



**HAL**  
open science

## Cartographie des services écosystémiques lacustres pour spécifier les aires concernées dans les limnosystèmes des grands lacs alpins

Yoann Baulaz, Jean-Marcel Dorioz, Véronique Peyrache-Gadeau

► **To cite this version:**

Yoann Baulaz, Jean-Marcel Dorioz, Véronique Peyrache-Gadeau. Cartographie des services écosystémiques lacustres pour spécifier les aires concernées dans les limnosystèmes des grands lacs alpins. *Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement*, 2020, 45, pp.131-150. 10.4000/dynenviron.4258 . hal-04485879

**HAL Id: hal-04485879**

**<https://hal.science/hal-04485879>**

Submitted on 1 Mar 2024

**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 **CARTOGRAPHIE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES LACUSTRES POUR SPECIFIER**  
2 **LES AIRES CONCERNEES DANS LES LIMNOSYSTEMES DES GRANDS LACS ALPINS**

3 *LACUSTRINE ECOSYSTEM SERVICES MAPPING TO SPECIFY THE CONCERNED AREAS IN THE*  
4 *LIMNOSYSTEM OF THE LARGE ALPINE LAKES*

5  
6 **Auteurs :**

7 *Yoann Baulaz<sup>1,3</sup>, Jean-Marcel Dorioz<sup>2</sup>, Véronique Peyrache-Gadeau<sup>3</sup>*

8 **Affiliations :**

9 *1 Université Savoie Mont Blanc, INRA, UMR CARRTEL, 74200 Thonon-les-Bains, France*

10 *2 Université Savoie Mont Blanc, INRA, UMR CARRTEL, 74200 Thonon-les-Bains, France*

11 *3 Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS, UMR EDYTEM, 73376 Bourget*  
12 *du lac, France*

13 **RESUME**

14 *L'objet de cet article est de proposer une cartographie des aires de fourniture, de demande et des*  
15 *modalités d'accès de trois services écosystémiques (SE) majeurs de deux grands lacs alpins : les lacs*  
16 *d'Annecy et du Bourget. La démarche choisie mobilise les apports de la géographie limnologique pour*  
17 *enrichir une cartographie théorique. Elle se base sur des enquêtes réalisées auprès d'utilisateurs et*  
18 *d'acteurs impliqués dans la gestion des lacs. Les informations récoltées sont traitées pour l'analyse des*  
19 *liens entre les fonctionnements limnologiques et les pratiques des bénéficiaires des services et pour*  
20 *révéler les patrons spatiaux des SE. Cette approche met en avant les spécificités spatiales de chaque SE*  
21 *et permet de dégager des enseignements en vue de leur cartographie et pour la gestion des grands lacs*  
22 *alpins.*

23 *L'étude révèle que les « SE d'approvisionnement en bio-ressources » des grands lacs se spatialisent en*  
24 *fonction du zonage écologique lacustre et sont dépendants des conditions biophysiques (hydrologiques*  
25 *et l'état des habitats). Les « SE culturels » en revanche sont surtout influencés par les aménagements*  
26 *mis en place pour acheminer et accueillir les bénéficiaires dans les aires de fourniture. Enfin, le « SE*  
27 *d'approvisionnement en eau potable » et certains « SE de régulation » n'ont pas une emprise forte*  
28 *spatialement dans le lac, malgré leur importance sociétale, mais le maintien de leur bon état implique*  
29 *des restrictions fortes des usages et des aménagements dans l'ensemble du bassin versant (BV). Le*  
30 *périmètre de gestion de chacun de ces SE diffère donc : cantonné aux habitats écologiques lacustres, à*  
31 *l'échelle du BV, voire à une échelle pouvant dépasser les limites du limnosystème. Ces résultats servent*  
32 *de base à une discussion méthodologique sur la cartographie des SE, ses verrous en contexte lacustre*  
33 *et à une réflexion autour de la prise en compte de la spatialisation des SE dans la gestion et les*  
34 *observatoires opérationnels des grands lacs pour qu'une place entière et formalisée soit donnée aux*  
35 *enjeux actuels et futurs liés aux changements sociétaux.*

36 **MOTS CLES :** *SERVICE ECOSYSTEMIQUE ; GRAND LAC ; CARTOGRAPHIE DES SERVICES ;*  
37 *LIMNOSYSTEME ; ACCES AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES ; PERIMETRE DE GESTION*

38 **ABSTRACT**

39 *The objective of this article is to propose a mapping of the areas of supply and demand and the access*  
40 *modalities of three ecosystem services (ES) of two large alpine lakes: the Annecy and Bourget lakes.*  
41 *The chosen approach mobilizes the contributions of the limnologic geography in order to enrich a*  
42 *theorized mapping. Surveys carried out among users of the Annecy and Bourget lakes and the*  
43 *stakeholders involved in their management make possible to compare limnological processes with the*  
44 *practices of the beneficiaries of the services. This allowed the analysis of the spatial patterns of ES*  
45 *associated with fishing activities, drinking water and recreational and leisure activities. This approach*

46 *highlights the spatial specificities of each ES and draws transversal lessons for their mapping and for*  
47 *the management of large Alpine lakes.*

48 *This study reveals that the “ES of supply of bio-resources” of the large lakes spatialize according to*  
49 *lake ecological zonation and depends on certain hydrological parameters and the state of habitats.*  
50 *Others ES, like the “cultural ES” are more influenced by the arrangements put in place to transport*  
51 *and host beneficiaries to the supply areas. Finally, the “ES of water supply” and some “regulation ES”*  
52 *do not have a strong spatial influence, but indirectly involve the maintenance of their state through*  
53 *significant restrictions on uses and land use planning throughout the watershed (WS). The result is that*  
54 *the management perimeter of each of these ES differs: confined to lake ecological habitats, this extended*  
55 *to the scale of the WS, or even to a scale exceeding the limits of the limnosystem. These results pave the*  
56 *way for a methodological discussion about the ES mapping in lacustrine context and a reflection to*  
57 *reorganize management in order to explore an evolution of the large lakes observatories to better fit to*  
58 *the current and future challenges linked to the changes of societies associated with the large lakes.*

59 **KEYWORDS:** *ECOSYSTEM SERVICE; LARGE LAKE; ECOSYSTEM SERVICES MAPPING;*  
60 *LIMNOSYSTEM; ACCESS TO ECOSYSTEM SERVICES ; MANAGEMENT SCOPE*

## 61 **1. INTRODUCTION**

62 Il est aujourd'hui reconnu que sociétés et écosystèmes font partie d'un même système couplé et que  
63 « protection de la nature » et « développement des sociétés » sont deux objectifs qu'il s'agit de rendre  
64 compatibles (Liu et al., 2007). Cette conception intégrée des rapports des humains avec les écosystèmes  
65 s'est renforcée au tournant des années 2000 dans les pays occidentaux et se cristallise depuis, non sans  
66 débats, autour d'un outil conceptuel d'analyse des liens écosystèmes et sociétés avec le concept de  
67 service écosystémique (SE). Ce concept a connu un succès fulgurant (Maris, 2018) car il invite à une  
68 observation systémique des interactions associant les sociétés aux écosystèmes ; il permet d'identifier  
69 les processus et les chaînes causales qui en résultent (Castro et al., 2014) et de faciliter les arbitrages de  
70 gestion à partir, notamment, d'analyses économiques en termes de coûts et bénéfices.

71 Opérationnaliser le concept de SE pour l'appliquer à la gestion des territoires a été l'enjeu initial et est à  
72 l'origine de l'engouement pour la spatialisation (Burkhard et Maes 2017; Gómez-Baggethun et al. 2010).  
73 La cartographie des SE s'est imposée comme un outil pertinent pour évaluer et décrire les relations entre  
74 écosystèmes et usages à plusieurs échelles spatiales et a reçu un intérêt prononcé de la part des décideurs  
75 politiques (Lavorel et al., 2017; Le Clec'H et al., 2019; Maes et al., 2012).

