



HAL
open science

La qualité de l'eau du lac de Saint-Germain de Confolens (Charente, Nouvelle-Aquitaine) : diagnostic et proposition d'actions pour l'aide à la gestion

Véronique Maleval, Frédéric Pitois

► To cite this version:

Véronique Maleval, Frédéric Pitois. La qualité de l'eau du lac de Saint-Germain de Confolens (Charente, Nouvelle-Aquitaine) : diagnostic et proposition d'actions pour l'aide à la gestion. *Norois. Environnement, aménagement, société*, 2018, 10.4000/norois.6316 . hal-02378280

HAL Id: hal-02378280

<https://hal.science/hal-02378280v1>

Submitted on 30 Nov 2020

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

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

1 La qualité de l'eau du lac de Saint-Germain de Confolens (Charente, Nouvelle-Aquitaine) :
2 diagnostic et proposition d'actions pour l'aide à la gestion.

3 ***Saint-Germain de Confolens (Charente, Nouvelle Aquitaine) resource lake: Water quality***
4 ***diagnosis and management proposal.***

5
6 Véronique Maleval^{a*} et Frédéric Pitois^b

7 ^aUMR 6042 CNRS, Université de Limoges, 39^E rue Camille Guérin, 87 036 Limoges cedex
8 (veronique.maleval@unilim.fr)

9 ^bLimnologie SARL, 16 rue Paul Langevin, 35 200 Rennes (fred.pitois@limnosphère.com)

10 *auteure correspondant : tel : +33 (0)6 30 99 88 74

11
12 **Résumé**

13 Le lac de Saint-Germain de Confolens en Charente est un réservoir d'eau potable créé en
14 1972. Comme la qualité de son eau pose des difficultés au gestionnaire du lac (les analyses
15 peuvent atteindre les seuils critiques de potabilisation), une étude a été menée sur une année
16 (mars 2015-avril 2016) pour en connaître les causes et proposer des actions de préservation.
17 Par le biais d'une instrumentation *in situ*, de mesures et analyses, les résultats révèlent deux
18 problèmes : l'évolution de l'occupation du sol du bassin versant (simplification du bocage par
19 regroupement de parcelles et disparition des haies favorables à la rétention des particules et
20 polluants) et l'eutrophisation de la masse d'eau initiée par le sous-dimensionnement du
21 déstratificateur, installé dans le lac en 1996. Ainsi, pour pérenniser la distribution de l'eau, il a
22 été préconisé des actions à mener dans le lac lui-même ainsi qu'auprès des agriculteurs.

23
24 ***Abstract***

25 *The Saint Germain Lake was created in 1972 for drinking water supply in Saint Germain de*
26 *Confolens (Charente, France). Water treatment can however be problematic sometimes*
27 *because of a poor raw water quality, with some parameters exceeding regulation thresholds.*
28 *A study was conducted during a full year from March 2015 to April 2016 to identify the*
29 *degradation origins and propose mitigating solutions. The results illustrated two problem*
30 *categories: land use at the watershed scale, with "bocage" and hedgerow reduction leading*
31 *to an increase of particulate and nutrient inflow to the lake, and at lake scale an artificial*
32 *aerator undersized to lake thermal constraints. These conclusions allowed to identify*
33 *propositions for water management and agricultural practices dedicated to secure water*
34 *treatment and distribution in the future.*

35 **Mots clefs**

36 Lac, qualité d'eau, eutrophisation, bassin versant, occupation du sol, bocage, gestion.

37 **Keywords**

38 Lake, water quality, eutrophication, watershed, land use, bocage, management.

39

40 **Introduction**

41 En France, si l'évaluation de la qualité sanitaire de l'eau (essentiellement selon des critères
42 bactériologiques et physico-chimiques) demeure un des piliers de la gestion des milieux
43 aquatiques, l'émergence d'une évaluation de leur état écologique (en lien avec le statut
44 trophique) par rapport à un état de référence, est une innovation en matière de politique de
45 l'eau (Bouleau et Pont, 2014, *in* Mitroi et al., 2016). Dans la réglementation, tandis que la
46 qualité sanitaire émane de circulaires nationales, issues du code de la santé publique mis à
47 jour au 1^{er} janvier 2017, la qualité écologique est décidée au niveau européen par la directive-
48 cadre européenne sur l'eau (Directive 2000/60/CE) et transcrite en France par la loi sur l'eau
49 et les milieux aquatique (LEMA) de 2006. Toutefois, la DCE, qui définit les objectifs de
50 qualité écologique des milieux aquatiques et des conditions de référence (Steyaert et Ollivier,
51 2007), ne s'applique pas aux plans d'eau de moins de 50 ha (Dufour et Piégay, 2009, Finger-
52 Stich, 2013). Cette restriction a été particulièrement étudiée et critiquée par les géographes-
53 limnologues dont l'objet d'étude est l'étang (Bartout et Touchart, 2015, 2013), car
54 l'évaluation et la gestion de leur qualité amènent de fait, à des connaissances partielles, c'est-
55 à-dire limitées aux usages définis par les gestionnaires (Mitroi et al., 2016). En effet, les
56 exigences de qualité de l'eau des milieux aquatiques varient selon leurs usages : si les
57 activités de pêche ne requièrent aucun suivi particulier, la baignade nécessite un suivi
58 approfondi, et les eaux destinées à l'alimentation en eau potable (AEP) doivent répondre à
59 certaines normes de qualité (Reignier et Kerrien, 2015), régies par la directive 1998/83/CE
60 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Ces normes portent sur de
61 multiples paramètres, notamment biologiques, physico-chimiques et radiologiques, permettant
62 aux agences régionales de santé (ARS) de classer l'eau en trois catégories de qualité
63 décroissante (A1, A2 et A3) (arrêté du 11 janvier 2007). Ce classement permet de définir les
64 traitements de l'eau brute (clarification, désinfection, affinage) visant à réduire la
65 concentration ou à éliminer les substances dissoutes ou en suspension pour que l'eau atteigne
66 la qualité sanitaire nécessaire à la distribution.

67

[Tapez ici]

68 Dans le contexte environnemental actuel, la gestion de la ressource en eau est une thématique
69 forte du XXI^e siècle (Bartout, 2015). Les scientifiques prévoient, pour la plupart des régions
70 du monde, que l'accès des populations à l'eau potable constituera un des principaux enjeux
71 (GIEC, 2014), en raison des menaces pesant sur la ressource (exemple de la pénurie et de la
72 pollution avec, dans le même temps, une demande croissante), mais aussi sur sa qualité, des
73 conditions plus chaudes et plus sèches favorisant sa dégradation et son eutrophisation
74 (Jeppesen et al., 2009, Moss et al., 2011, Zhang et al., 2012, Visser et al., 2016). Cette
75 question de l'approvisionnement en eau est, depuis plusieurs dizaines d'années, un défi pour
76 la retenue de Saint-Germain de Confolens en Charente, tant certaines perturbations ont été
77 observées par le gestionnaire et la population. Ainsi, l'objectif de cet article est d'identifier les
78 facteurs responsables de la dégradation de l'eau et de présenter des actions susceptibles de les
79 améliorer, pour aider à une gestion plus efficiente du lac de Saint-Germain de Confolens, et,
80 *in fine*, assurer durablement la distribution d'une eau répondant aux normes de potabilité.

81

82 **PRESENTATION DU SITE ET CONTEXTE DE L'ETUDE**

83 En Charente, le lac de Saint-Germain de Confolens a été mis en eau au début des années 70
84 sur l'Issoire, juste en amont de sa confluence avec la Vienne (bassin de la Loire), par la
85 construction d'un barrage-poids haut de 13 m et d'une longueur de 67,50 m. D'après les
86 caractéristiques morphométriques du lac (tableau 1), il convient de remarquer que si
87 localement, Saint-Germain de Confolens est appelé et considéré comme un lac, il est aussi
88 classé, selon la bibliographie scientifique (Touchart, 2000, 2007 ; Touchart et Graffouillère,
89 2004 ; Bartout, 2006), dans la catégorie stagnustre. En effet, sa faible superficie (moins de 60
90 ha) et son petit volume d'eau (moins d'1 million de m³) font de lui un étang, bien qu'il ait la
91 profondeur d'un lac (plus de 6 m). Saint-Germain de Confolens est donc un lac de très petite
92 taille qui, selon Barthout et Bernard (2007) ne peut être qualifié d'étang, ne serait-ce parce
93 que sa fonction conditionne des prélèvements d'eau pour l'AEP.

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 ³)	740.000
Capacité utile théorique (m ³)	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 1 : Caractéristiques morphométriques du lac de Saint-Germain de Confolens

Morphometric characteristics of lake Saint-Germain in Saint-Germain de Confolens

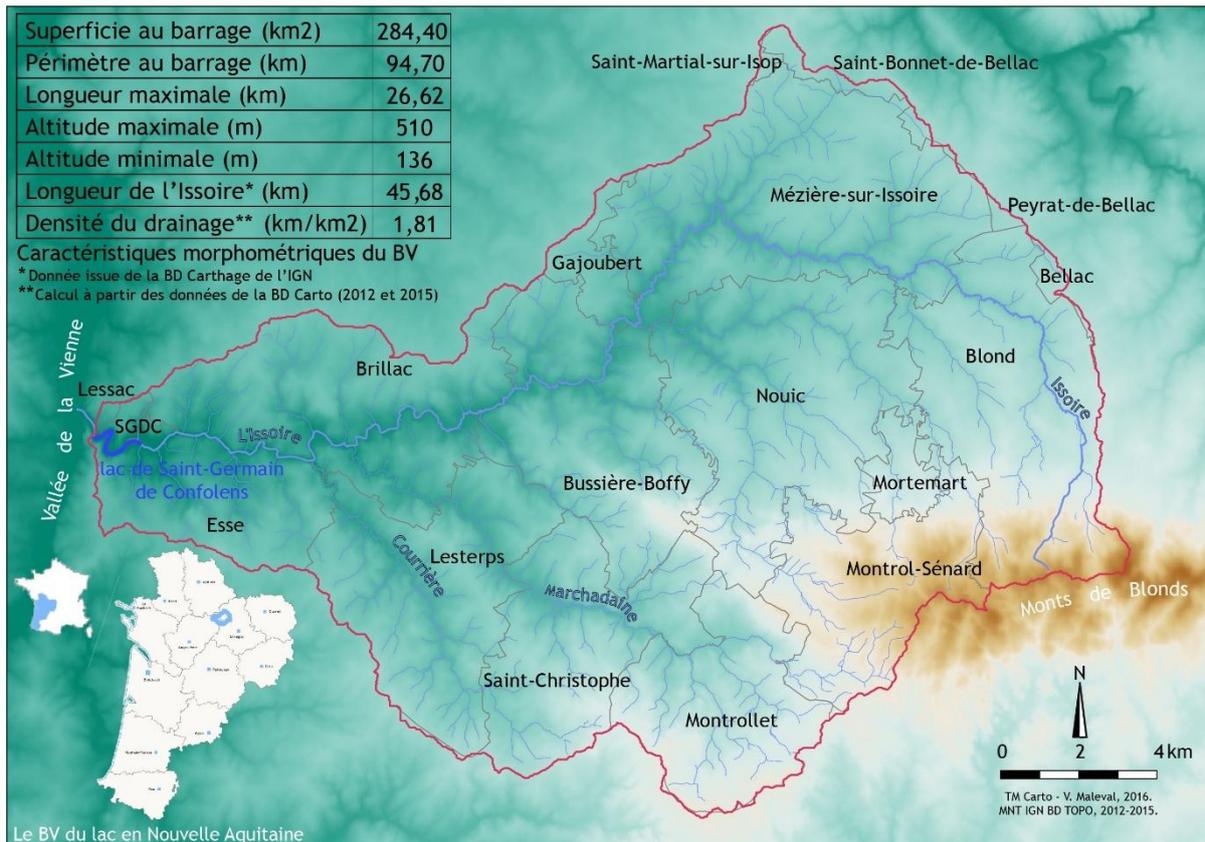
* Données calculées dans MapInfo d'après l'image aérienne de 1972

94

95 L'Issoire, tributaire du lac, naît en Haute-Vienne dans les monts de Blond à environ 400 m
 96 d'altitude et reçoit les eaux de multiples affluents, dont la Courrière et la Marchadaine en rive
 97 gauche (figure 1), avant de pénétrer dans le lac après un parcours d'environ 38 km sur le
 98 plateau cristallin de la marge occidentale du Limousin, datant de l'ère primaire (Capdeville et
 99 al., 1983) ; le terrain granitique calco-alcalin et arénisé du Confolentais a permis de modeler
 100 des collines mollement ondulées. Le lac, encaissé dans la vallée de l'Issoire, reçoit ainsi les
 101 eaux d'un vaste bassin versant rural de 284 km², à cheval sur la Charente (7 communes) et la
 102 Haute-Vienne (11 communes), dont le débit moyen annuel est de 2,8 m³/s ; l'hiver correspond
 103 à la saison des hautes-eaux (Qmoy de 4,3 m³/s), et l'été, aux basses eaux (Qmoy de 0,8 m³/s)
 104 (Boulangier et Savy, 2015). Comme la grande majorité des cours d'eau limousins et
 105 angoumois, l'Issoire a un régime de type pluvio-évaporal océanique (selon Météo-France, les
 106 précipitations moyennes annuelles du bassin versant sont de 850 mm).

107 C'est pour alimenter en eau potable le Confolentais dit Charente-Limousine (pour son
 108 appartenance non seulement géomorphologique, mais aussi historique, culturelle et
 109 linguistique -langue d'oc- au Limousin malgré son rattachement administratif à la Charente),
 110 que ce réservoir a été créé. Le volume prélevé annuellement pour l'AEP d'environ 14.000
 111 habitants (7.979 abonnés au 31 décembre 2015 contre 5.663 dans les années 70) dépasse le
 112 million de m³ (1.256.221 m³ en 2015). L'eau est traitée à Saint-Germain de Confolens à la
 113 station de Bellevue située à 250 m du barrage, en rive gauche. Cette fonction exclusive du lac
 114 représente un enjeu considérable pour la population mais aussi pour le gestionnaire, le
 115 Syndicat d'Eau Potable (SEP) du Confolentais, gérant à la fois la retenue et la distribution de
 116 l'eau.

[Tapez ici]



117

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

119

120 Dès 1974, des traces de fer et manganèse nécessitant un traitement supplémentaire avant la
121 distribution ont été détectées dans l'eau. En 1987, la présence d'insecticide (lindane) et
122 herbicide (triazine) apparaît avant celle d'autres pesticides (atrazine et simazine à partir de
123 1995) que les procédés de traitement ne peuvent totalement éliminer. Sans compter qu'au
124 début des années 90, l'eau, de qualité déjà insatisfaisante, se détériorait fortement en été par la
125 croissance démesurée des cyanophycées (Boulanger, Savy, 2015). Plus récemment, les
126 teneurs en matières organiques ont atteint la limite de potabilisation : 9 mg/l mesurés pour une
127 limite maximale à 10 (SEP, 2015). Ainsi, les quelques études effectuées ponctuellement ont
128 montré qu'au fil du temps, la qualité des eaux brutes se dégrade, malgré le traitement
129 thermique du lac par l'aménagement, en 1996, d'une aération forcée des eaux lacustres pour
130 oxygéner la masse d'eau. Face à cette situation de plus en plus difficile (l'eau brute est classée
131 A3) et coûteuse (par exemple, plus de 20.000 € ont été dépensés pour le traitement de l'eau
132 pour les seuls mois de juillet et août 2006 -Boulanger, Savy, 2015-, et 461.000 € pour la seule
133 année 2015), la décision de procéder, sur un délai d'un an minimum, à une étude de synthèse
134 sur le fonctionnement de la retenue dans son bassin versant, a été jugée primordiale pour
135 cerner les dysfonctionnements persistants dégradant la qualité de l'eau.

