsabilités scientifiques .....	22
Organisation de la recherche .....	22
Co-encadrement de thèse et comité de thèse .....	22
Membre de jury de thèse .....	23
Encadrement de masters recherche .....	23
Au titre du M2 .....	23
Au titre du M1 .....	24

<b>Valorisation et production scientifique</b> .....	24
ACL .....	25
C-ACTI .....	26
C-COM .....	27
C-AFF .....	28
DO .....	28
OS .....	28
CH .....	28
AP .....	29
Vulgarisation .....	29
<b>Recueil d'articles</b> .....	30
• Le modelage littoral des cuvettes lacustres sous l'effet de l'érosion : formes, quantification, causes et solutions	
RGA 2003 .....	32
BAGF 2005 .....	44
Physio-Géo 2016 .....	55
• Les effets de l'érosion des bassins versants et du transport de sédiments dans les lacs : envasement, répartition, nature et quantification	
Géomorphologie : relief, processus, environnement 2002 .....	79
International Association Hydrological Sciences 2013 .....	92
• Connaître le bilan sédimentaire des lacs pour aider à la gestion de ces milieux par des proposition de mesures	
Norois 1999 .....	102
Zeitschrift fur Geomorphologie 2006 .....	114
Physio-Géo 2017 .....	127
• Evaluation et perceptions de la qualité de l'eau des milieux aquatiques et mesures conservatoires	
Cluj-Napoca, Casa Cărții de Stiință 2013 .....	159
NSS 2016 .....	173
Norois (accepté) .....	187
Ecological Indicator (soumis) .....	217
<b>Perspectives scientifiques</b> .....	243
Expériences passées .....	243
Etat de la situation pour l'aide à la gestion .....	244
Renaissance de l'AIGLE .....	244
Création de la Maison du Lac et première mission .....	245
Orientation scientifique universitaire .....	246
<b>Conclusion</b> .....	250

## VOLUME 2

SOMMAIRE .....	3
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>PREMIÈRE PARTIE – LE RÔLE DU GÉOGRAPHE DANS LA VIE DE LA CITÉ .....</b>	<b>13</b>
<b>1 – GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET APPLIQUÉE : CONSTAT, HISTOIRE ET CRITIQUE .....</b>	<b>14</b>
1-1 – <b>CONSTAT ACTUEL DU RESENTI D’UN PETIT PANEL DE GÉOGRAPHERS PHYSIENS .....</b>	<b>14</b>
1-2 – <b>ÉLÉMENTS DE COMPRÉHENSION : L’ÉVOLUTION CHAOTIQUE DE LA GÉOGRAPHIE PHYSIQUE APPLIQUÉE .....</b>	<b>15</b>
1-2-1 – De la fin du XIX <sup>e</sup> siècle à aujourd’hui, une coexistence difficile mais pas impossible .....	16
a – Á la fin du XIX <sup>e</sup> siècle : le prestige géographique et une géographie appliquée marginale .....	16
b – Dans la première moitié du XX <sup>e</sup> siècle : une géographie universitaire dominante tentant d’éliminer la géographie appliquée .....	17
c – Dans la seconde moitié du XX <sup>e</sup> siècle : la géographie appliquée de Michel Philipponneau .....	18
• <i>Géographie et action. Introduction à la géographie appliquée</i> (1960) .....	19
• L’organisation du colloque national de géographie appliquée (1961) par le centre de géographie appliquée de Strasbourg : point de départ de la géographie appliquée .....	19
• La géographie appliquée en marche .....	22
1-2-2 – Le XX <sup>e</sup> siècle : un siècle de tensions géographiques n’ayant pas épargné la géographie appliquée .....	23
a – La géographie physique en crise, sauvée par le géosystème de Georges Bertrand, devient une science sociale et applicable .....	23
b – Les critiques dirigées vers la géographie appliquée .....	24
c – La crise entre la géographie physique et la géographie humaine... réconciliées par la géographie environnementale au service des territoires .....	25
<b>2 – DISCUSSION AUTOUR DE NOS TRAVAUX DE GÉOGRAPHIE ENVIRONNEMENTALE APPLIQUÉE .....</b>	<b>28</b>
2-1 – <b>NOS MÉTHODES DE TRAVAIL ET LA PRÉSENTATION DE NOS TRAVAUX .....</b>	<b>29</b>
2-1-1 – Pourquoi sommes-nous sollicités pour faire de la recherche appliquée ? .....	29
2-1-2 – Présentation synthétique de nos travaux de recherche appliquée .....	31
2-1-3 – La mise en place et le déroulement des études contractuelles .....	34
a – En amont de la partie scientifique, le rôle administratif du géographe .....	34
b – La partie scientifique, le rôle du géographe .....	34
2-2 – <b>NOS TRAVAUX APPLIQUÉS PEUVENT-ILS ETRE ASSIMILÉS À DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ? .....</b>	<b>36</b>
2-2-1 – Des critiques toujours d’actualité... .....	36
2-2-2 – ... mais une « unité de doctrines et de méthodes » (Juillard, 1962, p. 48) ... ..	37
2-2-3 – ... et un apport en connaissance fondamentale menant à des publications .....	38