76 En la matière, la démarche doit être adaptée pour chaque type de socio-écosystème. En effet, chacun  
77 possède des spécificités, influant sur les interactions naturelles et socio-culturelles et leurs variabilités  
78 spatiale et temporelle et pouvant être interprétées en termes de SE. L'objectif de cet article est  
79 d'appliquer l'approche et la cartographie des SE à l'étude des limnosystèmes et à leur gestion.

80 Les grands lacs alpins fournissent des cas exemplaires de socio-écosystèmes particuliers, en tant que  
81 « limnosystèmes » (Touchart et Bartout 2018) dont le positionnement, la superficie et le volume leur  
82 confèrent quelques spécificités géographiques. Ils sont au cœur de systèmes où la composante liquide  
83 est à la fois le milieu de vie des espèces aquatiques et une ressource pour les activités humaines, attachée  
84 à des images et symboles forts et ancrés dans les sociétés qui bénéficient de ces lacs (Vernex 1985). Ce  
85 sont des « territoires de l'eau » (Alexandre et Arrus 2006; Bravard et Pourtier 2003; Ghiotti 2005) à  
86 l'intérieur des Alpes, avec une gestion centrée sur celle du plan d'eau et de leur bassin versant (BV).  
87 Les grands lacs alpins français constituent en effet les maillons d'une chaîne hydrologique amont/aval  
88 contribuant largement au système fluvial du Rhône (bien que cette influence soit négligée dans la  
89 gouvernance de ces lacs ( Pflieger et al. 2015)) et au fonctionnement de la biocénose lacustre et du climat  
90 local. Malgré l'importance accordée à l'hydrosystème en amont de ces lacs dans la gouvernance, et le  
91 fonctionnement limnologique, l'influence du BV sur le socio-système lacustre est marginale. Les  
92 couplages société – écosystème dépendent surtout de la taille du plan d'eau et de la forme de la cuvette

93 lacustre (à l'échelle alpine, un plan d'eau est considéré comme un grand lac si sa superficie est supérieure  
94 à 100 km<sup>2</sup> et/ou sa profondeur dépasse 120 m – Magni et Chinaglia 2008) et de leur position  
95 géographique par rapport aux reliefs et aux grands axes de développement, déterminants principaux de  
96 l'organisation et de la dynamique du socio-système, que ce soit en termes d'histoire, d'identité  
97 territoriale, d'aménagements et d'usages. Par ailleurs, en tant que « systèmes de ressources » (Ostrom  
98 2009), les grands lacs alpins sont associés à des usages qui se rencontrent généralement en milieu littoral  
99 marin : pêche professionnelle, activités touristiques balnéaires, navigation commerciale, promenades  
100 sur le littoral, détente sur des plages naturelles de sable et de galets, mais ils fournissent également de  
101 l'eau potable. Ces caractéristiques et la complexité de ces limnosystèmes soulèvent des interrogations  
102 en termes de services : quelle est la part relative des influences à la fois continentales et aquatiques pour  
103 les SE ? Quelles spécificités en termes de SE cela engendre-t-il ? Comment la gestion des SE peut-elle  
104 prendre en compte ces spécificités ?

105 L'objectif de cet article est de réfléchir à ces questions en s'appuyant sur l'étude de deux grands lacs  
106 alpins français : le lac d'Annecy et le lac du Bourget, qui constituent des exemples de limnosystèmes de  
107 longue date investis par les sociétés humaines, et de ce fait, rendant un grand nombre de services.  
108 Comme la plupart des grands lacs du monde (Jenny et al. 2020 ; Vörösmarty et al. 2004), ils ont subi  
109 plusieurs vagues de pollutions au cours du XX<sup>ème</sup> siècle ayant remis en cause les ressources et certains  
110 usages, qui jusqu'alors paraissaient sans limites, au point de nécessiter la mise en place d'actions de  
111 gestion et de réglementation. Aujourd'hui, avec l'évolution des attentes sociétales à l'égard des milieux  
112 naturels et celle des modes de loisirs, qui entraînent un accroissement de l'attrait général pour ces lacs  
113 (Rudzewicz et al. 2020), ils offrent une qualité acceptable des eaux et des milieux lacustres, retrouvée  
114 (lac du Bourget) ou sauvegardée (lac d'Annecy) et fruit des investissements dans l'assainissement et  
115 dans le soutien des populations de poissons depuis les années 1950 (David 1967 ; Servettaz 1977).

116 La comparaison entre ces deux limnosystèmes proches au plan écologique, soumis aux mêmes grands  
117 forçages socio-économiques, situés dans la même écorégion alpine, mais de trajectoires d'état un peu  
118 différentes et rendant des SE aux caractéristiques distinctes, tiendra lieu de cadre pour l'étude de la  
119 variabilité spatiale des SE.

120 L'approche choisie est celle de la caractérisation des SE par la mobilisation de la géographie  
121 limnologique dans la perspective de produire une cartographie des SE associés aux lacs d'Annecy et du  
122 Bourget. Notre évaluation repose sur la représentation sous forme de carte de trois services, le « SE eau  
123 potable », le « SE pêche » et le « SE loisirs » retenus pour leur importance dans les axes de vigilance de  
124 la gestion des lacs et plus généralement dans les attendus sociétaux et dans l'économie des territoires  
125 des grands lacs alpins.

126 Après avoir présenté brièvement notre cadre théorique et notre démarche d'application du concept de  
127 SE aux limnosystèmes, puis les enjeux de la cartographie des SE, nous présentons notre approche de la  
128 cartographie des SE par la géographie limnologique : à partir de la caractérisation des deux sites d'étude  
129 et de la méthodologie de collecte des données, nous exposons successivement nos résultats sur la  
130 spatialisation des trois SE des lacs d'Annecy et du Bourget, pour identifier ensuite les paramètres  
131 transversaux déterminants de la spatialisation des SE dans la perspective d'une modélisation du  
132 limnosystème des grands lacs. Enfin, la discussion porte sur les aspects méthodologiques concernant les  
133 données mobilisables et les verrous de la cartographie des SE des grands lacs, et la prise en compte des  
134 dynamiques spatiales des SE dans la gouvernance des grands lacs, permettant de faire valoir l'utilité de  
135 cette approche pour la gestion des limnosystèmes.

### 136 **1.1 Cadrage théorique et démarche d'application du concept de service écosystémique**

137 Le concept de SE se décline en un modèle simplifié et linéaire (qui s'avère par ailleurs être une  
138 métaphore pédagogique efficace qui attire l'attention sur les écosystèmes) envisageant les écosystèmes  
139 comme fournisseurs de services pour les sociétés et participant ainsi au bien-être humain par la

140 production de bénéfiques (Dufour et al., 2016). S'emparant de ce concept, la communauté scientifique  
141 propose différentes méthodes visant à caractériser les SE. Il s'agit soit (1) d'évaluer la capacité des  
142 écosystèmes à fournir des services et d'en identifier les grands processus écologiques et les éléments de  
143 la biodiversité impliqués (approches fonctionnelles écologiques) ; soit (2) de mesurer la production de  
144 bénéfiques fournis, initialement en termes monétaires (approches économiques), puis aujourd'hui dans  
145 divers types de valeurs et métriques, (approches socio-culturelles) ; (3) ou bien encore de mener de front  
146 ces deux méthodes dans une démarche pluridisciplinaire et intégrée (Castro et al., 2014). Généralement,  
147 ce dernier type d'évaluation se déroule en deux phases : dans un premier temps elle dissocie les deux  
148 approches écologiques et socio-économiques, considérant séparément la fourniture en SE par les  
149 écosystèmes et la production de bénéfiques satisfaisant les demandes sociétales, puis rapprochant ces  
150 deux informations dans un second temps, pour évaluer les rapports entre "fourniture et demande en SE".