136

137 METHODOLOGIE

138 La connaissance de la qualité des lacs (fonctionnement écologique et caractéristiques
139 sanitaires) passe par des investigations visant à acquérir des informations sur l'ensemble des
140 composantes du système lacustre (pleine eau, sédiments, organismes vivants) (Beaujeu et
141 Paolini, 2015), mais également sur son bassin versant. Ainsi, pour connaître le
142 fonctionnement physique et l'évolution morphologique de la retenue d'eau de Saint-Germain,
143 l'étude complète a été articulée autour de 3 volets : 1) un bilan sédimentaire permettant
144 d'évaluer le volume utile et la dynamique de la sédimentation (Maleval et Pitois, 2017), 2) un
145 suivi physico-chimique des eaux du lac, des eaux de l'Issoire et de celles exportées au-delà du
146 lac, et 3) une étude pour évaluer l'influence du bassin versant sur la qualité des eaux et le
147 volume solide entrant dans la retenue. Pour aboutir aux résultats, le protocole relativement
148 complet de mesures, d'observations et d'analyses grâce, notamment, à une instrumentation *in*
149 *situ*, a été mis en œuvre durant une année complète, d'avril 2015 à mars 2016. Dans cet
150 article, destiné en partie à cerner les interactions entre la qualité de l'eau du lac et les activités
151 en amont, seuls les volets consacrés au suivi physico-chimique des eaux (lacustres et fluviale)
152 et à l'étude du bassin versant sont présentés.

153 Pour l'étude qualitative de l'eau lacustre

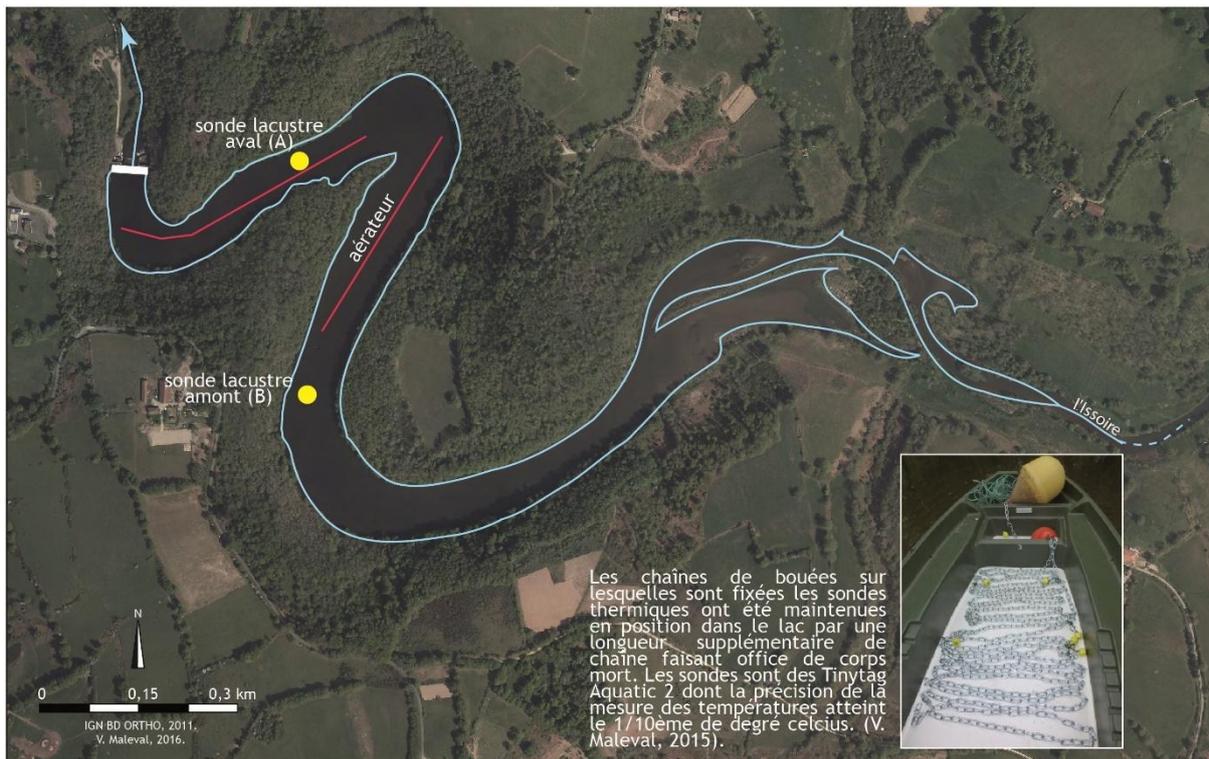
154 Pour comprendre les dysfonctionnements de la retenue de Saint-Germain, le protocole
155 qualitatif d'étude de l'eau a été couplé à une étude thermique, tant les caractéristiques
156 physique, biologique et chimique de la retenue, sont dépendantes de la température.

157 *Suivi thermique de la retenue*

158 Comme la distribution géographique des températures (et de la lumière) à l'intérieur d'un lac
159 conditionne la répartition spatiale de nombreuses autres caractéristiques lacustres, comme la
160 disponibilité en oxygène des eaux de profondeur ou encore l'étagement et la zonation
161 biogéographique (Wetzel, 2001, Touchart, 2002), l'étude thermique de Saint-Germain est
162 apparue inévitable. L'objectif de ce suivi est la connaissance du comportement thermique du
163 lac sur une année, en sachant que celui-ci n'est plus conditionné uniquement par le contexte
164 géographique (climatique et hydrologique essentiellement) du lac. En effet, utilisé dans les
165 plans d'eau depuis les années 1950 (Cooley & Harris, 1954 in Touchart, 2002), le lac de Saint
166 Germain est équipé depuis 1996, dans sa partie aval, d'un aérateur à injection d'air destiné à
167 casser la stratification thermique de la colonne d'eau et à oxygéner les eaux profondes pour
168 lutter contre le développement excessif des micro-algues et le relargage d'éléments

[Tapez ici]

169 indésirables comme le fer, le manganèse, l'ammoniaque ou les sulfures, néfastes à la
170 potabilisation de l'eau (Stumm W., 2005). Pour cette étude, la méthode employée a été
171 largement développée par Touchart (2002), géographe-limnologue spécialiste de la thermique
172 des milieux aquatiques. Ainsi, entre mai 2015 et mars 2016, 10 sondes thermiques
173 enregistreuses ont été installées en continu dans le lac, par le biais de deux chaînes de bouées
174 comportant chacune 5 sondes. Pour comparer les effets du déstratificateur, la chaîne amont a
175 été localisée en dehors de son influence, la seconde, à proximité de la rampe aval (figure 2).
176 Pour obtenir la répartition verticale des températures, les sondes ont été disposées le long de
177 la chaîne de bouée, en fonction de la profondeur : une à 50 cm sous la surface, une au fond et
178 3 intermédiaires à 1 m, 2 m et 3 m. Pour appréhender correctement les cycles thermiques, les
179 sondes ont été paramétrées pour enregistrer la température de l'eau toutes les heures (Webb &
180 Walling, 1997), comptabilisant 7.871 données par sonde. Au total, les 11 sondes en état de
181 fonctionnement ont recueilli, sur 327 jours, 86.297 données thermiques horaires à analyser.
182 Le paramétrage des sondes et le déchargement des données ont été effectués avec le logiciel
183 *OTLM Gemini Data Logger*.



184

185 Figure 2 : Localisation et caractéristiques des sondes thermiques enregistreuses

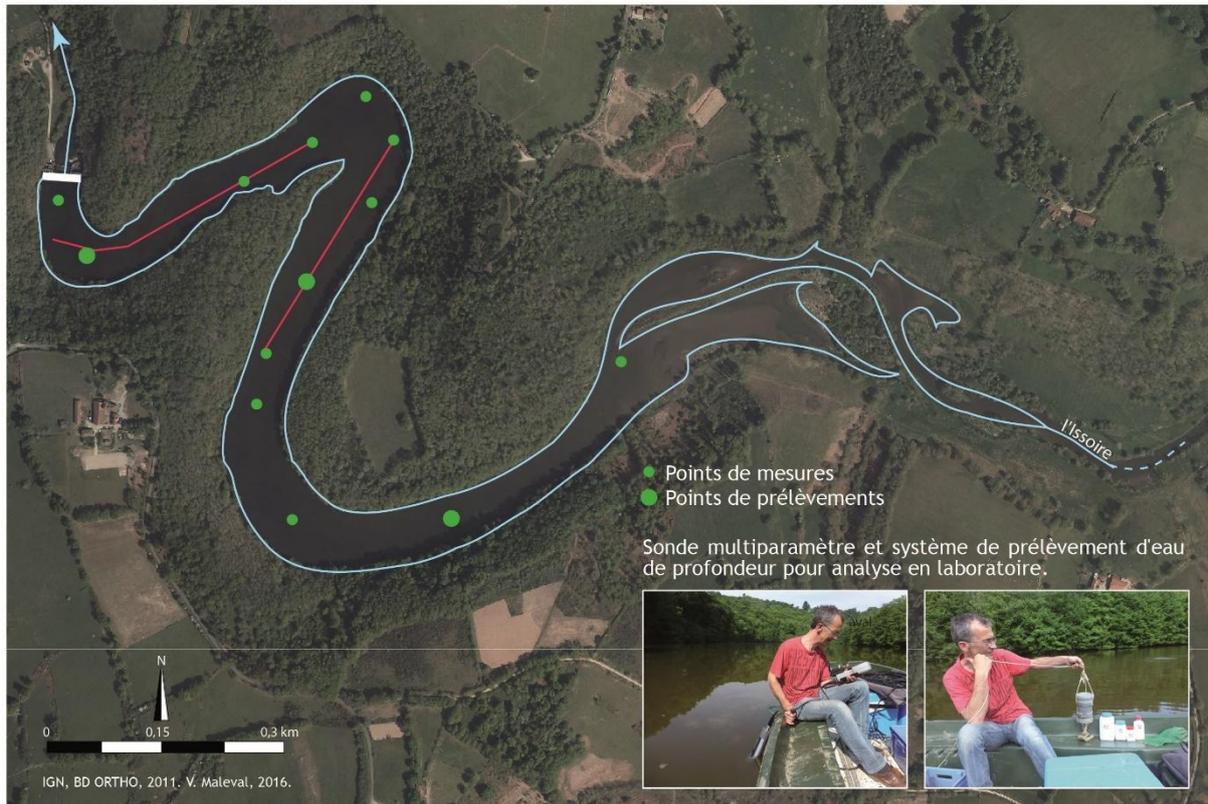
186

187 Durant l'année complète d'enregistrement des sondes thermiques, le suivi de la qualité de
188 l'eau a été régulier et relativement complet comme décrit ci-dessous.

189

190 *Suivi de la qualité de l'eau*

191 La qualité de l'eau est sans doute le paramètre le plus connu car le plus contrôlé par le
192 gestionnaire compte tenu de la fonction d'AEP du lac de Saint-Germain. Cependant, la
193 présence excessive et croissante de certains composants dans cette eau a rendu obligatoire la
194 mise en place d'un suivi annuel approfondi de l'eau lacustre. Ainsi, les principales
195 caractéristiques physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous, acidité, conductivité,
196 phycocyanine, un pigment spécifique aux cyanobactéries) ont été mesurées trimestriellement
197 la première année (les 15 avril, 11 juin, 27 juillet, 16 septembre, 10 décembre 2015 et 17 mars
198 2016), puis chaque mois au cours de l'été 2016 (les 26 juillet, 24 août et 19 septembre), en 13
199 points lacustres, tous les 50 cm du fond vers la surface, grâce à l'utilisation d'une sonde
200 multiparamètre YSI 6600 V2 (figure 3). Ces relevés permettent d'apprécier, au cours des
201 saisons, l'activité biologique et la disponibilité de l'oxygène dans la colonne d'eau. De plus,
202 des échantillons d'eau brute ont été prélevés, à la même fréquence, en 3 points du lac (amont,
203 médian et aval, figure 3) et selon un profil vertical (à 50 cm sous la surface pour le point
204 amont, à 50 cm sous la surface et 50 cm au-dessus du fond pour les points médian et aval),
205 pour réaliser, en laboratoire, des analyses physico-chimiques de nutriments, de matières en
206 suspension (MES), de minéralisation et de micropolluants comme les métaux, mais également
207 des analyses hydrobiologiques (chlorophylle a et phytoplancton, seulement en surface) afin
208 d'évaluer la production primaire, connue comme élevée dans les lacs peu profonds (Scheffer
209 M., 2004, Beaujeu et Paolini, 2015). Les résultats, interpolés sous Sigma Plot 12 et présentés
210 sous forme de profils, rendent compte de la distribution longitudinale et verticale des
211 principaux marqueurs du fonctionnement du lac.



212

213 Figure 3 : Localisation des profils verticaux

214

215 **Pour l'étude du bassin versant**

216 Un lac étant le maillon d'une chaîne complexe en relation directe avec son bassin versant, il
217 convient de comprendre les mécanismes et les imbrications qui se produisent entre une rivière
218 et un lac, « milieux si différents, et pourtant si complémentaires dans la gestion de la
219 ressource au niveau d'un bassin versant » (Savy, 2006). Ainsi, en simultanément à l'étude du lac
220 lui-même, les échanges s'exerçant du bassin versant vers le lac, et au-delà, ont été étudiés.
221 Ces échanges apparaissent particulièrement importants à connaître, au regard de la taille du
222 bassin d'alimentation.

223

224 ***L'occupation du sol du bassin versant du lac***

225 Apparemment trop riche en nutriments, il apparaissait fort possible que le lac de Saint-
226 Germain-de-Confolens reçoive de l'amont, des pollutions ponctuelles et diffuses d'origine
227 anthropique. En effet, le bassin d'alimentation étant un système géographique global c'est-à-
228 dire physique et humain (Touchart, 1993) connecté au lac, il était important, pour expliquer,
229 en partie, l'origine des perturbations du lac, d'étudier le bassin versant par le biais de
230 l'occupation actuelle du sol ainsi que son évolution depuis la création du lac. Ainsi,

231 l'occupation du sol a été photo-interprétée sur les 284 km² du bassin d'alimentation, à deux
232 dates différentes : 1972, juste à la création du lac, et 2011. Les documents utilisés ont été les
233 bases cadastrale (BD parcellaire de l'IGN), topographique (IGN scan 25) et agricole (RPG
234 2012, Inventaire Forestier National) ainsi que les images aériennes (photographie de 1972 et
235 orthophotographie de 2011). La photo-interprétation, effectuée à l'échelle de la parcelle dans
236 les logiciels *QGIS* et *MapInfo*, a permis de constituer la base de données initiale après
237 identification des différents milieux. En raison de l'importante dimension du bassin versant, la
238 discrétisation de l'occupation du sol a été simplifiée en six classes : les espaces boisés et les
239 friches forestières, les prairies (permanentes ou temporaires, les estives et les fourrages), les
240 cultures (céréales, oléagineux, protéagineux), les friches agricoles et les broussailles, les
241 vignes, les plans d'eau ainsi que les secteurs bâtis ou artificialisés. Les résultats ont été
242 cartographiés.