2-3 – <b>QUEL EST LE BILAN DE NOS ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES APPLIQUÉES ?</b> .....	39
2-3-1 – De multiples retombées pour l’universitaire et l’université .....	39
a – Des avantages révélateurs de nos compétences et de notre utilité .....	39
b – Les inconvénients : lourdeur administrative, mauvaise décision et forte réaction .....	41
2-3-2 – Les aspects de la collaboration des enseignants-chercheurs avec le monde professionnel .....	42
a – Les points forts pour la sphère universitaire : tremplin étudiant et notoriété universitaire .....	42
b – Les points forts pour la sphère privée : intégration dans la recherche et la pédagogie et poursuite des études sur le plan technique .....	43
c – Les abus de la collaboration université-monde professionnel pouvant éloigner le géographe de son indépendance et objectivité, ou d’une étude .....	44
<b>SECONDE PARTIE – L’ASPECT UTILITAIRE DE LA GÉOGRAPHIE LIMNOLOGIQUE : EXEMPLE DE L’ÉTUDE LIMNOLOGIQUE DU LAC DE SAINT-GERMAIN-DE-CONFOLENS...</b>	47
<b>1 – PRÉSENTATION DU LAC ET DE L’ÉTUDE</b> .....	48
1 - 1 – <b>LE LAC DE SAINT-GERMAIN EN CONFOLENS</b> .....	48
1 - 2 – <b>CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L’ÉTUDE</b> .....	49
<b>2 – MÉTHODOLOGIE</b> .....	50
2 - 1 – <b>POUR L’ÉTUDE SÉDIMENTAIRE DU LAC</b> .....	51
2-1-1 – Prélèvements amont et aval d’eau de l’Issoire et analyses .....	51
2-1-2 – Etude de la cuvette lacustre .....	53
a – Le travail bathymétrique .....	53
b – Le suivi sédimentologique : utilisation de sédimentomètres et analyses des sédiments .....	54
c – La morphologie et l’évolution littorale .....	55
2 - 2 – <b>POUR L’ÉTUDE QUALITATIVE DE L’EAU DU LAC</b> .....	57
2-2-1 – Suivi de la qualité de l’eau .....	57
2-2-2 – Suivi thermodynamique de la retenue .....	58
2 - 3 – <b>POUR L’ÉTUDE DE L’OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DU LAC</b> .....	60
<b>3 – RÉSULTATS</b> .....	61
3 - 1 – <b>LA SÉDIMENTOLOGIE DU LAC</b> .....	61
3-1-1 – La bathymétrie du lac de Saint-Germain de Confolens .....	61
a – La cartographie des fonds .....	61
b – La distribution des sédiments .....	62
c – Le volume d’eau total .....	63
3-1-2 - Le suivi en continu de l’année étudiée (2015 – 2016) .....	65
a – Les taux de sédimentation .....	65
b – La texture des sédiments piégés .....	65

c – La composition des sédiments piégés et les variations saisonnières .....	66
3-1-3 – Les processus littoraux .....	67
a – Les modelés et vitesses d'érosion .....	67
b – Le volume de sédiments érodés .....	72
c – La forme en plan du lac et le vent, principales causes de l'opposition N-S de l'érosion littorale .....	72
<b>3 - 2 – LA QUALITÉ DE L'EAU DU LAC .....</b>	<b>76</b>
3-2-1 – Les résultats de l'étude qualitative .....	76
a – Les matières en suspension dans l'eau du lac .....	76
b – Le pH et l'oxygène dissous .....	77
c – La flore planctonique .....	80
• Biomasse planctonique et Chlorophylle A .....	80
• Effectif et diversité .....	81
d – L'azote .....	83
e – Le phosphore .....	84
f – Le fer et le manganèse .....	85
3-2-2 – Les résultats de l'étude thermique .....	86
a – Le régime thermique de l'Issoire en amont du Lac de Saint-Germain .....	86
b – Le régime thermique du Lac de Saint-Germain .....	88
<b>3 - 3 – LES CAUSES EXTÉRIEURES À LA SITUATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DU LAC .....</b>	<b>92</b>
3-3-1 – L'évolution de l'occupation du sol du bassin versant du lac .....	93
a – La spécialisation du territoire .....	93
b – La disparition significative des haies .....	97
3-3-2 – L'Issoire, tributaire et émissaire du lac de Saint-Germain .....	99
a – Les résultats de l'étude estivale des apports du bassin versant au lac .....	99
b – Les résultats de l'étude annuelle des apports au lac et des sorties du lac .....	102
<b>4 – DISCUSSION... .....</b>	<b>107</b>
4 - 1 – ... SUR L'OCCUPATION DU SOL .....	107
4 - 2 – ... SUR LE BILAN DES FLUX ENTRANT ET SORTANT .....	110
4 - 3 – ... SUR LA DYNAMIQUE ET LE BILAN SÉDIMENTAIRE .....	112
4 - 4 – ... SUR LA QUALITÉ DE L'EAU DU LAC .....	116
4-4-1 – Nutriments et biomasse planctonique .....	117
4-4-2 – Aération et qualité des eaux .....	118
4-4-3 – Eutrophisation et cyanobactéries .....	125
a – Climatologie locale .....	125
b – Statut trophique .....	126
c – Morphométrie lacustre .....	127
d – Contamination extérieure .....	128
<b>5 – CONCLUSION ET POSSIBILITÉS D' ACTIONS .....</b>	<b>129</b>
• La sensibilisation des agriculteurs .....	130
• Des travaux .....	131

• La surveillance du lac .....	131
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	135
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	139
ANNEXES .....	151
TABLE DES FIGURES .....	189
TABLE DES PHOTOGRAPHIES .....	193
TABLE DES TABLEAUX .....	195
TABLE DES MATIÈRES .....	197