151 La fourniture en SE correspond à la capacité des écosystèmes à produire des services par le biais des  
152 fonctions écosystémiques et la demande en SE représente les avantages extraits de cette production par  
153 un ou plusieurs bénéficiaires (Potschin et Haines-Young 2011). L'exploitation des SE, notamment  
154 aquatiques, mobilise presque toujours des pratiques, outils ou des aménagements qui les « rendent  
155 accessibles ». L'accès aux SE représente alors le lien matériel qui permet aux bénéficiaires de tirer profit  
156 des SE fournis (Ala-Hulkko et al. 2016 ; Baulaz et al. soumis). Or, la mobilisation des pratiques, outils  
157 et aménagements d'accès aux SE n'est pas neutre pour l'environnement. Si l'accès aux SE n'est pas  
158 adapté à la capacité de fourniture de l'écosystème et à l'intensité de la demande, alors survient à terme :  
159 (1) une sur-exploitation du service, (2) des conflits d'usages et/ou (3) une atteinte à l'écosystème (Syrbe  
160 et Walz 2012). Les aménagements peuvent d'ailleurs avoir une influence forte dans les paysages,  
161 lorsqu'il s'agit d'installations portuaires ou de constructions littorales, au point d'engendrer souvent des  
162 perturbations sur d'autres services. Par le biais de lois et réglementations, la gestion des écosystèmes  
163 contrôle les pratiques et encadre l'aménagement du territoire ; les institutions permettant ainsi une  
164 régulation de l'accès aux SE.

165 L'application du concept de SE à la gestion des territoires (Syrbe et Walz 2012) consiste pour certains  
166 auteurs, à représenter spatialement les niveaux de fourniture et de demande en SE. Dans ce contexte,  
167 cartographier l'accès aux SE permettrait d'identifier spatialement les espaces et objets à l'interface entre  
168 les aires de fourniture et de demande, de spatialiser les pratiques et comportements des bénéficiaires et  
169 d'analyser la structuration socio-spatiale des territoires, organisée pour partie autour du besoin  
170 d'exploiter les SE.

171 Afin d'avoir une vue complète de la variabilité spatiale des SE des lacs d'Annecy et du Bourget, une  
172 évaluation intégrée des SE est réalisée. Une attention particulière est donnée, dans notre cartographie,  
173 aux aménagements et composantes de l'accès aux services et à l'analyse de son rapport à l'espace. Notre  
174 hypothèse est que la prise en compte de l'accessibilité aux SE est cruciale car elle permet de mieux  
175 interfacer les données scientifiques et les décisions politiques du fait que l'accès détermine en partie  
176 l'intensité des effets de l'exploitation des SE sur le limnosystème, tout en représentant pour les  
177 gestionnaires un moyen d'action concret (Le Clec'H et al., 2019).

## 178 **1.2 Les enjeux de la cartographie des services écosystémiques des grands lacs et stratégie d'étude**

179 L'accès aux SE est pourtant une composante souvent négligée dans les études sur les SE, considérée  
180 généralement pour caractériser uniquement les SE dits « culturels » (Ala-Hulkko et al. 2016). Notre  
181 stratégie est d'élargir son étude à l'ensemble des SE pour que la cartographie réponde mieux d'une part,  
182 aux enjeux opérationnels de l'utilisation de la cartographie dans la gestion des limnosystèmes, et d'autre  
183 part aux difficultés méthodologiques posées par l'analyse de plusieurs SE dynamiques dans le temps et  
184 avec des patrons spatiaux différents pouvant se chevaucher.

185 D'un point de vue opérationnel, la cartographie des SE est souvent considérée comme une approche  
186 indispensable à la planification spatiale et la gestion des écosystèmes aquatiques (Le Clec'H et al., 2019;

187 Maes et al., 2012). L'Union Européenne, que ce soit en milieu fluvial et lacustre au travers de la DCE  
188 (Directive Cadre sur l'Eau) ou marin avec la DCSMM (Directive Cadre Stratégique pour le Milieu  
189 Marin), cherche à adopter un point de vue systémique et spatial dans la gestion des milieux aquatiques,  
190 où la cartographie tient une place fondamentale dans les arbitrages politiques (Bartout et Touchart 2017).  
191 Ces directives reposent sur une gestion basée sur l'écosystème, qui mobilise un ensemble d'outils et  
192 indicateurs visant à suivre des processus biophysiques dans le but de définir « le bon état des  
193 écosystèmes » (Hering et al. 2010; McLeod et Heather 2009). Les méthodes mises en œuvre pour  
194 appliquer ces directives ne prennent en compte que des indicateurs biophysiques et essentiellement  
195 biologiques : les déterminants de la société et des usages sont réduits à l'état de forçages, alors que les  
196 actions de gestion se basent justement sur des mesures concrètes de régulation des activités humaines  
197 (Hering et al. 2010 ; Martin-Ortega 2012). Tout se passe comme si, seules les études de la fourniture en  
198 SE avaient un intérêt opérationnel aujourd'hui dans le cadre de la DCE et la DCSMM ; ce qui revient à  
199 ne pas considérer la demande ou l'accès en SE, les besoins humains et les évolutions sociétales et à faire  
200 l'impasse sur la complexité des rapports sociétés-écosystèmes.

201 La cartographie des SE nous semble un outil davantage correspondre à cette complexité. Elle permet  
202 d'opérer un changement de regard sur les écosystèmes, de rapprocher des analyses quantitatives et  
203 qualitatives et de favoriser l'imbrication des échelles spatiales et temporelles, des niveaux de la gestion  
204 des différents services, des fonctionnalités des écosystèmes ou encore des bénéficiaires.

205 Dans cette perspective, les grands lacs présentent une particularité : la compréhension de leur état et de  
206 leur fonctionnement nécessite de prendre en compte les flux provenant de leur environnement,  
207 notamment ceux émis ou modifiés par les sociétés humaines qui vivent dans le BV mais aussi de ceux  
208 qui résultent du socio-système qui utilise et vit avec le lac et qui ne correspond pas aux limites du BV.  
209 D'un point de vue méthodologique, la cartographie devra donc s'intéresser au limnosystème dans son  
210 ensemble et considérer conjointement les espaces intervenant dans la fourniture, la demande et l'accès  
211 des différents types de SE.

212 La prise en compte de SE de nature différente est une autre particularité et difficulté pour la cartographie.  
213 Les services de régulation représentent l'ensemble des bénéfices issus des processus écosystémiques  
214 réalisant soit un effet tampon par rapport aux pressions environnementales, comme la régulation du  
215 climat ou le maintien de la qualité de l'eau par la biogéochimie, soit ayant un effet structurant le  
216 fonctionnement de l'écosystème, comme le maintien des habitats et du patrimoine génétique. Cette  
217 classe de SE, en contribuant, en fonction de leurs capacités à maintenir la qualité de l'environnement  
218 dans les limites socialement désirées (Villamagna et al. 2013), soutient la production des deux autres  
219 types de services, notamment ceux que nous allons cartographier. D'après la classification des SE de la  
220 « Common International Classification of Ecosystem Services » - CICES 2018, ces autres catégories de  
221 SE sont : (1) les services d'approvisionnement : biens issus des écosystèmes et utilisés à des fins  
222 alimentaires (ex: eau, poissons et écrevisses), matérielles et/ou énergétiques (hydroélectricité, industrie)  
223 et (2) les services culturels représentant les bénéfices immatériels que les humains tirent des écosystèmes  
224 (ex : opportunités pour la récréation, la science et l'éducation, les valeurs d'inspiration, d'héritage ou le  
225 sentiment d'appartenance au territoire limnique).