243

244 De plus, pour mieux comprendre l'érosion du bassin versant et les apports au lac, cette étude a
245 été affinée par la cartographie évolutive du linéaire de haies, celles-ci ayant un rôle de barrière
246 physique et biogéochimique (Viaud, 2004) en interceptant le ruissellement, les sédiments et
247 les polluants, un processus largement étudié par P. Merot (1999), V. Caubel (2001) et V. Viaud
248 (2004). En effet, leur présence, en augmentant les distances et les temps de transfert des
249 ruissellements, et en canalisant l'écoulement des eaux pluviales, favorise l'infiltration et le
250 dépôt des particules, des nutriments et des polluants comme les pesticides (Viaud, 2004,
251 Liagre, 2006). Pour cette étude, le linéaire des haies arborées et buissonnantes nettement
252 identifiées sur les différentes missions aériennes, a été digitalisé, pour les 2 années, à l'échelle
253 1/10 000^{ème}. Il n'a pas été tenu compte des haies basses de jardins ou de bord de route
254 (murets, ronciers...) dont l'identification est plus difficile, notamment sur les photographies
255 de 1972. La comparaison des deux digitalisations a mis en évidence l'évolution du linéaire à
256 savoir, les haies disparues, l'aménagement de nouvelles et celles intégrées aux espaces en
257 friche ou aux espaces boisés. Ces résultats ont été cartographiés. Ensuite, il a été calculé à
258 partir du MNT du bassin versant (IGN BD ALTI 2015), grâce au logiciel *QGIS*, la pente et le
259 sens d'écoulement en amont de chaque haie disparue et créée (maille de 25 m) afin de
260 déterminer leur importance dans le processus d'érosion : « le ruissellement de versant qui
261 arrive en amont d'une haie perpendiculaire à la direction de l'écoulement est ralenti et infiltré
262 ou redirigé. L'infiltration est favorisée par la forte perméabilité du sol au voisinage des haies,
263 liée à la forte teneur en matière organique et à la porosité au niveau des racines. Les haies non
264 perpendiculaires aux écoulements participent également à l'allongement des distances et des

[Tapez ici]

265 temps de transfert en ralentissant et en redirigeant le ruissellement » (Viaud, 2004, p. 33),
266 mais si elles sont parallèles à la pente, elles n'ont aucune efficacité pour contrer le transport
267 de sédiments.

268

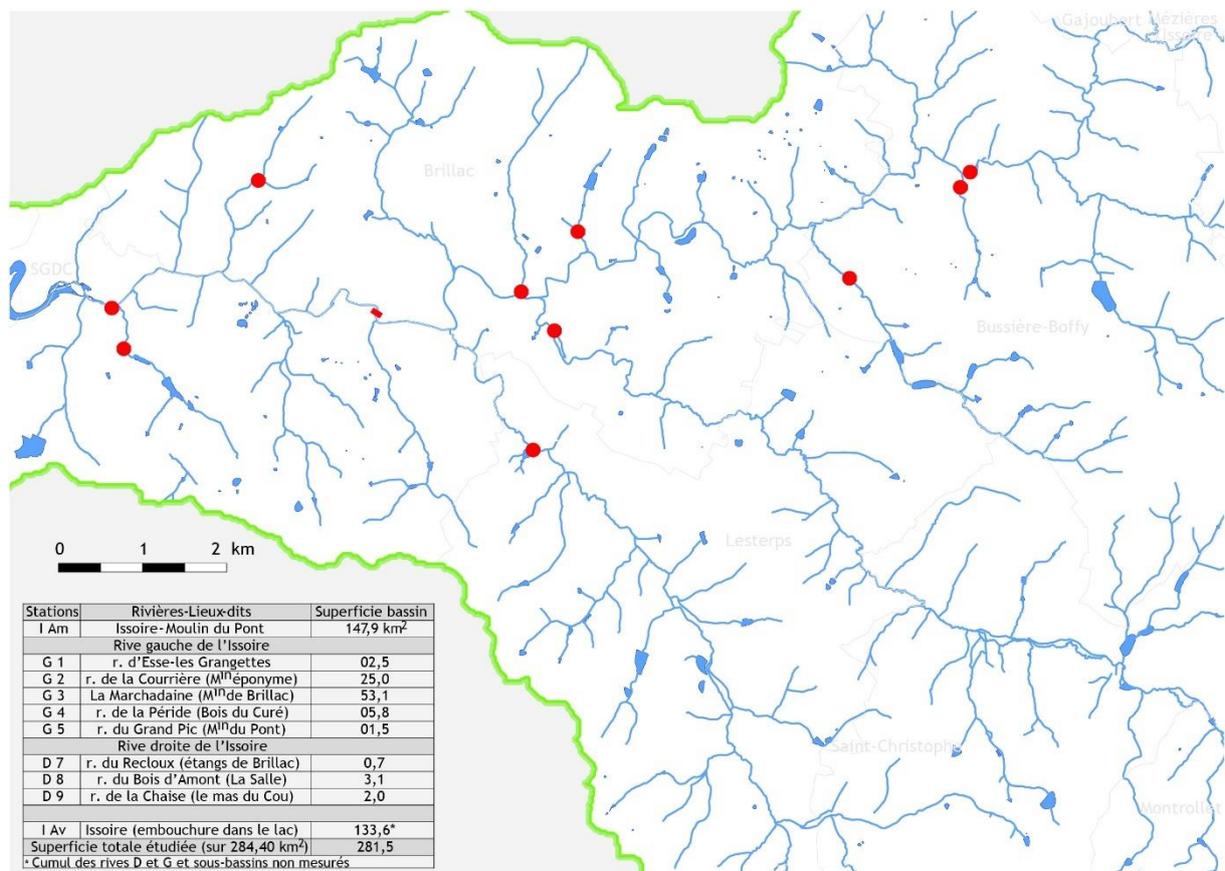
269 *Le suivi de l'Issoire et de ses affluents*

270 Les principaux échanges étudiés entre le bassin versant et le lac ont été les matières en
271 suspension (MES), principaux apports solides de tous ceux en présence (Forel, 1892 ; Collet,
272 1925), possédant à eux seuls « une valeur représentative très suffisante » (Fournier, 1960, p.
273 26), ainsi que les nutriments dont le phosphore, dans la mesure où les valeurs relevées dans la
274 littérature technique sont importantes : selon l'étude de R. Tymen (1997) sur différents lacs du
275 bassin Loire-Bretagne, dont Saint-Germain de Confolens, le lac étudié recevrait plus de 90 %
276 de phosphore d'origine agricole et la charge de son bassin serait de 1,83 kg/ha. Ces matières
277 entrent avec les eaux de l'Issoire, elles-mêmes en relation avec les précipitations qui, chaque
278 semaine de l'année d'étude, ont été collectées auprès des services de Météo-France. Cette
279 étude a été conduite sur un cycle hydrologique complet, d'avril 2015 à mars 2016, de façon à
280 observer les variabilités saisonnières. Les techniciens du SEP ont prélevé toutes les semaines
281 1 litre d'eau en amont du lac, au pont Binot (figure 4) et, une fois par mois, 3 litres d'eau pour
282 l'analyse des paramètres physico-chimiques et hydro-biologiques (les mêmes que pour l'eau
283 lacustre). En raison de l'inégale répartition verticale et transversale des particules transportées
284 en suspension dans une section mouillée (Fournier, 1960), « l'eau a été prélevée à environ 25
285 cm au-dessous de la surface dans la section du lit où le courant est le plus rapide » (Maleval,
286 2006). Pour avoir une connaissance précise du rôle joué par le lac, le même travail a été
287 conduit juste en aval de la retenue pour mesurer les sorties du lac. Au total, 104 échantillons
288 d'eau ont été prélevés puis analysés en laboratoire.

289

290 Afin de compléter les résultats sur l'eutrophisation, il a été conduit, au cours de l'été 2016 (à
291 la fin des mois de juillet, août et septembre), trois campagnes de prélèvements d'eau dans les
292 affluents de l'Issoire, pour évaluer la qualité de l'eau pénétrant dans le lac, et connaître le rôle
293 du bassin d'alimentation sur la qualité de l'eau lacustre. Dix sites de prélèvements (figure 4)
294 ont été choisis en fonction de leurs particularités amont à savoir la présence de terres
295 labourées et cultivées, de vergers et d'étangs mais aussi de regroupements humains (lieu-dit,
296 village de vacances) ; ils sont représentatifs de l'ensemble de l'occupation du sol du bassin
297 versant. L'objectif est de connaître les contributions des affluents à la dégradation de la

298 qualité de l'eau et d'en identifier l'origine (érosion de terres, rejets d'eaux usées, vidange
 299 d'étangs...). En raison du prélèvement mensuel (de juillet à septembre), les contributions
 300 relatives aux flux ont été évaluées par la moyenne des concentrations des trois campagnes,
 301 pondérée par la surface des sous-bassins. Cette méthode autorise également la comparaison
 302 des sous-bassins entre eux par rapport à la qualité moyenne des eaux dans l'ensemble du
 303 bassin versant : si la contribution est inférieure à la quote-part de superficie, la qualité de l'eau
 304 est meilleure que la moyenne, et si la contribution au flux est supérieure à la quote-part de
 305 superficie, la qualité de l'eau est moins bonne que la moyenne.



306

307 Figure 4 : Localisation des points de prélèvements d'eau dans le bassin versant du lac

308

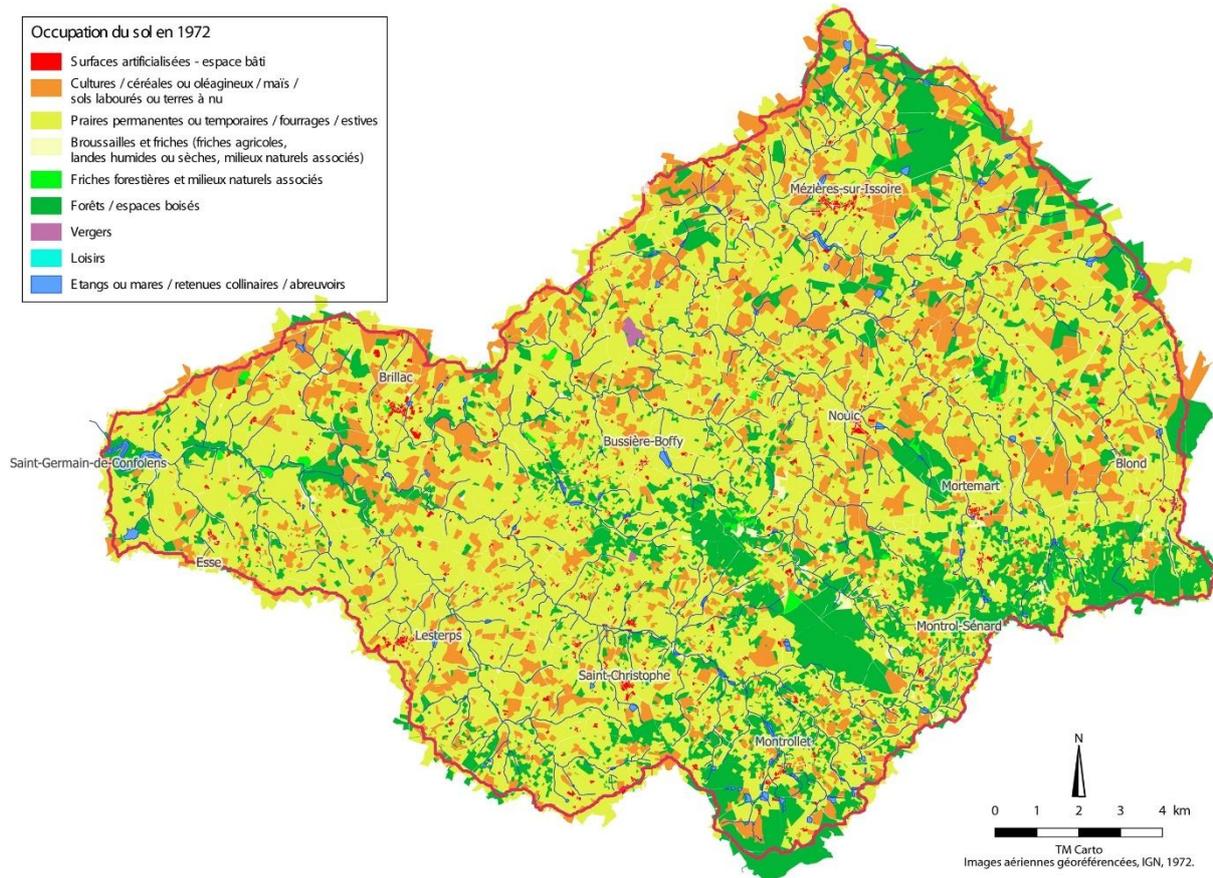
309 SYNTHÈSE DES RESULTATS

310 Occupation du sol du bassin versant et évolution

311 • D'un point de vue général, le bassin versant est une région rurale pour laquelle l'occupation
 312 du sol est restée sensiblement la même entre 1972 et 2012 : les 3 unités bien représentées sont
 313 les prairies, les cultures et les espaces boisés. En 40 ans, les changements se sont opérés
 314 principalement en termes de répartition et spécialisation :

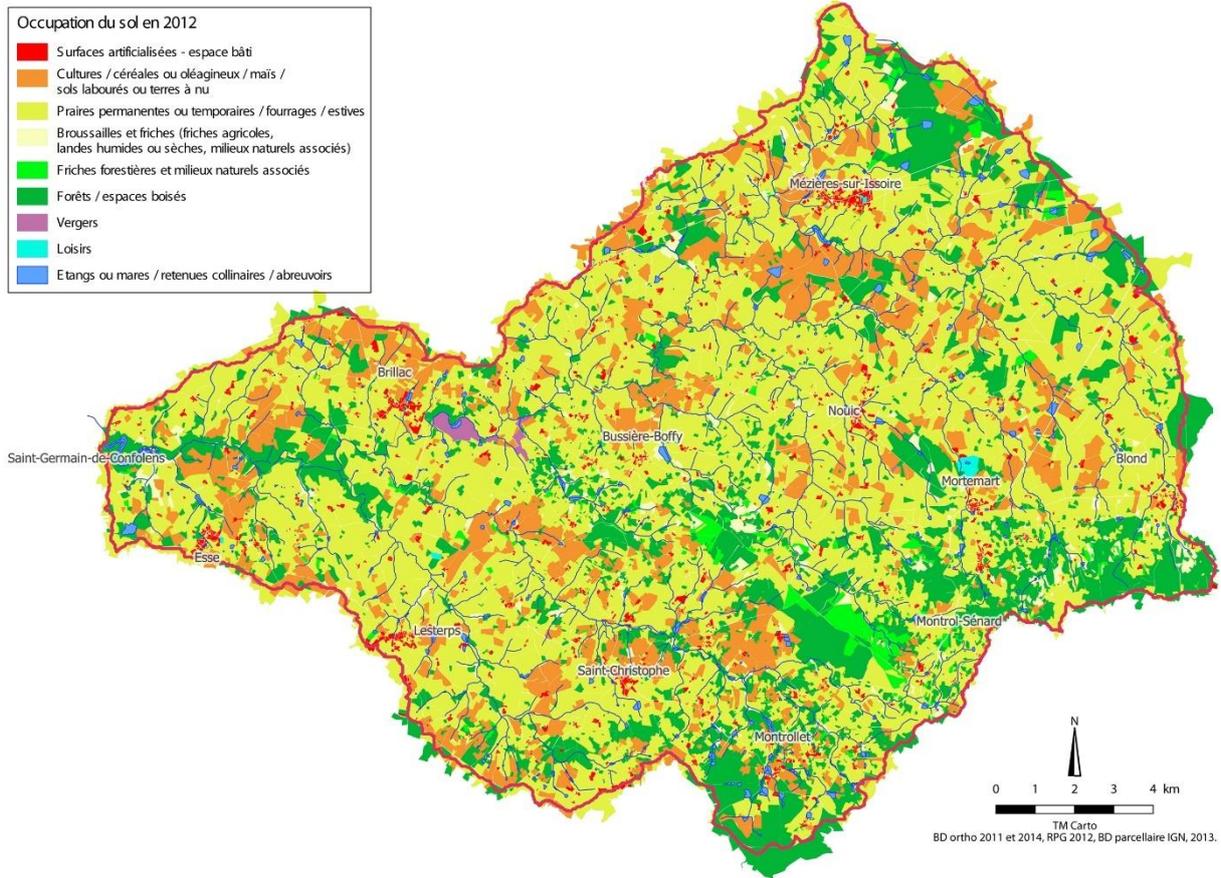
[Tapez ici]

315 - à la création du lac, en 1972 (figure 5), le paysage agricole (hors forêts) était très morcelé
316 tant les parcelles cultivées (principalement pour les céréales) ponctuaient les prairies vouées à
317 l'élevage extensif ovin. Dans ce territoire bocager, la superficie de l'espace prairial dominait à
318 hauteur de 62,66 % tandis que les cultures céréalières représentées à 18,26 %, étaient moins
319 étendues que les espaces forestiers (19,22 %). Ceux-ci, bien que disséminés dans l'ensemble
320 du bassin versant, caractérisent surtout le nord, la commune de Mézières-sur-Issoire, et le sud
321 du bassin versant, entre Montrollet et les monts de Blonds.