226 L'un des enjeux de l'étude des SE culturels est de définir exactement ce qui dépend de l'écosystème  
227 lacustre, où et quand. Les pratiques socio-culturelles associées à ces SE peuvent avoir une importance  
228 forte dans l'économie régionale, du fait qu'elles recoupent les activités touristiques et de loisir. En effet,  
229 les grands lacs, ainsi que leur pourtour, offrent des opportunités pour la détente, le ressourcement, la  
230 spiritualité, les liens sociaux, le dépaysement (Vernex 1985, 2008). A la fois porteurs de mémoires et  
231 supports des savoirs, inspirants pour l'art et la culture, ils participent de diverses façons au bien-être  
232 humain et à la santé (Stefan, 2016; Ulrich, 1984). Ces bénéfices relèvent pour partie du paysage, lequel  
233 souligne la dimension hybride des grands lacs : bénéfices déterminés à la fois par la qualité de leurs  
234 écosystèmes, et par l'utilisation qu'en fait la société qui aménage et occupe l'espace (Hall et Harkonen  
235 2006). Le tourisme lacustre résulte alors de la combinaison de l'attractivité du lac, de son littoral, des

236 aménagements d'accès et de tous les éléments paysagers liés et de la culture locale (Hall et Harkonen  
237 2006). L'aire de fourniture et de demande de ces SE sont alors difficile à spatialiser, elles diffèrent pour  
238 chaque bénéfice spécifique recherché par les multiples pratiques socio-culturelles associées à ces SE  
239 culturels. Ces SE sont néanmoins dépendants de leur accessibilité, variable spatialement explicite  
240 associant la fourniture et la demande en SE et d'intérêt opérationnel. Cartographier l'accès aux SE  
241 culturels nous semble alors fournir un compromis intéressant pour faire face aux verrous de la  
242 spatialisation des SE culturels en contexte lacustre.

243 Les services d'approvisionnement sont extraits à l'endroit où ils sont produits dans le lac et le littoral.  
244 L'équilibre fourniture/demande de ces SE est alors fortement dépendant de la qualité des ressources  
245 brutes et de l'état de l'écosystème, leur aire de fourniture pouvant alors varier dans l'espace et le temps  
246 en fonction du cycle de vie des espèces et des processus physico-chimiques. L'accès à ces services et la  
247 capacité du lac à satisfaire la demande est ainsi fortement dépendante de paramètres biophysiques. Il  
248 existe alors de forts enjeux à cartographier la variabilité spatio-temporelle de la fourniture de ces SE.

249 Ces éléments illustrent le fait que chaque SE est spatialisé différemment en fonction de ses déterminants  
250 biophysiques et de l'organisation des sociétés qui en tirent profit (Burkhard et Maes 2017 ; Couvet et al.  
251 2016). Tout cela démontre l'importance d'une approche spatialisée d'étude des SE des grands lacs qui  
252 questionne l'échelle de gestion de ces objets et cherche à la redéfinir en termes de SE.

## 253 **2. APPROCHE CARTOGRAPHIQUE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES PAR LA** 254 **GEOGRAPHIE LIMNOLOGIQUE**

### 255 **2.1 Les sites d'études**

256 La forme des cuvettes lacustres est représentative des lacs de piedmont d'origine glaciaire. Les lacs  
257 d'Annecy et du Bourget ont été creusés par le passage des glaciers qui descendaient des hauts massifs  
258 alpins, sur des chemins au préalable préparés par la tectonique depuis la formation des Alpes (Touchart,  
259 1993). D'un point de vue hydrographique, ces lacs représentent des stocks d'eau de 1.12 km<sup>3</sup> pour le lac  
260 d'Annecy et de 3.6 km<sup>3</sup> pour le lac du Bourget (tableau 1), alimentés par les fortes précipitations que  
261 subissent les montagnes environnantes des Alpes et du Jura. Ils appartiennent au système fluvial du  
262 Rhône, prenant sa source dans le glacier qui porte son nom, à l'extrémité orientale du Valais suisse. Le  
263 positionnement géographique qui résulte de cette configuration grands lacs - piedmont confère des  
264 propriétés paysagères singulières, formant des contrastes de reliefs et une mosaïque de formes et de  
265 couleurs qui participent aujourd'hui au cadre de vie et au développement touristique et attirent depuis  
266 longtemps les poètes, peintres et autres artistes (Vernex, 1998) et plus généralement des populations et  
267 des touristes en nombre croissant. En conséquence, cette configuration du paysage impose une  
268 concentration urbaine et touristique entre le littoral et les reliefs des massifs préalpins et jurassiens. Cette  
269 position a conduit à une régulation artificielle des niveaux de ces lacs pour limiter le risque d'inondation.  
270 L'aménagement de l'occupation de l'espace sur les pourtours et les BV des deux grands lacs alpins est  
271 néanmoins sensiblement différent, avec d'un côté une pression urbaine et industrielle en amont du lac  
272 du Bourget et une concentration de l'urbanisation à l'aval du lac d'Annecy (figure 1).

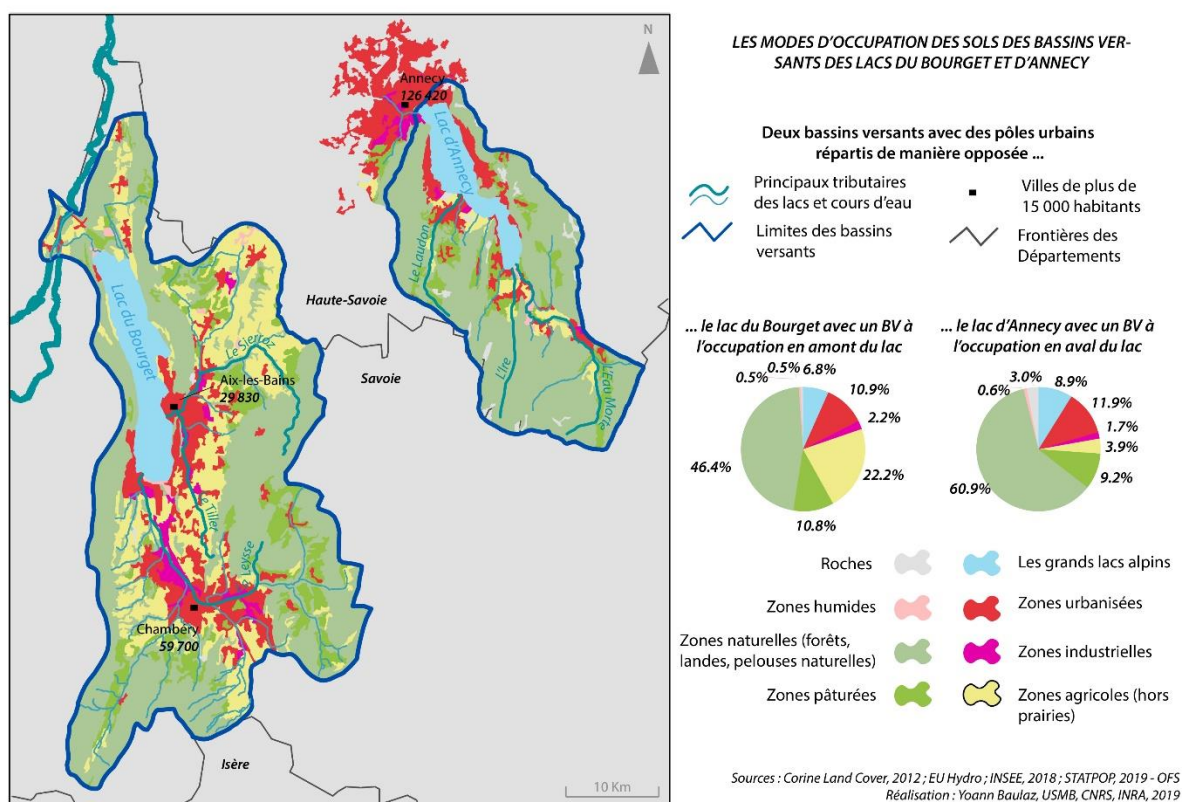
273 Ces grands lacs attirent les sociétés humaines par les nombreuses ressources qu'ils procurent et les  
274 opportunités de développement qu'ils offrent. L'ensemble des usages, tout comme les rapports que les  
275 humains entretiennent avec ces plans d'eau ont largement évolué au cours du temps (Floret et Hubert  
276 1977) et quatre usages de ces lacs aujourd'hui prédominent : l'alimentation en eau potable, la pêche, les  
277 activités touristiques et de loisir ainsi que l'usage des eaux du lac comme réceptacle des eaux usées. Ces  
278 utilisations des plans d'eau sont récentes au regard de l'histoire de ces lacs (hormis la pêche) et ont  
279 émergé tour à tour en réponse à l'évolution des modes de vie, des besoins sociétaux et des innovations  
280 techniques pour en tirer profit. Elles mobilisent quatre grands types de SE des grands lacs alpins : les  
281 SE d'approvisionnement en eau potable, en bio-ressources, les SE culturels qui procurent des espaces  
282 de pratiques des activités ludiques, récréatives et participent à l'identité territoriale et l'attractivité, et les

283 SE de régulation des qualités de l'eau et des milieux qui permettent le maintien d'une qualité  
 284 environnementale et paysagère et le soutien aux autres types de services.

285 *Tableau 1 : Caractéristiques limniques et du BV des grands lacs alpins français*

Lac	Caractéristiques lacustres	Caractéristiques du BV
Annecy	Superficie : 26 km <sup>2</sup>	Superficie BV : 278 km <sup>2</sup>
	Profondeur maxi : 65 m	Rapport BV/lac : 11
	Volume moyen : 1,12 Km <sup>3</sup>	Population du BV : 33 660 hab (+ agglo Annecienne : 203 370 hab)
	Temps de séjour de l'eau : 3,8 ans	
Bourget	Superficie : 44 km <sup>2</sup>	Superficie BV : 560 km <sup>2</sup>
	Profondeur maxi : 146 m	Rapport BV/lac : 13
	Volume moyen : 3,6 Km <sup>3</sup>	Population du BV : 202 140 hab
	Temps de séjour de l'eau : 9 ans	

286



287 3  
 288 4 *Figure 1 : Carte du mode d'occupation des sols des BV des deux grands lacs alpins français (le*  
 289 *lac d'Annecy, le lac du Bourget)*

290



#### 291 **4.1 Méthodologie d'enquête et de récolte des données cartographiques**

292 La démarche choisie est une analyse de trois SE indépendamment et conduit à envisager le  
293 chevauchement éventuel de leurs aires de fourniture et de demande. Nous avons choisi de spatialiser les  
294 SE d'approvisionnement en eau potable (le « SE eau potable »), le SE d'approvisionnement en poissons  
295 et écrevisses (le « SE pêche »), et le SE culturel d'interactions physiques et récréatives avec les plans  
296 d'eau (le « SE loisirs »). Ces SE sont intéressants à cartographier du fait (1) qu'ils sont soumis à de forts  
297 enjeux de conservation et de développement des territoires limniques et (2) qu'ils présentent des rapports  
298 fourniture - accès - demande différenciés pouvant nous informer sur la variété des patrons spatiaux des  
299 SE.

300 La spatialisation de ces services repose sur le couplage de différentes informations qualitatives (tableau  
301 2) issues (1) de la littérature grise et des études menées dans le cadre du suivi écologique des grands lacs  
302 alpins, et (2) de données issues d'enquêtes auprès d'usagers des lacs (un pêcheur professionnel et huit  
303 pêcheurs de loisir du lac d'Annecy ; huit directeurs de clubs de voile et de plongée des lacs d'Annecy et  
304 du Bourget), de représentants d'usagers (huit acteurs impliqués dans la gestion du tourisme dans les  
305 offices du tourisme, au département et mairies de communes limitrophes du lac) et de cinq acteurs  
306 techniques en charge de la distribution de l'eau potable et de l'assainissement des lacs d'Annecy et du  
307 Bourget. Pour l'analyse cartographique du SE pêche, nous avons choisi de représenter les données  
308 relatives à la pêche de loisir sur le lac d'Annecy pour les quatre espèces principalement capturées  
309 (tableau 2) ; l'activité de pêche sur ce lac étant très majoritairement représentée par les pêcheurs de  
310 loisir. La cartographie des aires de fourniture et des aménagements d'accès au SE loisirs est réalisée à  
311 partir d'informations sur le nombre de places dans les ports, l'emplacement de certains hébergements  
312 touristiques, le nombre de lits touristiques par commune littorale et la représentation des principaux axes  
313 routiers et ferroviaires (tableau 2).  
314

315  
316

5 *Tableau 2 : Sources des données cartographiques utilisées dans l'étude*

<b>Cartes</b>	<i>Sources des données</i>
<b>Fourniture en SE pêche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enquêtes : 1 pêcheur professionnel et 7 pêcheurs de loisirs du lac d'Annecy</li> <li>• Littérature grise (ALP 2006)</li> </ul>
<b>Accès au SE loisirs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enquêtes : 10 représentants d'activités touristiques et 7 responsables de structures de gestion du tourisme</li> <li>• Littérature grise (SMBT 2018)</li> <li>• Statistiques touristiques (INSEE 2018)</li> <li>• PDIPR 73 et 74 pour les tracés des sentiers de randonnée</li> <li>• Aires de vue sur le lac : utilisation de l'outil Viewshed du logiciel ARCGIS, avec les données de BD ALTI IGN</li> </ul>
<b>Demande en SE eau potable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enquêtes : 7 responsables de structures de gestion des services d'assainissement et d'approvisionnement en eau potable des collectivités et 1 élu.</li> <li>• Littérature grise (Service de l'eau de la ville d'Annecy 2013 ; Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public de l'eau 2018, rapport annuel sur le prix et la qualité du service d'assainissement 2018)</li> <li>• Carte du collecteur des eaux usées en 1990 et 2018 (archives et données d'enquête)</li> </ul>
<b>Données de situation pour l'ensemble des cartes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corine Land Cover 2012 (modes d'occupation des sols)</li> <li>• EU Hydro (cours d'eau)</li> <li>• BD TOPO IGN (limites communales)</li> <li>• BD ORTHO IGN (photographies aériennes)</li> <li>• INPN 2018 (limites des réserves naturelles)</li> </ul>

317 6

318 **7 RESULTATS**

319 L'enjeu opérationnel de notre cartographie est d'obtenir des informations générales sur la spatialisation  
 320 des SE qui puissent renseigner les gestionnaires de ces lacs, en vue d'une meilleure prise en compte des  
 321 enjeux socio-culturels posés par l'évolution des sociétés. L'alimentation en eau potable à partir du lac  
 322 est une préoccupation de longue date au lac d'Annecy, nous présenterons en premier la spatialisation de  
 323 ce SE. La cartographie sera mise en regard avec l'assainissement des eaux usées du fait que les actions  
 324 entreprises sont déterminantes pour la qualité de l'eau brute prélevée et pour leur importance historique  
 325 dans le développement du limnosystème Annecien (Servettaz 1977). Sera présenté ensuite la  
 326 cartographie de l'aire de fourniture potentielle du SE pêche sur ce même lac, permettant d'obtenir des  
 327 informations sur la spatialisation de différents SE sur le lac d'Annecy. Enfin, une cartographie du SE  
 328 loisirs sera proposée sur le lac du Bourget, avec un intérêt particulier accordé aux modalités d'accès au  
 329 SE. Ce lac est intéressant à étudier de ce point de vue du fait d'une organisation des aménagements  
 330 autour du lac à la fois permise et limitée par les reliefs des massifs pré-alpins et juracien dans lesquels  
 331 il s'insère. La comparaison de ces différentes cartographies permettra de spécifier les aires de fourniture,  
 332 de demande et les modalités d'accès à ces SE et d'identifier les paramètres transversaux déterminants  
 333 de la spatialisation de ces SE.