322
323 Figure 5 : L'occupation du sol du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens en
324 1972

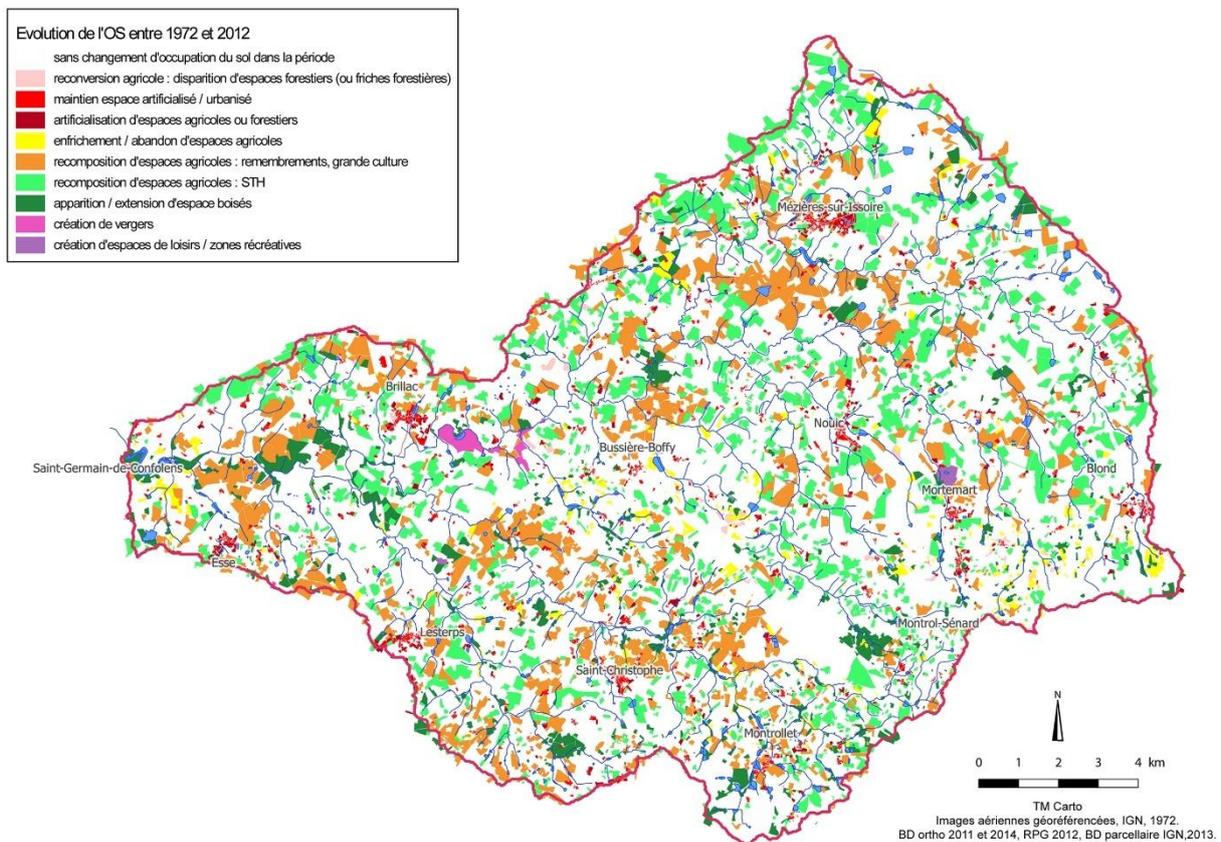
325
326 - En 2012 (figure 6), l'occupation du sol montre une spécialisation du territoire par
327 regroupement des parcelles créé par le remembrement. Ces regroupements fonciers, plus
328 intéressants à exploiter et effectués au profit des céréales (notamment du maïs et du blé), sont
329 par exemple très nets le long de l'Issoire, juste en amont du lac (figure 7) : entre Esse et
330 Brillac, si le fond de la vallée de l'Issoire a été boisé entre les 2 dates, les prairies de 1972 ont,
331 sur les versants et à leur sommet, laissé la place aux cultures.



332

333 Figure 6 : L'occupation du sol du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens en

334 2012



335

336 Figure 7 : L'évolution de l'OS du bassin versant du lac entre 1972 et 2012

337

338 Sur l'ensemble du bassin versant, les pourcentages montrent une diminution négligeable de la
339 superficie des espaces labourés (- 1,51 % soit 16,75 %), et si les prairies destinées à l'élevage
340 extensif¹ restent dominantes malgré une légère baisse avec 59,33 % de la surface (- 3,33 %),
341 les bois et friches forestières ont légèrement progressé (+ 1 % soit 20,22 % pour les forêts ;
342 1,53 % en 2012 contre 0,54 % en 1972 pour les friches). La dernière caractéristique du bassin
343 versant en 2012 est le nombre considérable de points d'eau recensés de toutes sortes (étangs,
344 mares, abreuvoirs) : en 40 ans, ils sont passés de 210 à 548, soit une augmentation de 88,2 %.
345 Comme l'explique Bartout (2012), ces créations sont le fait de citoyens profitant de la déprise
346 agricole pour réinvestir les campagnes.

347

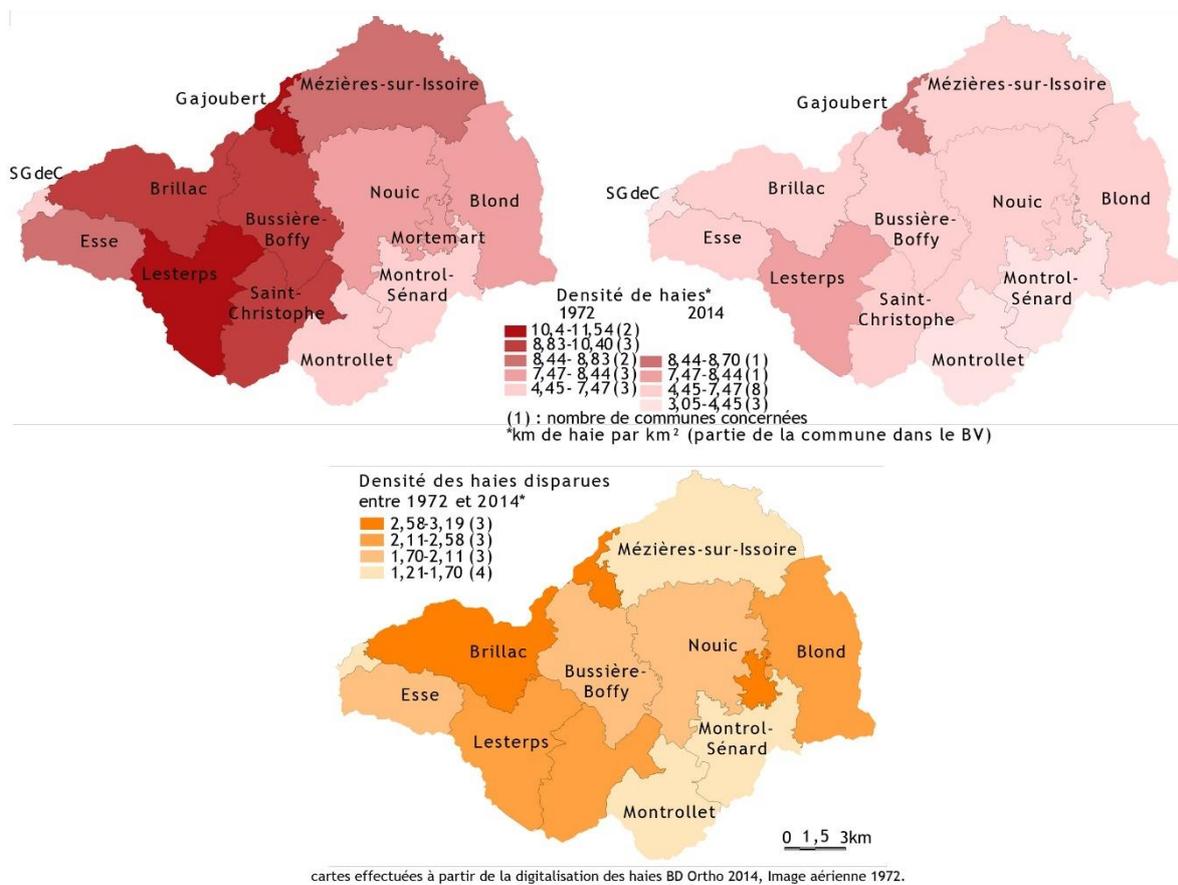
348 • Entre 1972 et 2014, le linéaire des haies a significativement diminué car si à la création du
349 lac, 2 279 km de haies dessinaient les parcelles agricoles, près de 658 km ont disparu en 2014,
350 soit près de 30 % du linéaire de l'ensemble des communes du bassin versant. Les disparitions
351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

359

360 La Figure 8 représentant la densité des haies par communes (longueur de haies par km² de
361 portion communale intégrée au bassin versant) confirme que les communes de Charente, en
362 1972, avaient plus de haies au km² (8,83 à 11,54 km /km²) ; cependant, deux communes de
363 Haute-Vienne, Bussière-Boffy (limitrophe de la Charente) et Gajoubert, enregistraient ces
364 fortes densités. Gajoubert et Lesterps (Charente) étaient, en 1972, les communes du bassin
365 versant les plus bocagères. La carte illustrant les densités en 2014 comprend non seulement
366 des haies déjà en place en 1972 mais également de nouvelles, créées entre 1972 et 2014. Il
367 apparaît tout de même sur cette carte une diminution de densité pour l'ensemble des

¹ 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).

368 communes du bassin versant, faisant disparaître les 2 classes de densités les plus fortes (8,83 à
 369 11,54 km /km²) et apparaître une classe de plus faibles densités (3,05 à 4,45 km /km²).
 370 Lesterps et Gajoubert restent, malgré une diminution (plus forte pour Lesterps), les communes
 371 où le bocage est le plus présent au km² (7,47 à 8,70 km /km²). La 3^{ème} carte de la figure 8
 372 matérialisant la seule disparition des haies entre 1972 et 2014, révèle que c'est principalement
 373 à proximité du lac, à Brillac, Lesterps et Saint-Christophe, que l'arrachage des haies a été le
 374 plus intense (2,11 à 3,19 km /km²). Cette évolution apparait logique en raison des
 375 regroupements parcellaires voués aux cultures, effectués entre 1972 et 2014, principalement
 376 en Charente.



377
 378 Figure 8 : Evolution de la densité des haies du bassin versant du lac de Saint-Germain entre
 379 1972 et 2014.

380
 381 De plus, il convient de noter que sur l'ensemble du bassin, 85 % des haies disparues (83,95 %
 382 en Haute-Vienne et 83,05 % en Charente) avaient une réelle efficacité pour contrer l'érosion
 383 des sols par leur position plus ou moins perpendiculaire à la pente. En effet, même si la
 384 vitesse de transfert dépend de la rugosité du sol et de la pente, elles ralentissent les flux et
 385 modifient la direction des écoulements en les canalisant (Molénat et al., 2009), et/ou en les

[Tapez ici]

386 infiltrant (Viaud, 2004). Pour cette raison, il existait dans les paysages anciens, une relation
387 entre la densité du bocage et la pente (Viaud, 2004). Ici, le seul exemple d'Esse est
388 représentatif de la disparition des haies ayant un vrai rôle anti-érosif (tableau 2) : avec une
389 pente moyenne de 3,72°, 88,14 % des haies disparues favorisaient l'infiltration des
390 ruissellements et le piégeage des particules transportées.

391

Commune de Esse (3006 ha)		
Esse : 1512 ha dans de BV (50,3%)	Longueur (km)	(% par rapport à 1972)
Longueur totale de haie 1972	131,2	
Longueur totale de haie 2014	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
Total de disparition / mutation du réseau de haies	35,29	26,90
Recomposition du réseau de haie (haies modifiées, plantation, friche, haie vive...)	2,35	1,79
Position des haies disparues en fonction des écoulements	Longueur (km)	(%)
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
Bilan : pourcentage de haies disparues favorisant l'infiltration	24,15	88,14

392 Tableau 2 : Les caractéristiques de la disparition des haies sur la commune d'Esse

393 *Hedgerow cover evolution in the town of Esse*

394

395 Les investigations menées dans le bassin versant pour connaître les apports au lac (transferts
396 de matières comme les nutriments ou les cyanobactéries) en témoignent.

397

398 **Activités et transferts vers le lac**

399 Pour tenter de localiser les secteurs du bassin versant vecteurs de matières solides et de
 400 pollutions, le travail mené sur la partie aval du bassin versant (principalement charentaise),
 401 s'est focalisé sur l'Issoire et quelques-uns de ses affluents, traversant des zones
 402 représentatives en termes de population, d'activités ou encore d'occupation du sol.

403

404 Dans l'ensemble, sur les 3 campagnes de mesures de l'été 2016, les analyses montrent que la
 405 qualité des eaux des affluents est très contrastée, souvent plus dégradée que celle des eaux de
 406 l'Issoire :

407 - L'Issoire en amont du territoire du SEP (partie haut-viennoise matérialisée par la station *I*
 408 *Am* de la figure 4), couvrant 52,5 % de la surface totale du bassin (superficie équivalente à
 409 celle des affluents étudiés), devrait, mathématiquement, porter près de la moitié des flux de
 410 matières arrivant au lac. Ce n'est pas le cas car plusieurs contaminants sont présents au-delà
 411 de la moyenne, à l'image du phosphore (62 % du total), de l'ammoniaque (74 % du total), du
 412 carbone organique (64 % du total, notamment sous forme particulaire) et du phytoplancton
 413 (61 % du total).

414 - Pour les affluents de rive gauche et droite, le tableau 3 synthétise les contributions de chaque
 415 cours d'eau et montre qu'elles sont très variables :

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

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

418 *Relative subcatchment contributions to element inflow into lake Saint Germain (3-month*
 419 *averages: July, August and September 2016)*

[Tapez ici]

420

421 Les plus représentatifs sont, pour la rive gauche, le ruisseau d'Esse (G1) qui porte à lui seul
422 6,7 % de l'azote minéral (essentiellement des nitrates) et 4,7 % du phosphore total
423 (principalement des PO₄) alors qu'il ne représente que 2,5 % de la superficie du bassin, et le
424 ruisseau du Grand Pic (G5), en aval de Bussière-Boffy. Celui-ci est l'un des plus dégradés
425 compte-tenu de sa petite superficie : pour 1,5 % du BV, il transporte par exemple 6 % des
426 nitrites et de l'ammoniaque, 2,5 % de l'azote organique, plus de 2 % des phosphates et 3,6 %
427 du phytoplancton ; ces valeurs représentent plus du double d'une contribution moyenne. Pour
428 la rive droite de l'Issoire, si le ruisseau des étangs de Brillac (D7) est caractérisé par la plus
429 petite superficie (0,5 % du BV), il enregistre les plus fortes dégradations, notamment vis-à-vis
430 du fer et du manganèse (3 %), de l'azote (3,5 % des nitrites), du phosphore (1,2 %), de la
431 matière organique (3,3 % du COP), ou encore du phytoplancton (7,8 %). Il est encore possible
432 de citer le ruisseau de la Chaise (D9) occupant 2 % du BV mais contribuant fortement pour
433 les formes réduites de l'azote minéral (5,4 % de NH₄ et 15,5 % de NO₂), de l'azote organique
434 (3,3 %), des MES (2,9 %) et du carbone organique (3,9 % du particulaire).

435

436 Le tableau 4 synthétise l'origine de ces multiples apports : les cours d'eau vecteurs de
437 matières et polluants au lac de Saint-Germain, en plus grande quantité au regard de leur
438 surface occupée dans le bassin versant, sont le ruisseau d'Esse (G1), le ruisseau de Grand Pic
439 (G5), le ruisseau des étangs de Brillac (D7) et le ruisseau de la Chaize (D9).

440

	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
Agriculture (labours – élevage)	●●		●	●	●●	●●	●	●●
Assainissement	●●	●			●●	●	●	●●
Etangs				●	●●	●●		●●

441 Tableau 4 : Origine des apports au lac de Saint-Germain via les cours d'eau

442

(les ●● sont synonymes d'apports plus conséquents)

443

Origin of the riverine contributions to lake Saint-Germain

444

(●● are synonymous with more significant inputs)

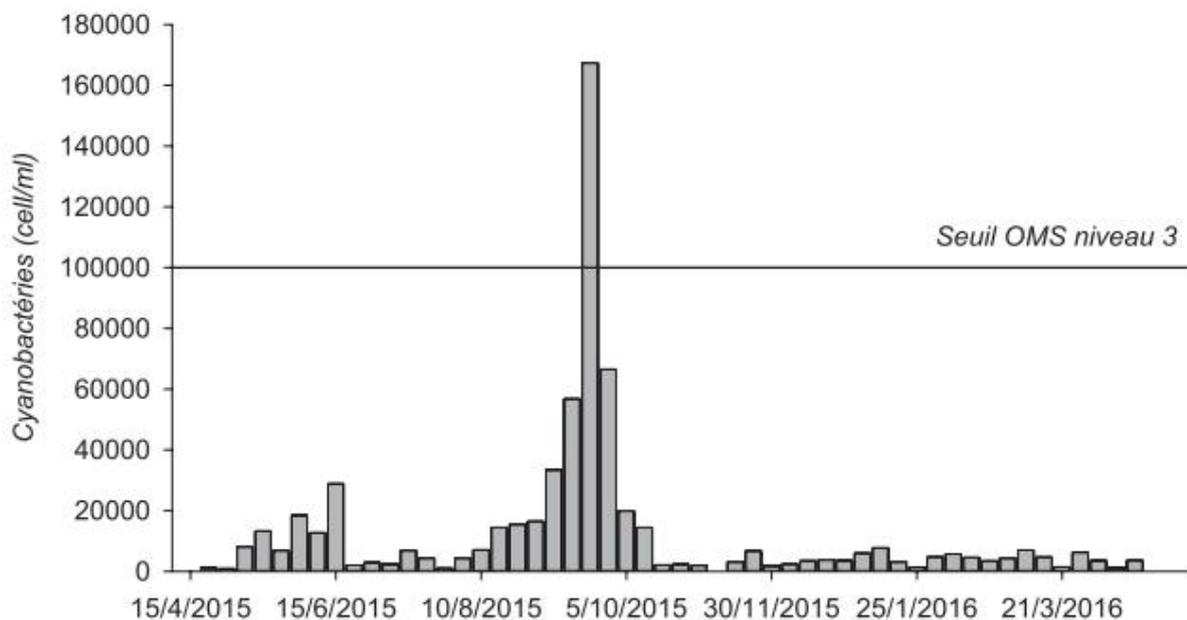
445

446 Ainsi, à l'image de plus de 91 % des eaux superficielles française (Banas *et al.*, 2016),
447 l'Issoire et ses affluents contribuent significativement à la pollution du lac et, même si la
448 partie haut-viennoise du bassin porte de nombreux éléments perturbants (fer, manganèse,

449 phosphates, matière organique, phytoplancton), deux types de contributions ont été identifiées
450 :

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

455 - Les autres contributeurs, les ruisseaux d'Esse, la Péride, le Grand Pic, Brillac, le Bois
456 d'Amont et la Chaize, représentent 16 % de la superficie du bassin, mais 28 % en moyenne
457 des flux d'éléments arrivant à l'Issoire. Dans le détail, leur participation est élevée pour les
458 métaux (16-17 % du fer et du manganèse) et la matière organique (20 % du COT), et est
459 critique pour l'azote (25 % de l'azote organique, 37 % des nitrites), le phosphore (37 % du P
460 total) et le phytoplancton (22 % du total), sans oublier les apports au lac provenant de vidange
461 ou débordement d'étangs situés en amont du lac de Saint-Germain (figure 9). Par exemple,
462 une contamination des eaux de l'Issoire par des cyanobactéries potentiellement toxigènes
463 (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*) s'est produite dès le début du mois de
464 septembre 2015 dont le taux a atteint un maximum de 167.320 cellules/ml le 21.



465

466 Figure 9 : Effectifs des cyanobactéries au pont Binot, en amont du lac de SG

467

468 Cette pollution, intervenue en raison d'une météorologie en cours de dégradation depuis la fin
469 août, et alors que le temps de séjour des eaux dans le lac était relativement faible (environ 16
470 jours), n'a pas provoqué de prolifération, le front du bloom étant ressorti du lac entre le 05 et
471 le 12 octobre 2015 avec des densités cellulaires de 86.400 à 87.300 cell /ml. Toutefois, si cet

[Tapez ici]

472 épisode était intervenu plus tôt, par exemple entre la mi-juillet et la mi-août, alors que les
473 eaux étaient plus chaudes et le temps de séjour maximal (de 35 à 50 jours), la situation aurait
474 pu être critique.

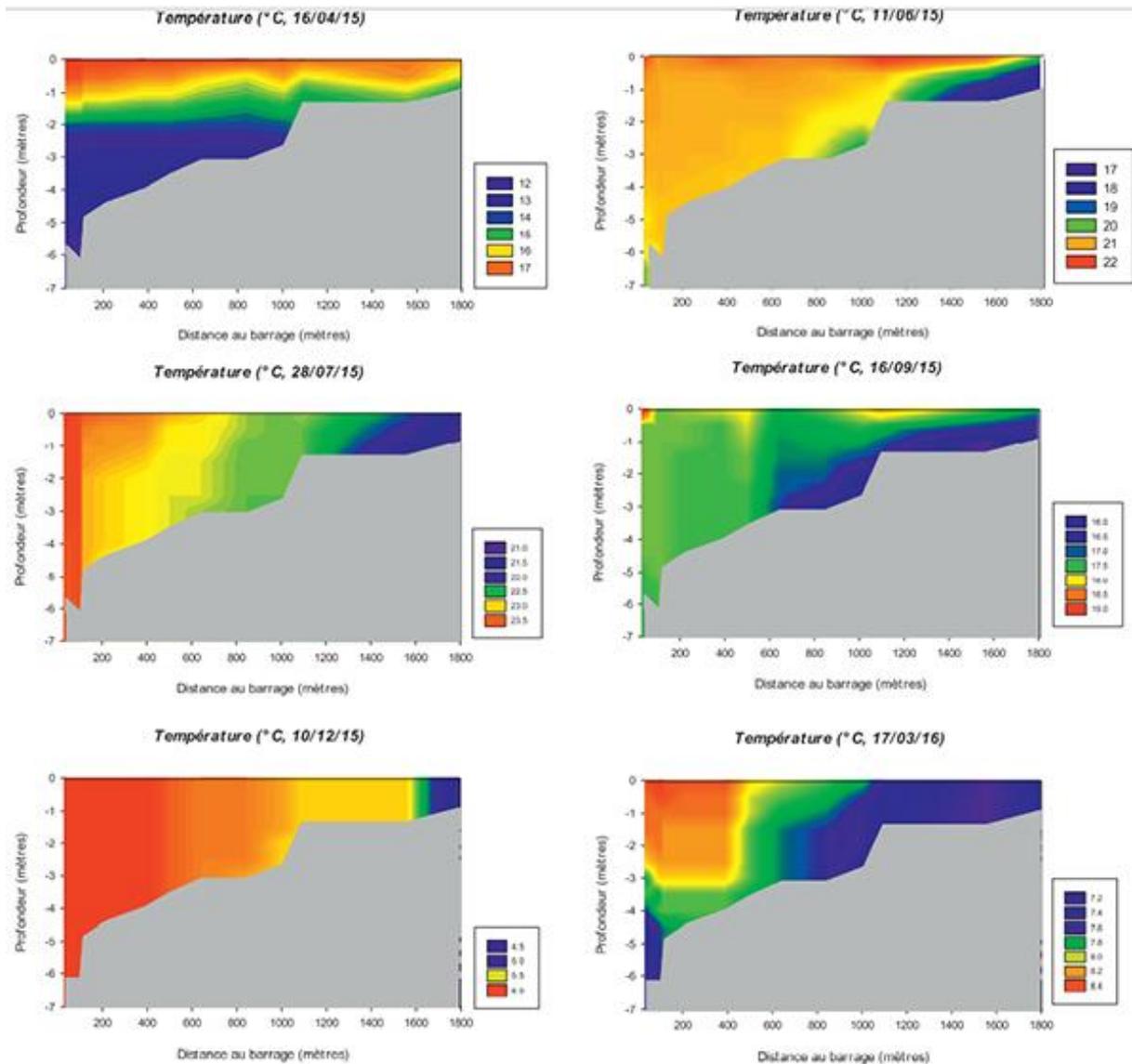
475

476 **Aération et qualité des eaux**

477 Le comportement thermique d'un lac ne pouvant reposer sur des données ponctuelles (Forel,
478 1895), l'examen des données issues de l'étude thermique en continu illustre parfaitement les
479 températures et l'étendue des gradients thermiques entre le fond et la surface de la masse
480 d'eau.

481

482 • D'un point de vue global sur l'année d'étude (figure 10), la masse d'eau s'est réchauffée en
483 surface, d'amont en aval à partir d'avril 2015. Puis, en juin, le réchauffement touchait
484 l'ensemble de la colonne d'eau pour atteindre en juillet 21°C en amont et 23,8°C en aval, en
485 raison d'un fort ensoleillement. En septembre, avec la reprise des précipitations, la masse
486 d'eau s'était rafraîchie (15,6°C au minimum en profondeur enregistrés en amont et 19°C au
487 maximum en surface, dans le secteur aval le plus encaissé et le plus protégé des conditions
488 météorologiques). Durant l'hiver 2015, les températures de la masse d'eau variaient de 4,4°C
489 en amont à 6,1°C en aval, pour commencer à se réchauffer à partir de mars 2016 (7,1°C en
490 amont à 8,5°C en aval).



491

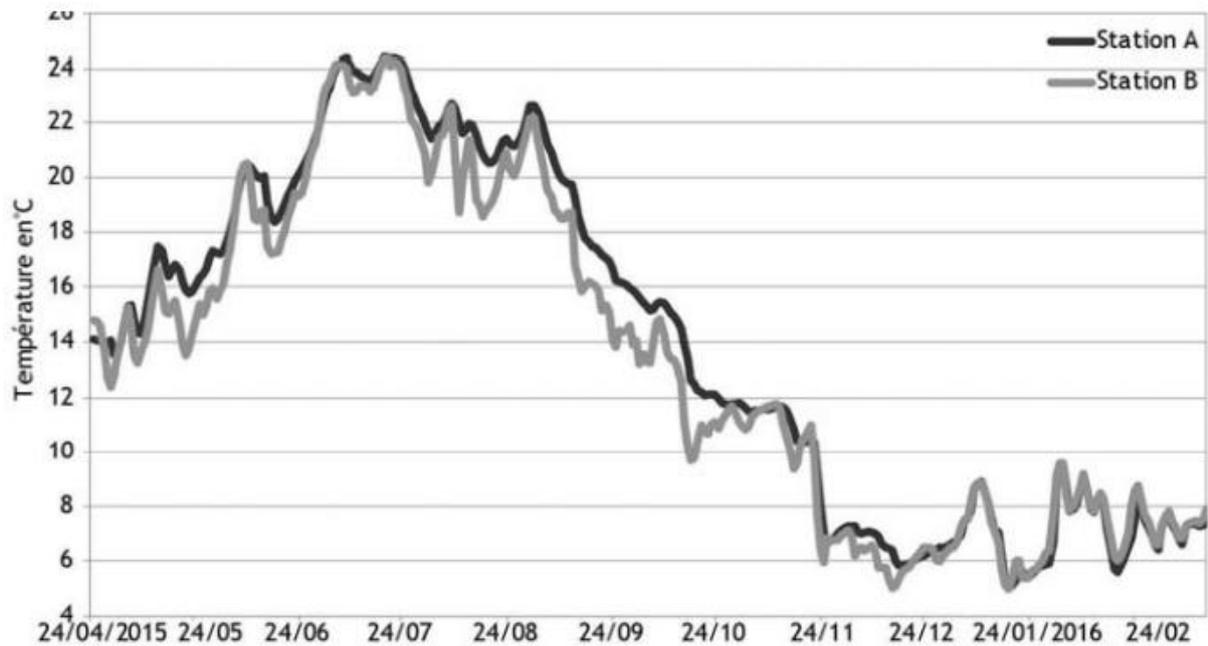
492 Figure 10 : Evolution longitudinale et verticale des températures de la masse d'eau

493

494 L'analyse des températures moyennes journalières au fond du lac, au droit des deux stations
 495 (figure 11), montre bien l'influence du déstratificateur (station A) puisque les valeurs les plus
 496 fortes ont été enregistrées dans le volume d'eau brassée malgré une colonne d'eau deux fois
 497 plus profonde. Cette analyse met en évidence une des conséquences de l'aération, à savoir la
 498 répartition de la chaleur par brassage forcé le long de la colonne d'eau aboutissant à son
 499 réchauffement par convection. Même si le phénomène est indéniable, il est difficile de
 500 quantifier la surchauffe des eaux profondes sans calculer le bilan thermique du lac (Touchart,
 501 2016). Cependant, les données relevées à la station B (sans aération) en donnent une idée : la
 502 température de fond de la station A devrait être inférieure à celle de la station B du fait de la
 503 plus grande profondeur et de l'instauration de la stratification thermique. Un ordre de grandeur
 504 de 2°C apparaît satisfaisant en absence de quantification précise. Sur près de 83 jours (25,4 %

[Tapez ici]

505 correspondant aux mois d'été), la température de l'eau de fond est égale ou dépasse les 20°C
506 (1995 données horaires) : elle est comprise entre 20 et 21°C pendant 439 h, 21 et 22°C sur
507 595 h, 22 et 23°C pendant 352 h, 23 et 24°C sur 323 h et supérieure à 24°C pendant 286 h. À
508 l'arrêt de l'aérateur, les températures moyennes journalières du fond de la retenue
509 s'homogénéisent très rapidement. Le brassage naturel des eaux du lac atteint alors toutes les
510 profondeurs de la cuvette.