334

335 **7.1 Spatialisation du « SE eau potable » au lac d'Annecy et sa relation avec l'assainissement**  
336 **des eaux usées.**

337 Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, on privilégie peu à peu l'eau des grands lacs alpins français pour  
338 l'alimentation par rapport aux nappes phréatiques du fait que la géologie karstique des massifs  
339 environnants génère une variabilité trop importante de la quantité et de la qualité de l'eau, ne pouvant  
340 plus soutenir les besoins croissants. L'aire de fourniture du SE eau potable sur les grands lacs alpins  
341 correspond alors à l'étendue d'une masse d'eau spécifique sur toute la superficie du plan d'eau à  
342 température constante et dépourvue de risques sanitaires. Ainsi, sur le lac d'Annecy, l'eau potable est  
343 prélevée à une profondeur suffisante pour qu'elle conserve une température homogène toute l'année  
344 (l'eau potable doit conserver une température inférieure à 10°C) et ne soit pas trop chargée en substances  
345 dissoutes (Baguet et al., 2015). Le captage s'effectue donc à 27 m, ce qui permet de se situer en dessous  
346 de la thermocline et dans la zone aphotique, qui présente une faible biomasse algale (dires d'un acteur  
347 impliqué dans l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Annecy).

348 Les proliférations planctoniques et les survies de contaminants microbiens sont actuellement les  
349 principales menaces de la fourniture de ce SE, survenant généralement l'été quand la demande en SE  
350 eau potable est la plus élevée du fait de l'augmentation démographique locale induite par les flux  
351 touristiques. La fourniture du SE eau potable peut alors être affaiblie en période estivale, voire nulle  
352 dans le cas de risques sanitaires, comme cela s'est produit à plusieurs reprises sur le lac du Bourget entre  
353 1996 et 2011 du fait de proliférations de cyanobactéries toxiques au niveau de la thermocline (Jacquet  
354 et al. 2005, 2014). L'approvisionnement en eau potable doit alors s'effectuer en exploitant d'autres  
355 sources d'eau autour des lacs, ce qui est peu envisageable dans le cas du lac d'Annecy.

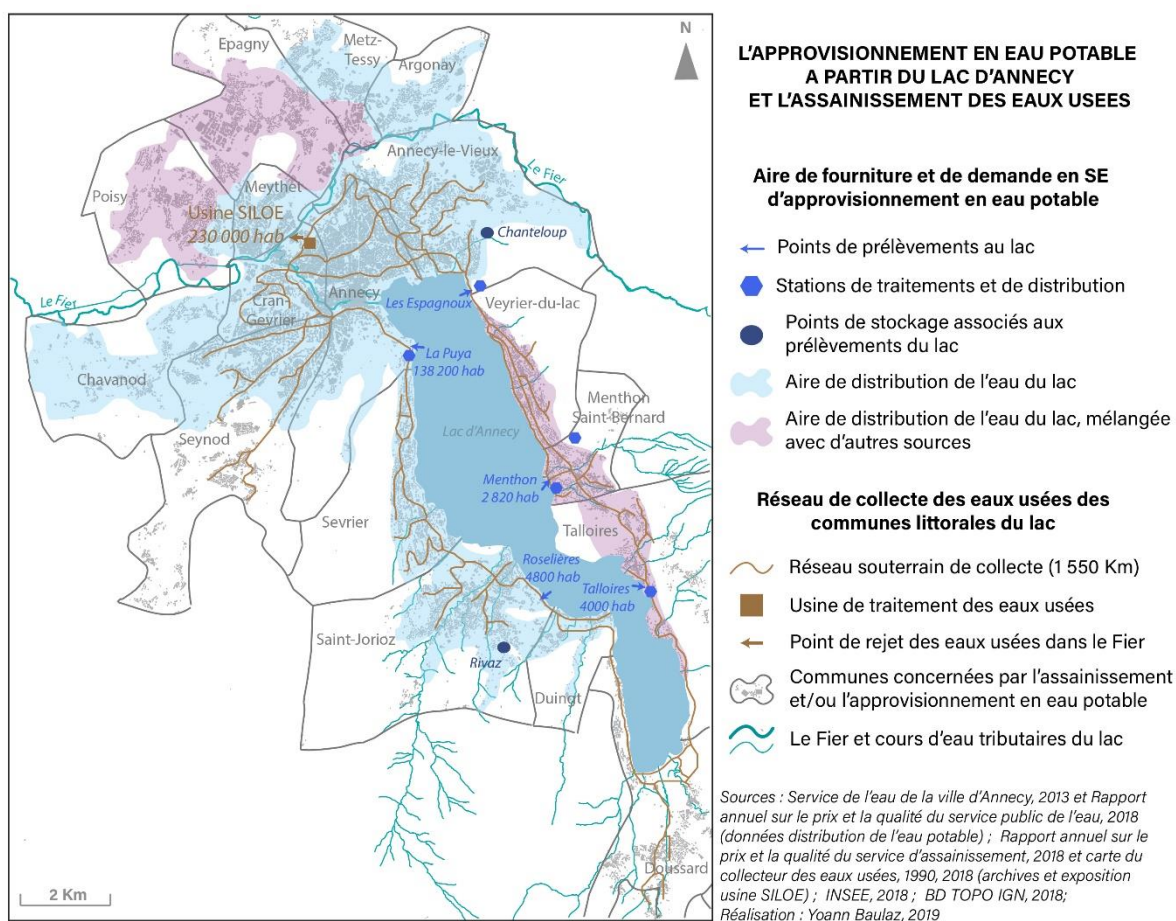
356 Le SE eau potable intervient dans le « petit cycle de l'eau » (en opposition au « grand cycle de l'eau »,  
357 le cycle « naturel de l'eau ») correspondant à l'utilisation de l'eau pour les usages domestiques (Amigues  
358 et Chevassus-au-louis 2011). Le petit cycle se découpe en quatre phases : (1) la potabilisation de l'eau  
359 prélevée dans les milieux naturels (d'autant plus facile et sûre que l'eau est peu polluée), (2) son  
360 acheminement jusqu'aux consommateurs, (3) la collecte des eaux usées et son assainissement avant, (4)  
361 restitution dans le milieu naturel (avec des niveaux de charge polluante suffisamment faible pour  
362 bénéficier des SE de régulation de la qualité de l'eau du milieu récepteur). L'accès au SE eau potable  
363 recouvre l'ensemble des aménagements mis en place pour les deux premières phases de ce cycle, auquel  
364 s'ajoute les mesures de protection de la zone de captage (restrictions d'usage).

365 Pour le lac, les aires de demande de ce service, à savoir les espaces où sont localisés les consommateurs,  
366 correspondent à une partie des communes limitrophes du lac (15 communes pour le lac d'Annecy,  
367 150 000 habitats - figure 2). Les aménagements d'accès au SE eau potable ont généralement une faible  
368 emprise sur le lac et son littoral et peuvent entraîner localement une destruction d'habitats naturels lors  
369 de la construction des infrastructures. Cependant, du fait de l'importance du SE eau potable, les  
370 principaux impacts sur le territoire concernent des restrictions juridiques pour l'ensemble des usages  
371 des lacs et des obligations d'assainissement au sein du BV (Sterner et al., 2020).