511
512 Figure 11 : Evolution des températures moyennes journalières au fond de la retenue au droit
513 des stations A et B (avril 2015 - mars 2016)

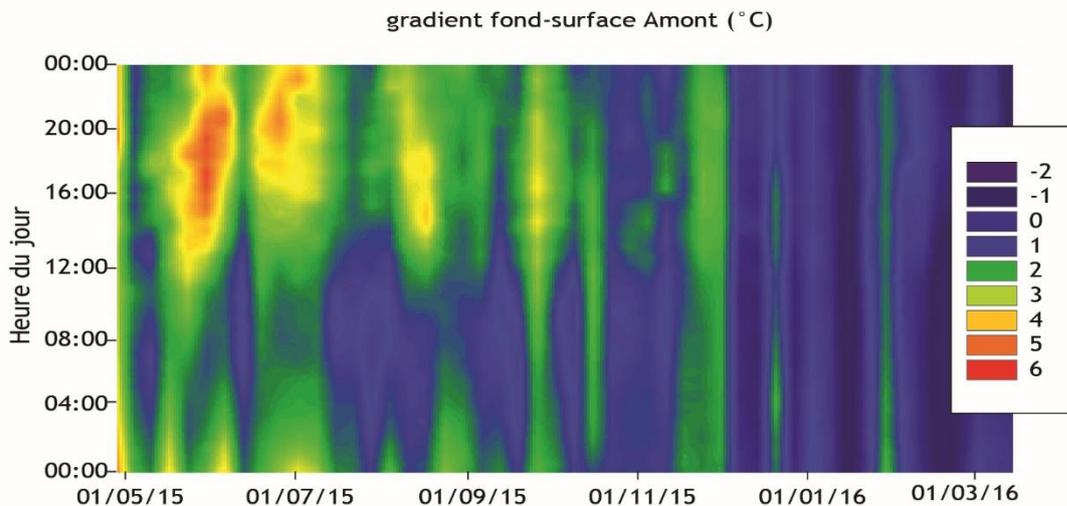
514
515 En surface (figure 12), les températures moyennes journalières confirment l'absence de
516 régionalisation expliquant un comportement thermique naturel. Au début de l'été, la faible
517 inertie thermique de la tranche d'eau peu profonde explique un réchauffement plus rapide de
518 l'eau de surface à la station B. Malgré tout, les moyennes journalières sont similaires à
519 l'échelle annuelle. Le déstratificateur est le seul responsable, par le brassage qu'il impose à
520 l'ensemble de la colonne d'eau, de la propagation des apports calorifiques solaires jusqu'au
521 fond de la retenue : « la modification directe majeure réside dans le fort réchauffement des
522 couches profondes » (Touchart, 2002) et cette modification est « le plus important des effets
523 secondaires indésirables » (Barroin, 1999, p. 111) notamment pour le traitement de l'eau
524 destinée à la consommation domestique comme c'est le cas pour le lac de Saint-Germain de
525 Confolens. Si « en France, une eau potable ne doit pas dépasser 25°C » (Gaujous, 1995, *in*
526 Touchart, 2002, p. 309), la température préférentielle est comprise entre 10 et 15°C (Collings,

527 1969, *in* Touchart, 2002). Au-delà, les traitements de l'eau sont plus coûteux (Hoak, 1961 *in*
 528 Touchart, 2002).



529
 530 Figure 12 : Evolution des températures moyennes journalières en surface de la retenue au
 531 droit des stations A et B

532
 533 • Concernant les gradients thermiques de la station B sans aérateur (figure 13), les différences
 534 de températures sont minimales chaque jour en début de matinée entre 6 et 10 h. Elles
 535 augmentent ensuite graduellement pour culminer en fin de soirée avec des écarts atteignant au
 536 maximum 5 à 6°C à la fin du mois de juin et au début de juillet. La masse d'eau refroidit
 537 progressivement pendant la nuit mais des écarts de 2 à 3°C peuvent se maintenir jusque vers
 538 4h. Dans ces conditions, pour la période de fonctionnement de l'aération (du 1^{er} mai au 22
 539 octobre 2015), l'homothermie permettant le brassage efficace des eaux ne représentait, dans le
 540 secteur amont, que 16 % du temps, alors que des écarts compris entre 2 et 6°C étaient
 541 mesurables dans 43 % des cas.

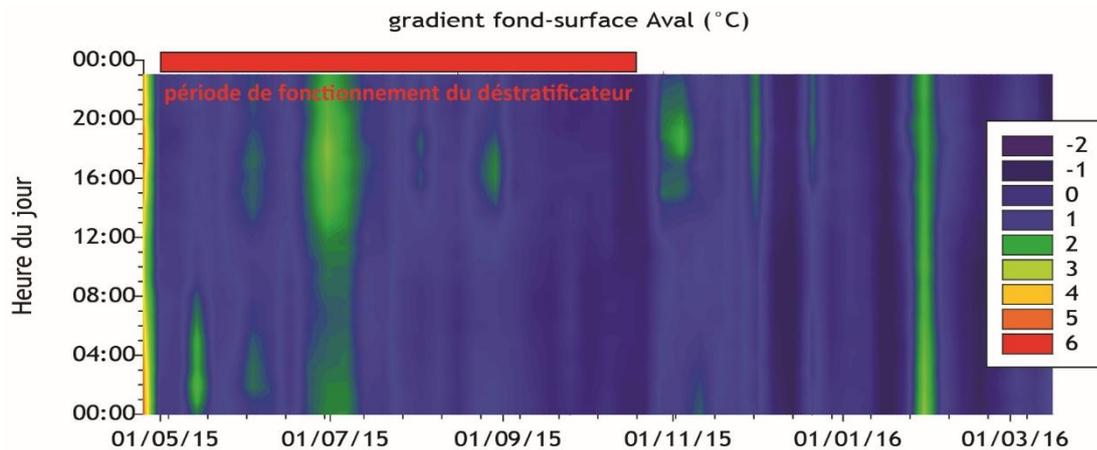


542
 543 Figure 13 : Distribution des gradients thermiques dans le tronçon amont du lac (sans aérateur)

[Tapez ici]

544

545 Pour la station A soumise à l'influence de l'aérateur (figure 14), la distribution journalière des
546 gradients thermiques est plus homogène et les écarts maximums sont plus réduits. Toutefois,
547 il existe une augmentation progressive du gradient fond-surface pour culminer en fin d'après-
548 midi : les maxima sont inférieurs à 3°C et les écarts supérieurs à 2°C ne sont observables que
549 pendant 25 % de la période de fonctionnement de l'aération.



550

551 Figure 14 : Distribution des gradients thermiques dans le tronçon aval du lac (avec aérateur)

552

553 Globalement, le rendement optimal d'un déstratificateur, bien expliqué par Touchart (2002),
554 amène à une absence de gradient thermique grâce à l'aération forcée qui brasse de façon
555 homogène et continue la masse d'eau, du fond vers la surface et de part et d'autre du rideau de
556 bulles. Une aération efficace se traduit alors par une colonne d'eau de température identique
557 sur toute sa hauteur. Dans le cas de Saint-Germain, l'aération contribue à réduire les gradients
558 thermiques, puisqu'elle étend pratiquement la durée des phases d'homothermie d'un facteur 5
559 (75 % des mesures contre 16 % en conditions naturelles). Son efficacité est cependant
560 insuffisante au vu des objectifs du cahier des charges de l'installation, à savoir maintenir 1)
561 des écarts inférieurs à 1°C pendant 90 % du temps (pour une diffusion optimale de
562 l'oxygène), et 2) une stratification thermique n'excédant pas 3°C (les 6°C observés sont
563 supérieurs aux prévisions). Cela se traduit ainsi par une masse d'eau en fort déficit
564 d'oxygénation, d'avril à septembre, dans l'ensemble du lac, y compris le long des rampes
565 d'aération, avec les conséquences attendues sur la qualité chimique des eaux et sur le
566 phytoplancton.

567

568 **Qualité des eaux et eutrophisation**

569 En termes de fonctionnement, il est particulièrement intéressant d'analyser la période allant de
 570 la mi-avril à la mi-septembre au cours de laquelle les manifestations d'eutrophisation sont
 571 nettes. En effet, il est sorti du lac de Saint-Germain plus de phosphore et de MES qu'il n'en
 572 est entré dans la masse d'eau (figure 15) car le lac a produit un excès de 112 kg de phosphore
 573 s'ajoutant au flux entrant de 1.400 kgP, et un excès de 12 tonnes de MES se cumulant au flux
 574 entrant de 207 t. En parallèle, les stocks au sein de la masse d'eau estimés au cours des 4
 575 campagnes de mesures (15 avril, 11 juin, 27 juillet et 16 septembre) font apparaître une
 576 augmentation jusqu'à la fin du mois de juillet, passant de 30 à 80 kg de P total et de 2,7 à
 577 13 tonnes de MES.

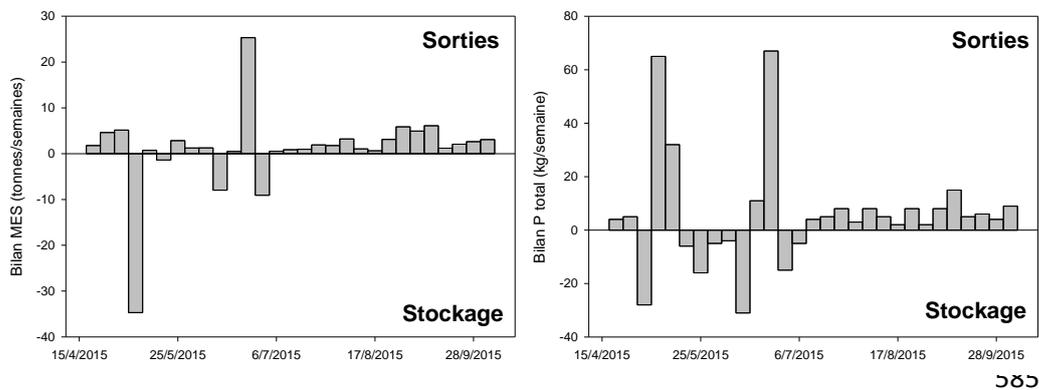


Figure
 15 :
 Bilan
 hebdomadaire

586 daire des flux de MES et de Ptotal au lac de Saint-Germain

587

588 Ces bilans de flux et de stockage doivent être associés à la production interne du lac :

589 - Le bilan des flux de P total implique une production d'environ 140 kg de phosphore pendant
 590 6 mois pouvant être expliquée par les processus de relargage depuis les sédiments et de
 591 dégradation des vases organiques. Cette production interne équivaut ainsi à 10 % du flux
 592 passant par le lac entre avril et septembre, et à près de 5 fois le stock de phosphore présent
 593 dans la masse d'eau au début du printemps.

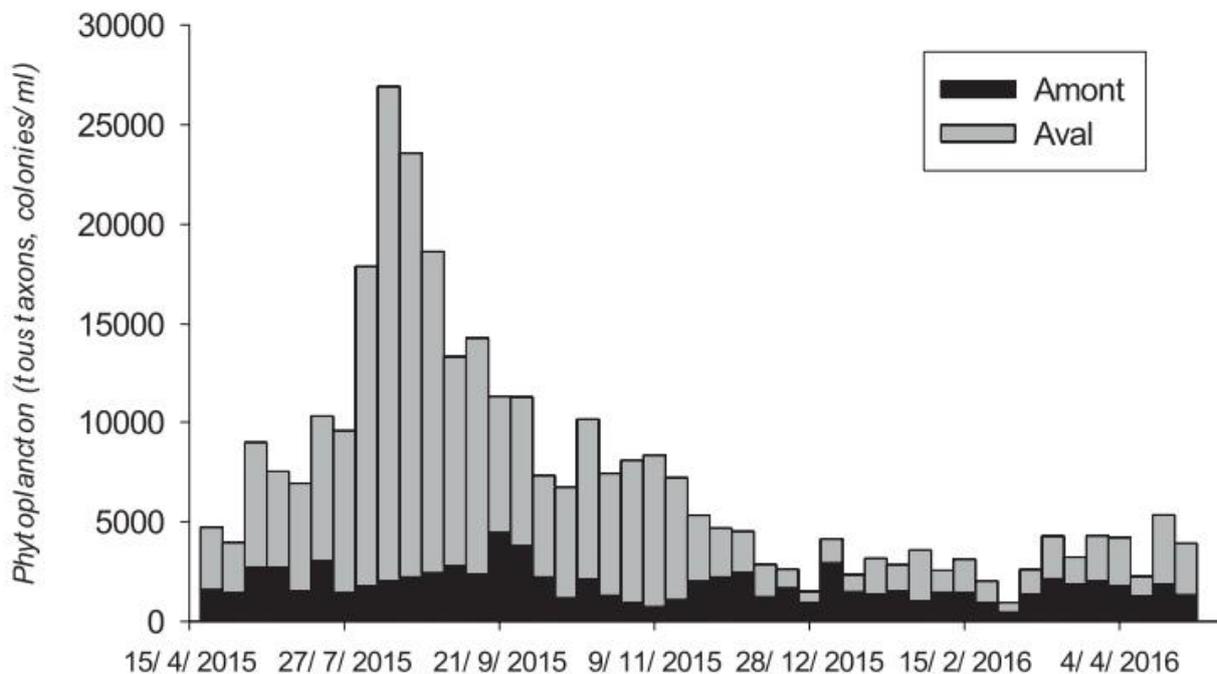
594 - Le bilan des flux de MES montre une production interne d'environ 12 t en supplément du
 595 flux transitant par la retenue. Cet excédent de MES correspond encore à 10 % du flux estimé
 596 pour 6 mois, et à près de 10 fois le stock présent dans la retenue à la mi-avril.

597

598 Ces excédents peuvent provenir des transferts particuliers (argiles et matière organique) au
 599 cours des épisodes pluvieux et orageux, les pluies de la mi-juin ayant porté à la retenue
 600 1.400.000 m³ d'eau en 3 semaines. Cependant, la majorité de ces excédents provient très
 601 certainement de la production de biomasse planctonique dans l'eau lacustre au cours de l'été
 602 (figure 16) en raison du déficit d'oxygène de la masse d'eau car le suivi réalisé sur les

[Tapez ici]

603 échantillons hebdomadaires montre que la flore était systématiquement 2 à 5 fois plus élevée
604 en sortie du lac qu'en entrée : les relargages de minéraux et de nutriments (phosphate et
605 ammoniacque : Goltermann, 2004) depuis les vases et sédiments sont directement assimilés par
606 la flore planctonique pour constituer de la biomasse. Cette production de biomasse a pu être
607 observée d'avril à fin novembre et le lac exportait alors en moyenne 3,5 fois plus d'algues et
608 10 fois plus de biomasse que ce qui y était apporté par l'Issoire. La période de production
609 maximale a été observée pendant la période la plus chaude, soit de début juin à mi-juillet, et
610 s'est traduite par une production atteignant 70 à 75 fois la biomasse entrant dans le lac : pour
611 chaque kg d'algues entrant dans la retenue, 75 kg parvenaient alors au déversoir ou à la prise
612 d'eau.



613
614 Figure 16 : Effectifs totaux du phytoplancton (tous taxons confondus) en entrée et sortie du
615 lac

616
617 Cette production de biomasse, alimentée par les nutriments provenant du bassin versant mais
618 également par les stocks lacustres (azote et phosphore dans les sédiments), aboutissent à
619 l'eutrophisation du lac et à la dégradation de la qualité des eaux, aussi bien vis-à-vis de la
620 production d'eau potable que de la qualité de la Vienne, en aval du barrage.

621
622 L'eutrophisation apparaît nettement dans le bilan de la qualité des eaux, par comparaison des
623 flux entrant et sortant du lac (tableau 5), obtenu grâce au suivi hebdomadaire de la qualité des
624 eaux de l'Issoire, en amont et aval de la retenue. Ce bilan permet de montrer que, malgré

625 l'aération (de mai à octobre), le déficit d'oxygène et les relargages associés se sont traduits par
 626 des surproductions et restitutions importantes de phosphore (+ 21 % soit environ 230 kg), de
 627 fer (+ 48 % soit environ 8 t, représentant l'équivalent de 1 m³ de métal pur !), de manganèse
 628 (+ 264 % soit environ 2 t) et d'azote organique (+ 40 %). Les seuls éléments pour lesquels un
 629 abattement est constaté sont les nitrates assimilés par la flore planctonique (- 21 %), et
 630 exportés hors du lac sous forme de matières organiques (+ 40 %), ou bien stockés dans les
 631 sédiments sous forme de matière organique particulaire.

632 La production de phytoplancton a pu être estimée d'une part à près de 200 tonnes exportés via
 633 l'exutoire du lac, mais également à près de 2.000 tonnes dans la masse d'eau pendant
 634 l'ensemble de l'été : près de 90 % des algues produites dans le lac y restent stockées sous
 635 forme de MO facilement dégradable, donc très consommatrice d'oxygène, et de vases qui
 636 enrichissent le stock de sédiments et de nutriments.