372 Ces restrictions concernent notamment la troisième et quatrième phase du petit cycle de l'eau. En effet,  
373 même si les grands lacs peuvent assurer un bénéfice de régulation des eaux usées traitées et d'une partie  
374 des pollutions diffuses (Jenny et al., 2020), leur action n'est pas suffisante et doit être complétée par des  
375 solutions techniques pour assainir les eaux usées. Deux grandes stratégies ont émergé sur les grands lacs  
376 alpins français pour l'assainissement des eaux usées urbaines suite aux intenses épisodes de pollutions  
377 au XX<sup>ème</sup> siècle : (1) la mise en place d'un ensemble de stations d'épuration des eaux usées dans  
378 l'ensemble du BV du lac, puis leur relargage dans les milieux naturels et le lac, ou (2) le détournement  
379 des eaux usées traitées dans le BV, leur épuration en un seul lieu et leur relargage à l'aval du lac. C'est  
380 cette dernière solution qui a été choisie sur le lac d'Annecy, qui a donné lieu à la construction d'une  
381 ceinture de récolte des eaux usées tout autour du lac, leur épuration au sein de l'usine SILOE et le  
382 relargage des eaux usées traitées dans le Fier à l'aval (figure 2). Il résulte de cette situation spécifique

383 que seules des pollutions diffuses ou des rejets accidentels dans le BV peuvent porter atteinte à la qualité  
 384 de l'eau et des milieux lacustres ; ces menaces ne sont néanmoins pas à sous-estimer. Le lac du Bourget  
 385 est un « *entre-deux* » : une partie des eaux est épurée dans le BV, une autre collectée et relarguée dans  
 386 le Rhône à l'aval du lac.

387 Pour caractériser le SE eau potable, il est important d'évaluer la qualité globale de l'eau des grands lacs  
 388 et l'aire de bénéfice du service. Les solutions techniques choisies pour potabiliser l'eau et assurer l'accès  
 389 au SE dépendent fortement de la qualité de l'eau brute, si bien qu'il est intéressant d'associer l'étude du  
 390 SE eau potable avec celle de l'assainissement des eaux usées dans le BV. La question de la variation du  
 391 niveau des lacs n'est pas problématique pour l'instant car elle est régulée artificiellement et les apports  
 392 d'eau sont suffisants pour maintenir tous les usages. Cependant, les dérèglements climatiques pourraient  
 393 modifier les régimes hydriques dans le BV et les apports d'eau au lac, ce qui entraînera à l'avenir des  
 394 antagonismes entre le SE eau potable, l'approvisionnement en eau pour l'hydroélectricité et les SE loisirs  
 395 en période de sécheresse. Ces conflits pourraient même s'étendre au-delà de l'espace limnique et  
 396 concerner les hydrosystèmes à l'aval des grands lacs alpins. Une gestion à long terme de ce SE et  
 397 coordonnée entre les différents territoires de l'eau à l'amont et à l'aval des grands lacs est donc  
 398 nécessaire.



399  
 400 *Figure 2 : Carte de l'approvisionnement en eau potable à partir du lac d'Annecy et l'assainissement*  
 401 *des eaux usées.*

402 La cartographie du SE eau potable au lac d'Annecy (figure 2) met en avant la disjonction spatiale entre  
 403 le BV, espace de contrôle de la qualité de l'eau du lac au travers de l'assainissement et la zone de  
 404 bénéfice du SE eau potable située à l'aval. Cet exemple illustre comment la pression politique et socio-  
 405 économique de l'agglomération annecienne a permis une gestion collective du SE eau potable dépassant

406 le cadre du BV et nécessitant la mise en place de solutions d'assainissement ambitieuses et globales.  
407 Les SE de régulation de la qualité de l'eau du lac permettent alors d'assurer une eau potable de qualité  
408 stable et en quantité pour un très grand nombre de bénéficiaires. Seules quelques communes à l'est du  
409 lac et au nord de l'agglomération annecienne ont la possibilité d'une alimentation mixte en eau potable  
410 à partir du lac et d'aquifères.

## 411 **7.2 Spatialisation de la fourniture du « SE pêche » au lac d'Annecy**

412 La pêche est une activité traditionnelle des grands lacs alpins et l'un des plus anciens usages. Elle est  
413 aujourd'hui pratiquée par des pêcheurs professionnels (2 à Annecy et 11 au lac du Bourget) et plus de 2  
414 500 pêcheurs de loisir (1 200 licences de pêche de loisir à Annecy et 1 500 sur le lac du Bourget). Pour  
415 l'année 2018, les tonnages capturés, toutes espèces confondues, sont environ de 38 t au lac d'Annecy et  
416 de 50 t au lac du Bourget (données issues des rapports de synthèse des suivis écologiques des deux lacs  
417 (Frossard et al. 2018 ; CISALB 2019). Cette activité a une importance forte dans l'économie locale de  
418 par son attrait touristique et son importance dans les représentations associées aux grands lacs. Neuf  
419 espèces cibles de poissons et écrevisses sont recherchées par les pêcheurs avec les salmonidés (le  
420 corégone - *Coregonus albula*, l'omble-chevalier - *Salvelinus alpinus*, la truite lacustre – *salmo truita*) et  
421 le brochet (*Esox lucius*) constituant l'essentiel des captures.  
422

423 Les espèces étudiées sont très dépendantes de la température de l'eau du lac et de la disponibilité en  
424 nourriture, si bien que leurs aires de captures se distinguent suivant un gradient de profondeur de la  
425 colonne d'eau. L'omble-chevalier et la truite lacustre sont des poissons d'eau froide qui se rencontrent  
426 essentiellement en milieu pélagique et benthique à des profondeurs excédant 40 m. Le corégone se  
427 capture en dessous de la thermocline (zone caractérisée par une variation brutale de la température des  
428 eaux - Ramade 1993), à une profondeur variant entre 20 et 40m et le brochet en milieu littoral, depuis  
429 la berge et jusqu'à la thermocline (Frossard et al., 2018). A partir de ces informations, il est possible de  
430 délimiter les zones de répartition théoriques de ces espèces, et de définir les aires de fourniture  
431 potentielle du SE pêche (figure 3).  
432

433 La fourniture potentielle varie dans l'espace en fonction de la concentration et la localisation des stocks  
434 de poissons : certaines portions du littoral ont peu d'intérêt pour la capture du brochet par exemple  
435 (figure 3). Les raisons permettant d'expliquer cette variation des stocks sont difficiles à déterminer et  
436 sont propres à chaque espèce : l'état des zones refuge (herbiers, roselières ...), d'alimentation et de fraie  
437 semblent être les raisons principales (Périal et Vonlanthen 2014), auxquelles peuvent s'ajouter les  
438 pollutions locales et les dérangements ponctuels ou permanents par les activités humaines.  
439

440 A la variabilité spatiale, s'ajoute la variabilité temporelle. Certains secteurs du lac d'Annecy présentent  
441 un intérêt pour la pêche de loisir sur une plus longue période de l'année en raison des déplacements des  
442 bancs de poissons au cours de leur cycle de vie. L'extrémité du « petit lac » entre la Plage de Doussart  
443 et le lieu-dit « *Le Câble* » et la portion à l'ouest du port de Saint-Jorioz, jusqu'aux « *Grands Blancs* »  
444 sont les secteurs où la durée de la période de pêche est la plus favorable à la capture du corégone en  
445 raison d'une stabilisation précoce de la thermocline et d'une proximité des tributaires du lac (figure 3).  
446 La combinaison des variations spatio-temporelles des zones de pêche nous permet de compléter la  
447 cartographie des aires de fournitures potentielles de ce SE pour le corégone.  
448