637

	Différence (tonnes) (= Sorties – Entrées) + = production interne ; - = stockage interne	Différence (% des intrants)
Fer	+ 7,9	+ 48 %
Manganèse	+ 2,2	+ 264 %
Phosphore Total	+ 0,23	+ 21 %
Phosphore Particulaire	+ 0,20	+ 26 %
Nitrates (N.NO3)	- 2,6	- 21 %
Azote Total Organique (NTK)	+ 4,1	+ 40 %
Carbone Organique Total (COT)	+ 8,0	+ 8 %
Carbone Organique Particulaire (COP)	- 3,2	- 39 %
Phytoplancton (biomasse)	+ 208	+ 342

Tableau 5 : Bilan simplifié de l'impact du lac de SG sur la qualité des eaux
Simplified balance of Lake Saint Germain impact on water outflow quality

638

639 DISCUSSION

640 Le phénomène de concentration des exploitations agricoles du Confolentais, commencé dans
 641 les années 60-70 (Loi d'Orientation Agricole n° 60-808 du 5 août 1960), s'est accéléré à partir
 642 de 1988 (Maillochaud, 2006). Selon le recensement agricole, il ne restait plus que 6.500
 643 exploitations en Charente en 2010, contre 7.999 en 2003 et 13.500 en 1988. Leur taille
 644 moyenne a progressé de 29 ha en 1988, à 50 ha en 2003, et à plus de 56 ha en 2010. Ces
 645 restructurations foncières ont pris la forme d'échanges à l'amiable de parcelles, procédures

[Tapez ici]

646 peu contrôlées par les services de l'Etat qui ont souvent privilégié les aspects agricoles au
647 dépend des aspects environnementaux (Maillochaud, 2006). Si bien qu'elles ont été
648 accompagnées d'un apport massif de fertilisants (Savy, 2006), d'arrachage de haies malgré
649 leurs atouts précieux dans la conservation des sols (Liagre, 2006), ou encore d'arasement de
650 talus nécessaires au captage des polluants migrant en surface. « Ces aménagements sont
651 aujourd'hui assimilés dans la mémoire collective comme étant des opérations destructrices en
652 matière de milieux naturels » (Maillochaud, 2006, p. 19), car le remembrement, véritable outil
653 d'optimisation agricole, n'était pas un outil de développement durable. De plus, si depuis les
654 années 1990, les agriculteurs sont incités à prendre des mesures agro-environnementales²
655 (comme changer leurs pratiques culturales ou réduire le temps de dénudation des terres), et
656 notamment pour les terres situées sur des bassins d'alimentation de captages ou des masses
657 d'eau menacées afin de préserver la ressource en eau grâce à une prise en compte de la
658 ressource en sol (MAAF, 2014), il faut savoir que dans les communes confolentaises du
659 bassin versant, ces préconisations n'ont été que peu adoptées. En effet, sur 148 exploitants
660 agricoles recensés dans les 6 communes charentaises, 64 agriculteurs sont engagés dans une
661 MAEC (donnée DDT, 2016), dont seulement 2 ont une MAEC *haies avec plan de gestion* sur
662 les communes de Lesterps, Esse et Saint-Christophe, pour une surface de 137 ha (sur un total
663 de 5.566 ha de terres charentaises en MAEC), et 54 agriculteurs sont en MAEC *système*
664 *polyculture élevage*³. C'est ainsi que maints labours sont encore tracés perpendiculairement à
665 la pente, que de multiples haies ont été et sont encore arrachées et que des bandes enherbées
666 ne protègent que rarement les cours d'eau à la base des parcelles labourées en pentes. Les
667 statistiques du service d'analyse et d'aménagement du territoire soulignent la faible prise en
668 compte des préoccupations environnementales dans les pratiques des agriculteurs de Charente
669 Limousine, globalement peu soucieux de l'environnement. De fait, le modèle agricole
670 confolentais, malgré la mise en place de mesures agroenvironnementales, ne semble pas
671 évoluer vers de meilleures performances, à la fois économiques et environnementales comme
672 le souhaite la PAC post 2013. Localement, les objectifs environnementaux sont parfois
673 négligés tant ils n'apparaissent pas a priori comme un potentiel de développement.

674

675 Ainsi, en termes de qualité d'eau, cette évolution a son importance par le biais des transferts
676 qui s'opèrent jusqu'au lac de Saint-Germain via le réseau hydrographique, car les pollutions,

² 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).

³ Les 8 autres agriculteurs ayant une MAEC prairie permanente ou bois n'ont pas de terre enclive à l'érosion.

677 notamment agricoles, aboutissent au lac (Touchart, 1993). Comme le révèlent les analyses
678 d'eau dans le bassin versant, le lac est donc impacté par 2 processus :

679 - Les labours mettent les sols régulièrement à nu et enclins à l'érosion, par l'action des pluies
680 ruisselantes qui transfèrent vers les cours d'eau les particules du sol, ainsi que des composés
681 azotés et phosphorés issus de la fertilisation. Comme l'ont étudié R. Nedjai, N. Messaoud et
682 A. Abdelkrim (2016), pour le bassin de l'étang de Haute-Jarrie (Isère), le détachement et le
683 transfert de ces particules, de granulométrie inférieure à 7 μ m, se fait par écoulement
684 concentré le long des sillons ou par écoulement diffus, le plus souvent à la suite d'épisodes
685 orageux marqués par de fortes intensités, dont une large part finit par rejoindre le lac. Pour
686 Saint-Germain, l'occupation du sol de 2012 comparée à celle de 1972, montre, en effet, une
687 concentration des zones les plus sensibles à l'érosion, c'est-à-dire des cultures sur sols
688 labourés dans de petites vallées à forte pente (jusqu'à 11 % -figure 6-), à l'amont immédiat du
689 lac (Brillac, Esse) ou dans sa périphérie proche (Saint Christophe, Bussière-Boffy, vallée du
690 Fraisse), précisément où de nombreuses haies à la fonction anti-érosive en favorisant
691 l'infiltration des écoulements et la filtration des pollutions, ont disparu. Cependant, le bassin
692 de l'Issoire ne se trouve pas en « zones vulnérables » selon la *directive nitrates*.

693 - le transfert direct d'éléments favorisant la dégradation de la qualité des eaux depuis les
694 innombrables étangs, notamment en période de vidange. Ces transferts concernent de la
695 matière organique (phytoplancton, cyanobactéries, vases) et des éléments utilisables comme
696 nutriments par la flore planctonique du lac (azote organique, ammoniacque, phosphates...). Cet
697 ensemencement du lac susceptible de favoriser des épisodes de prolifération, doit être maîtrisé
698 afin d'optimiser le traitement de l'eau et écarter le risque sanitaire (production de toxines).

699

700 Par conséquent, si la première cause de la rapide dégradation de la qualité de l'eau du lac sont
701 les activités et les excès de l'agriculture, il ne faut pas négliger la seconde cause, interne au
702 lac, à savoir le sous dimensionnement du déstratificateur car l'aération insuffisante de la
703 masse d'eau favorise son eutrophisation. Eutrophe, le lac de Saint-Germain de Confolens, trop
704 nourri en phosphore, produit une biomasse algale importante qui désorganise le
705 limnosystème. La fonction d'AEP du lac est alors perturbée.

706

707 **Conclusion et possibilité d'actions**

708 Cette étude permet de percevoir l'importance des échanges qui s'opèrent entre un bassin
709 versant et un lac car, en effet, les cours d'eau et les lacs sont « une manifestation des paysages

[Tapez ici]

710 qu'ils drainent » (Hynes, 1975 *in* Mitroi et al., soumis), et la source de leur état dégradé est
711 directement liée aux caractéristiques de leur bassin versant. À l'heure où la sauvegarde de
712 l'environnement doit être une priorité, les échanges révèlent un conflit d'usage lorsque le
713 bassin d'un lac destiné à l'alimentation en eau potable, est agricole.

714

715 En outre, cette étude montre qu'il est possible d'estimer 1) les parts respectives des apports
716 des sous bassins versant aux mécanismes de dégradation de la qualité des eaux dans le lac, 2)
717 les contributions des différents phénomènes intervenants dans l'eutrophisation telles que la
718 production phytoplanctonique, les relargages de nutriments depuis les sédiments ou encore
719 l'influence du régime thermique des eaux.

720

721 A l'interface de la recherche et de l'action, ces résultats, qui expliquent la récurrence des
722 problèmes de potabilité observés par le gestionnaire, permettent d'éclairer la situation lacustre
723 et d'aider à la gestion du lac pour la sauvegarde de sa fonction exclusive d'AEP. Ces
724 éléments, indispensables à la construction d'une politique de gestion, appliquée aussi bien au
725 bassin versant qu'au lac, peuvent être quantifiés par des méthodes simples et abordables
726 financièrement par les gestionnaires.

727

728 *In fine*, afin de perpétuer la distribution d'une eau de qualité, il convient de mettre en place
729 des mesures conservatoires adéquates pouvant s'articuler autour de trois axes :

730 - La sensibilisation des agriculteurs

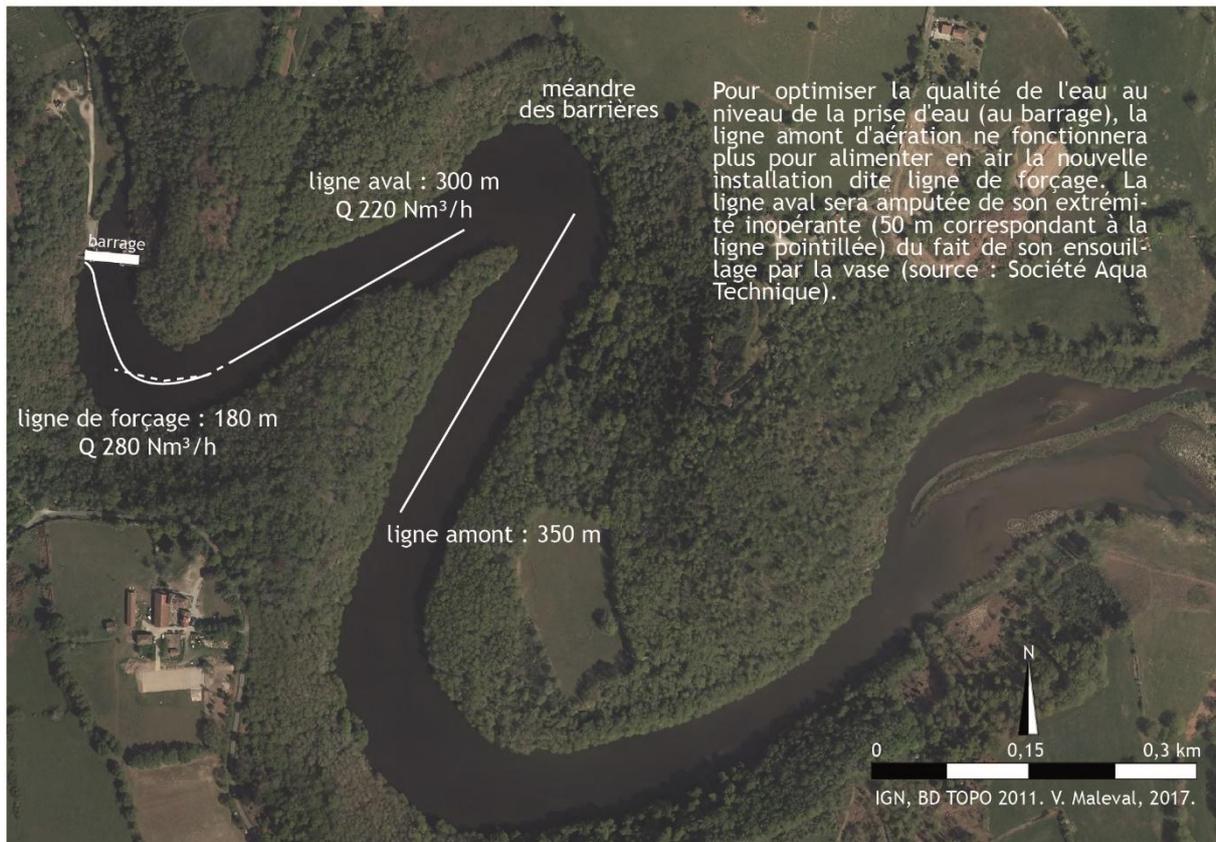
731 S'attaquer à la source des problèmes (comme l'assainissement ou les pratiques agricoles) est
732 l'action la plus efficace pour limiter l'enrichissement du lac, même si c'est la plus difficile à
733 mettre en œuvre (Touchart, 2002) car elle nécessite l'adhésion de tous les acteurs du territoire
734 (les services de l'Etat, les communes, le SEP du Confolentais et la population). Par exemple,
735 il convient d'associer les agriculteurs à la gestion de la ressource en eau afin d'éviter les
736 conflits d'usage, et cette association concertée doit aboutir non seulement à des objectifs
737 partagés de qualité d'eau, mais aussi à des performances économique et environnementale
738 dans l'agriculture. Suite à cette étude qui identifie les sources de dégradations (ex de Brillac,
739 La Courrière ou encore la Marchadaine), la chambre d'agriculture de la Charente va proposer
740 une aide technique et financière aux agriculteurs pour les inciter à agir favorablement :
741 modification du sens des labours et des périodes de labours, de bandes enherbées, de zones
742 tampons humides artificielles (Banas *et al.*, 2016) ou de canaux de décantation (Nedjai *et al.*,
743 2016) au bas des parcelles cultivées, vidange d'étangs en fonction des débits des cours d'eau.

744 En effet, si la plupart de ces techniques pour limiter l'érosion des sols et le transport des
745 particules sont connues depuis longtemps, les changements de pratiques agricoles étant lents
746 et complexes (Banas *et al.*, 2016), la décision de la chambre d'agriculture peut être bénéfique.
747 Il faut savoir qu'il existe des précédents d'actions de ce type ayant abouti à l'amélioration de
748 la qualité d'eaux lacustres : le suivi de 20 ans (Pitois, 2017) du lac et des tributaires de Pont
749 l'Abbé en Bretagne (Finistère), au cours duquel des actions d'amélioration ont été mises en
750 œuvre (assainissements mis aux normes, développement des bandes enherbées, suppression
751 des piscicultures et aération du lac), a permis de mettre en évidence les effets bénéfiques sur
752 1) le goût et l'odeur de l'eau distribuée, 2) la qualité de l'eau des affluents, du lac ou encore
753 sur 3) la biomasse phytoplanctonique (par exemple, réduction respective des concentrations
754 en azote et phosphore de 20 et 90 % dans les affluents et de 45 et 62 % dans le lac ; la
755 biomasse des cyanobactéries a été divisée par 4 et leur durée de présence réduite de 34 %). Si
756 un suivi de 20 ans peut paraître long, il n'est rien en comparaison de plus de 50 ans de
757 mauvaises pratiques. Il est également nécessaire compte tenu des multiples délais parfois
758 incompressibles (prise de compétence, négociations, montage des dossiers d'autorisation et de
759 financement, sans compter le temps de convaincre la collectivité et les différents acteurs
760 comme les agriculteurs). Bien entendu, sur le terrain, les effets positifs apparaissant beaucoup
761 plus rapidement (dans les 2-3 ans qui suivent les actions) sont un point vital pour les
762 gestionnaires et les élus.

763

764 - Des travaux : l'aération actuelle étant insuffisamment efficace, il a été décidé d'installer juste
765 en amont du barrage une nouvelle rampe d'aération (figure 17), pour améliorer la qualité de
766 l'eau prélevée mais aussi la qualité de celle rejetée en aval vers la Vienne. Ce nouveau
767 dispositif d'aération opérationnel depuis le printemps 2017 complète la rampe aval existante.

[Tapez ici]



768

769 Figure 17 : Travaux d'optimisation de l'aération de lac de Saint-Germain-de-Confolens

770

771 - La surveillance du lac

772 Comme la vigilance s'impose, la surveillance doit passer, à court terme, par un suivi de la
773 qualité de l'eau lors des prochaines périodes estivales, pour d'une part, connaître l'influence
774 de la nouvelle ligne de forçage et, d'autre part, pour constater l'amélioration de la qualité des
775 eaux lacustres suite aux mesures de préservation mises en place dans le bassin versant. Le
776 suivi, pour une durée de 1 an reconductible, débute en juin 2017.

777

778 Remerciements

779 Nous remercions le SEP du Confolentais, Elodie et les techniciens ainsi que Messieurs Serge
780 Flayac (ancien président du SEP) et Benoît Savy (géographe et Maire de Montrollet), sans qui
781 cette étude n'aurait pu être réalisée tant leur intérêt pour la sauvegarde de la distribution d'eau
782 potable est grand.

783

784 Bibliographie

785 Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des
786 eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R.

787 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique. Version consolidée du 06 mai 2017,
788 <https://www.legifrance.gouv.fr>.

789

790 Banas D., Pierlot F., Gaillard J., Schott F.X, Cherrier R., Thomas M., Dauchy X., Bockstaller
791 C., Feidt C. 2016. *Intégrer les dispositifs rustiques de filtration et les étangs dans la rétention*
792 *et la dégradation de pesticides issus de parcelles agricoles localisées en tête de bassin*
793 *versant*. Poster, Rencontre Science-gestion « Pour concilier biodiversité, fonctionnement
794 écologique et usages des plans d'eau », 22-23 novembre 2016, Aix-en-Provence, La Baume.

795

796 Barroin G., 1999. *Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau*. Lyon,
797 AERMC, 215 p.

798

799 Bartout P., 2015. Les territoires limniques. Nouveau concept limnologique pour une gestion
800 géographique des milieux lenticques. Habilitation à Diriger des Recherches soutenue le 14
801 octobre 2015, Université d'Orléans, EA 1210 CEDETE, Géographie, 444 p.

802

803 Bartout P., 2012. De la prédation à la gestion, l'évolution du regard porté sur l'eau en
804 Limousin. *Dynamiques Environnementales*, 13 p.

805

806 Bartout P., 2006. Pour un référentiel des zones humides intérieures de milieu tempéré :
807 l'exemple des étangs en Limousin (France) Typologies-Régionalisation. Thèse de doctorat en
808 Géographie, Université de Limoges, 24 novembre, 497 p.

809

810 Bartout P. et Bernard C., 2007. Peut-on concevoir la définition de l'étang comme un outil de
811 gestion ? In Touchart L. (dir.), *Géographie de l'étang : des théories globales aux pratiques*
812 *locales*, Paris : L'Harmattan, p. 87-100.

813

814 Bartout P. et Touchart L., 2015. La stabilité limnique dans le bassin de la Vienne : la place
815 des plans d'eau au sein des milieux et des sociétés depuis le XIXe siècle. *Norois*, vol. 234, no.
816 1, 2015, pp. 65-82.

817

818 Bartout P. et Touchart L., 2013. L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure
819 gestion des eaux de surface. *Annales de Géographie*, n° 691, 2013, pp. 266-289, Armand
820 Colin.

[Tapez ici]

821

822 Beaujeu G. et Paolini G., 2015. Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ? In Montuelle B. et
823 Clémens A. (dir.). Le tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions. 3- Qualité des eaux.
824 Ed. du GRAIE, Villeurbanne, p. 60-63.

825

826 Boulanger P. et Savy B., 2015. *Histoires d'eaux en Confolentais*. SEP du Confolentais,
827 Confolens – Texto, Saint-Junien, 123 p.

828

829 Capdeville J.P., Floc'h J.P, Lougnon J et Recoing M., 1983. *Carte géologique de la France à*
830 *1/50000. Feuille de Confolens (662)*. Édit. BRGM, Orléans, avec notice explicative, 30 p.

831

832 Caubel V., 2001. *Influence de la haie de ceinture de fond de vallée sur les transferts d'eau et*
833 *de nitrate*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, thèse de doctorat, sciences
834 de l'environnement, 155 p.

835

836 Collet L.W., 1925. *Les lacs : leur mode de formation, leurs eaux, leur destin*. Ed. Gaston
837 Doin, Paris, 320 p.

838

839 Dufour S., Piégay H., 2009. From the myth of a lost paradise to targeted river restoration:
840 forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25,
841 pp. 568-581.

842

843 Finger-Stich A., 2013. Etangs en société : sujets versatiles, in Oertli B. & Frossard P-A. (dir),
844 *Mares et étangs : écologie, gestion, aménagement et valorisation*. Presses Polytechniques et
845 Universitaires Romandes, Lausanne, pp. 13-20.

846

847 Forel F-A., 1892-1895. *Le Léman, monographie limnologique*. Lausanne, F. Rouge, T. 1 et 2,
848 1194 p.

849

850 Fournier F., 1960. *Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les*
851 *précipitations atmosphériques*. Thèse de 3^{ème} cycle en Lettres et Sciences Humaines,
852 Université de Paris, pp. 1-31.

853

- 854 GIEC, 2014. *Cinquième rapport sur les changements climatiques*. Rapport de synthèse,
855 OMM – PNUE, 180 p.
- 856 Goltermann, H., 2004. The chemistry of phosphate and nitrogen compounds in sediments.
857 Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251 p.
- 858
- 859 Horton R-E., 1932. Drainage-basin characteristics. *Eos Trans. AGU*, 13(1), pp. 350–361, Doi
860 : 10.1029/TR013i001p00350.
- 861
- 862 Jeppesen E., Kronvang B., Meerhoff M., Sondergaard M., Hansen K. M., Andersen H. E.,
863 Lauridsen T. L., Liboriussen L., Beklioglu M., Ozen A., Olesen J. E., 2009. Climate change
864 effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential
865 adaptations. *Journal of Environmental Quality*, 38(5), pp. 1930-1941.
- 866
- 867 Liagre F., 2006. *Les haies rurales. Rôles, création, entretiens*. Editions France Agricole,
868 Paris, pp. 15-67.
- 869
- 870 Maillochaud J-F., 2006. *Etude pour l'élaboration de la charte départementale*
871 *d'aménagement foncier de la Charente*. Magistère Aménagement de l'Ecole Polytechnique de
872 l'Université de Tours (EPU-DA), sept. 2006. Conseil Général de la Charente, Direction de
873 l'animation et du développement durable. 113 p.
- 874
- 875 Maleval V., Pitois F., 2017. Fonctionnement hydro-sédimentaire et bilan sédimentaire du lac
876 de Saint-Germain-de-Confolens (Charente, France), paramètres géomorphologiques à prendre
877 en considération dans la gestion du lac. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*,
878 volume 11, 2017, pp. 197-227.
- 879
- 880 Maleval V., 2006. *L'apport d'un bilan sédimentaire en milieu lacustre*. *Z. Geomorph. N.F.*
881 50-4, pp. 465-477.
- 882
- 883 Meraut P., 1999. The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural
884 catchments in a temperate climate. *Agronomie*, 19, pp. 655-669.
- 885
- 886 Météo-France, base de données PUBLITHEQUE, <https://donneespubliques.meteofrance.fr>
887

[Tapez ici]

888 Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2014. *Les MAEC et l'AB, 2015-*
889 *2020*. Réunions inter-régionales. Bureau des actions territoriales et agroenvironnementales.
890 MAAF – Union Européenne. 125 diapositives.

891

892 Mitroi V., Maleval V., Vinçon-Leite B., Catherine A., Humbert J-F., Deroubaix J-F.,
893 (soumis). Expert and common knowledge contributions to a patrimonial management of Ile-
894 de-France peri-urban lakes. *Ecological Indicators*.

895

896 Mitroi V., Deroubaix J-F., Vinçon-Leite B., Catherine A., Maleval V., Humbert J-F., 2016.
897 Évaluation de la qualité des plans d'eau urbains et périurbains : apport des approches
898 transdisciplinaires et régionalisées. *Natures Sciences Sociétés, Dialogues*, EDP Sciences 2016.
899 14 p. DOI: 10.1051/nss/2016032

900

901 Molénat J., Dorioz J.M., Gascuel C. et Gruau G., 2009. *Les voies de transfert : circulations*
902 *de l'eau et des polluants dans les bassins versants sur socle*. Université de Rennes 1,
903 Territ'Eau, Agro-Transfert Bretagne, version du 09/11/2009, 9 p.

904

905 Moss, B., Kosten S., Meerhoff M., Battarbee R.W., Jeppesen E., Mazzeo N., Havens K.,
906 Lacerot G., Liu Z., De Meester L., Paer H., Scheffer M., 2011. Allied attack: climate change
907 and eutrophication. *Inland Waters*, 1(2), pp. 101-105.

908

909 Nedjai R., Messaoud N., Bensaïd A., 2016. Evolution de la dynamique hydrosédimentaire des
910 étangs de moyenne montagne sous la double influence urbaine et agricole : cas de l'étang de
911 Haute-Jarrie (Isère, France). *Revue géographique de l'Est*. Vol.56/n°1-2, mis en ligne le 29
912 août 2016. URL : <http://rge.revues.org/5695>

913

914 Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2000. *Directive 2000/60/CE*
915 *établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*, 23 octobre.

916

917 Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 1998. *Directive 98/83/CE relative à la*
918 *qualité des eaux destinées à la consommation humaine*, 3 novembre.

919

- 920 Pitois F., 2017. Retenue du Moulin Neuf à Pont l'Abbé (29) : 20 ans de suivis et d'actions
921 (1996-2016). Rapport pour la CCPBS (Communauté de Communes du Pays Bigouden Sud),
922 68 p.
923
- 924 Reignier D. et Kerrien F., 2015. L'eau des lacs : peut-on la boire et s'y baigner ? In Montuelle
925 B. et Clémens A. (sous la direction). Le tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions.
926 3- Qualité des eaux. Ed. du GRAIE, Villeurbanne, p. 56-57.
927
- 928 Savy B., 2006. *Hydro-limnologie du haut bassin de la Charente : une approche géographique*
929 *appliquée aux relations lac de barrage-émissaire. La température de l'eau en aval des lacs de*
930 *Lavaud et Mas Chaban*. Thèse de doctorat de l'Université de Limoges, géographie, mars
931 2006. 375 p.
932
- 933 Scheffer M., 2004. Ecology of shallow lakes. *Population and Community Biology Series*, 22.
934 Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 357 p.
935
- 936 SEP DU CONFOLENTAIS, 2015. Plan d'action sur 5 ans. Document interne du Syndicat
937 d'Eau Potable, Confolens, 9 p.
938
- 939 Steyaert P., Ollivier G., 2007. The European water framework directive: how ecological
940 assumptions frame technical and social change, *Ecology and Society*, 12, 1,
941 <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art25/>.
942
- 943 Stumm W., 2005. Chemical processes regulating the composition of lake waters. In *The lakes*
944 *handbook vol. I – Limnology and limnetic ecology*, O'Sullivan P.E. and Reynolds C.S. eds,
945 Blackwell Publishing, Oxford, 699 p.
946
- 947 Touchart L., 2016. Le bilan thermique des étangs : réflexion épistémologique et application
948 aux étangs limousin. *Annales de Géographie*, n° 708, 2016, pages 143-169, Armand Colin.
949
- 950 Touchart L., 2007. La définition de l'étang en géographie limnologique. In *Géographie de*
951 *l'étang, des théories globales aux pratiques locales*. Paris, L'Harmattan, pp. 13-53.
952

[Tapez ici]

953 Touchart L. et Matthieu Graffouillère (dir.), 2004. *Les étangs limousins en questions*. Editions
954 de L'A.I.G.L.E., Limoges, 179 p.

955

956 Touchart L., 2002. *Limnologie physique et dynamique. Une géographie des lacs et des étangs*.
957 L'Harmattan, Paris. 395 p.

958

959 Touchart L., 2000. *Les lacs, Origine et morphologie*. L'Harmattan, Paris. 203 p.

960

961 Touchart L., 1993. La machine lacustre : l'exemple du Léman. *Annales de géographie*, n°
962 573, pp. 449-471.

963

964 Tymen R., 1997. *Traitements curatifs de l'eutrophisation sur quelques retenues du bassin*
965 *Loire-Bretagne*. Rapport de synthèse, AELB, 47 p.

966

967 Viaud V., 2004. *Organisation spatiale des paysages bocagers et flux d'eau et de nutriments*.
968 *Approche empirique et modélisations*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, Sciences de
969 l'environnement, 257 p.

970

971 Visser P. M., Verspagen J.M., Sandrini G., Stal L.J., Matthijs H.C., Davis T.W., Paerl H.W.,
972 Huisman J., 2016. How rising CO₂ and global warming may stimulate harmful cyanobacterial
973 blooms. *Harmful Algae*, 54, pp.145-159.

974

975 Webb B.W., & Walling D.E., 1997. Complex summer water temperature behavior below a
976 U.K. regulating reservoir. *Regulated Rivers : Research and Management*, 13(5), pp. 463-477.

977

978 Wetzel R.G., 2001. *Limnology – Lake and River Ecosystems*, Third Edition. Academic Press,
979 San Diego. 1006 p.

980

981 Zhang M., Duan H., Shi X., Yu Y., Kong F., 2012. Contributions of meteorology to the
982 phenology of cyanobacterial blooms: implications for future climate change. *Water Research*,
983 46(2), pp. 442-452.

984

985 **Figures**

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

987 *The watershed of lake of Saint-Germain de Confolens*

988 Figure 2 : Localisation et caractéristiques des sondes thermiques enregistrées

989 *Location and characteristics of recording thermal sensors*

990 Figure 3 : Localisation des profils verticaux

991 *Locating vertical profiles*

992 Figure 4 : Localisation des points de prélèvements d'eau dans le BV du lac

993 *Location of water sampling points in the watershed of the lake*

994 Figure 5 : L'occupation du sol du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens en
995 1972

996 *The land use of the lake watershed of Saint-Germain de Confolens in 1972*

997 Figure 6 : L'occupation du sol du bassin versant du lac de Saint-Germain de Confolens en
998 2012

999 *The land use of the lake watershed of Saint-Germain de Confolens in 2012*

1000

1001 Figure 7 : L'évolution de l'OS du BV du lac entre 1972 et 2012

1002 *The evolution of land use in the Lake watershed between 1972 and 2012*

1003 Figure 8 : Evolution de la densité des haies du BV du lac de Saint-Germain entre 1972 et
1004 2014

1005 *Evolution of the density of the hedgerows of the Lake of Saint-Germain between 1972 and*
1006 *2014*

1007 Figure 9 : Effectifs des cyanobactéries au pont Binot, en amont du lac de Saint-Germain

1008 *Number of cyanobacteria at the Binot bridge, upstream the lake of Saint-Germain*

1009 Figure 10 : Evolution longitudinale et verticale des températures de la masse d'eau

1010 *Longitudinal and vertical evolution of the temperatures of the water body*

1011 Figure 11 : Evolution des températures moyennes journalières au fond de la retenue au droit
1012 des stations A et B (avril 2015 - mars 2016)

1013 *Evolution of the average daily temperatures at the bottom of the reservoir at stations A and*
1014 *B (April 2015 - March 2016)*

1015 Figure 12 : Evolution des températures moyennes journalières en surface de la retenue au
1016 droit des stations A et B

1017 *Evolution of the mean daily surface temperatures of the reservoir at stations A and B*

1018 Figure 13 : Distribution des gradients thermiques dans le tronçon amont du lac (sans aérateur)

1019 *Distribution of thermal gradients in the upstream section of the lake (without aerator)*

[Tapez ici]

- 1020 Figure 14 : Distribution des gradients thermiques dans le tronçon aval du lac (avec aérateur)
- 1021 *Distribution of thermal gradients in the downstream section of the lake (with aerator)*
- 1022 Figure 15 : Bilan hebdomadaire des flux de MES et de Ptotal au lac de Saint-Germain
- 1023 *Weekly balance of suspended solids and total phosphorus at Lake Saint-Germain*
- 1024 Figure 16 : Effectifs totaux du phytoplancton (tous taxons confondus) en entrée et sortie du
- 1025 lac
- 1026 *Total phytoplankton numbers (all taxa combined) in and out of the lake*
- 1027 Figure 17 : Travaux d'optimisation de l'aération de lac de Saint-Germain-de-Confolens
- 1028 *Saint-Germain-de-Confolens Lake Aeration Optimization*