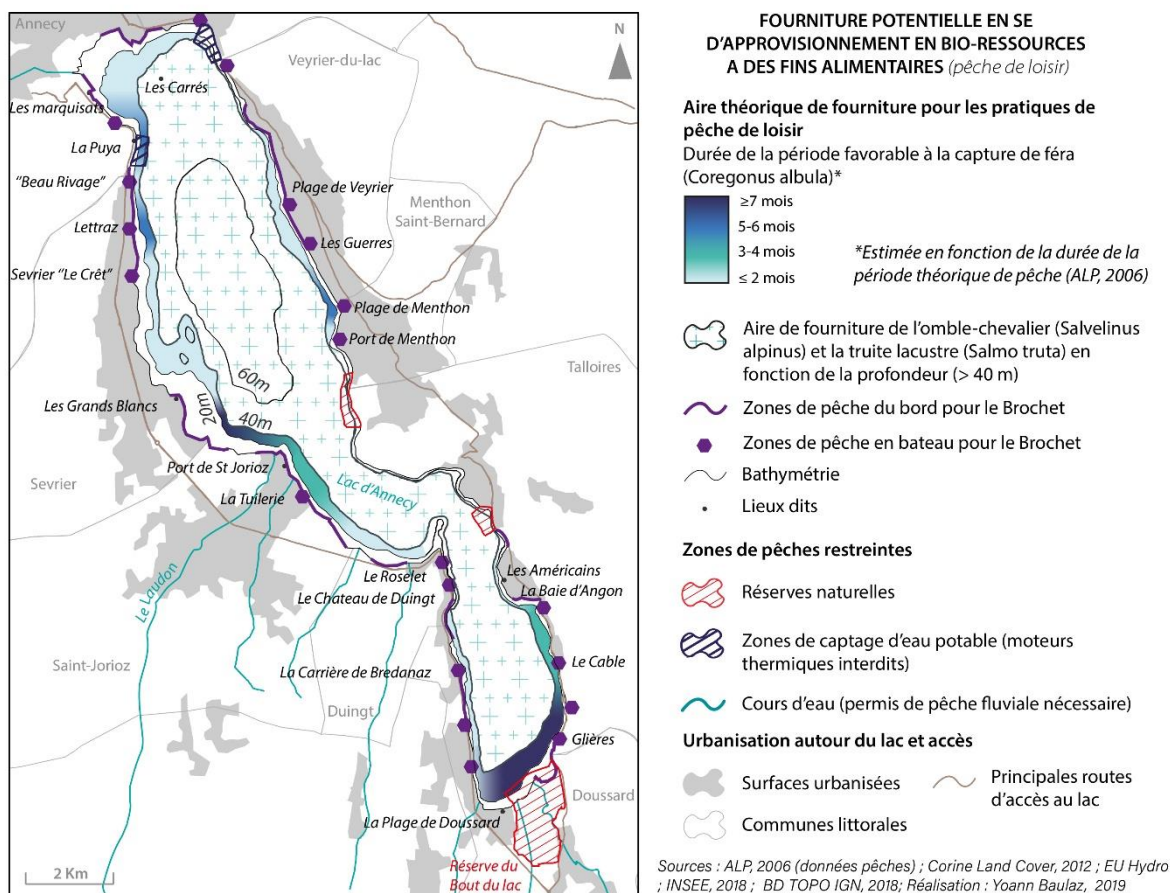
449 La fourniture du SE pêche dépend ainsi fortement des cycles de vie des espèces, de l'état de la  
450 biodiversité, des habitats écologiques et de leur connectivité et des conditions physico-chimiques du  
451 milieu. Elle est donc principalement déterminée par le zonage écologique du plan d'eau du fait que la  
452 zone littorale, la zone pélagique, la zone de surface et la zone benthique présentent chacune des  
453 conditions physiques particulières (lumière, profondeur, pression, température, hydrologie) et des  
454 habitats et espèces emblématiques spécifiques (ex : les roselières, la flore de milieux humides, l'avifaune  
455 en zone littorale, les salmonidés, daphnies en zone pélagique, la méiofaune à l'interface eau-sédiments,  
456 les écrevisses en zone benthique).  
457

458 La fourniture du SE pêche est très variable dans le temps et l'espace du fait que (1) les poissons sont  
459 sensibles aux changements de qualités de l'eau et des milieux, avec une réponse relativement rapide aux  
460 perturbations (selon intensité et nature, immédiate ou de l'ordre pluri-annuelle ou décennale pour les  
461 populations) et (2) que la demande et les pratiques permettant d'accéder au SE déterminent la pression  
462 de pêche et le comportement des pêcheurs. Les enquêtes auprès des pêcheurs mettent en avant que ces  
463 derniers sont notamment capables d'adapter leurs pratiques aux variations des stocks. Ces adaptations  
464 se matérialisent par l'utilisation de pratiques d'ajustement aux diminutions des stocks et aux  
465 perturbations ponctuelles (ex : changement d'engins de pêche), par le report sur d'autres espèces et par  
466 des reports spatiaux (changements de zones de pêche). Ces adaptations peuvent être très rapides, et de  
467 manière contradictoire, sans être soumises à des contrôles elles risquent d'accroître certaines  
468 problématiques, générer de nouveaux impacts et des conflits entre usagers. En conséquence, l'aire de  
469 fourniture du SE pêche peut varier fortement sur certains secteurs d'une année à l'autre.

470

471 Prendre en compte la variabilité spatiale et temporelle du SE pêche est un challenge pour la gestion qui  
472 a pour objectif de maintenir un juste équilibre des stocks des espèces dont les dynamiques complexes  
473 sont multifactorielles. Aux variations pluriannuelles de la ressource en fonction des cycles de vie des  
474 espèces, s'ajoutent les effets des pratiques de pêche qui ont un rôle majeur sur la fourniture du SE. La  
475 gestion de la pêche doit en conséquence toujours rechercher un équilibre entre le respect des enjeux de  
476 la conservation de l'écosystème lacustre pour lequel les poissons et écrevisses ont un rôle fonctionnel  
477 important et la satisfaction de la demande en SE pour les bénéficiaires. Tout ceci suggère la nécessité  
478 d'un suivi scientifique régulier à la fois des stocks de poissons et écrevisses, mais également des  
479 pratiques des bénéficiaires et de leur contrôle. En ce sens, la gestion du SE pêche doit être adaptative et  
480 peut parfois être expérimentale. Elle nécessite un grand degré d'autonomie et d'auto-organisation de ses  
481 parties prenantes à l'échelle locale afin de permettre une organisation de l'action rapide en réponse à  
482 l'évolution de la fourniture, de l'accès et de la demande en SE. La cartographie de ce SE peut être une  
483 base de référence importante à la planification des actions et à la prise de décisions, permettant  
484 d'identifier les secteurs prioritaires à conserver, de s'adapter aux changements de comportement des  
485 bénéficiaires et constituer un outil de dialogue entre pêcheurs et gestionnaires.

486



487  
488 *Figure 3 : Cartographie de la fourniture potentielle du « SE pêche » au lac d'Annecy, d'après les*  
489 *données issues de la pêche de loisir.*

490  
491 De cette carte (figure 3), nous pouvons tirer plusieurs informations principales. Il apparaît que l'état des  
492 habitats naturels littoraux au-dessus de la thermocline, les frayères profondes et la connectivité entre les  
493 différents habitats sont des paramètres à protéger en priorité car ils interviennent fortement dans le cycle  
494 de vie des espèces pêchées. Ensuite au lac d'Annecy, un gradient nord/sud s'observe au niveau de la  
495 fourniture potentielle du corégone. La fourniture est plus importante à l'extrémité sud du lac, à proximité  
496 de la réserve du bout du lac et réduite dans la partie nord, plus urbanisée et fréquentée par les activités  
497 de plaisance, ce qui souligne que les organismes sont sensibles au dérangement par les activités  
498 humaines. Par ailleurs, sur un grand lac, la distance à parcourir pour atteindre des zones de pêche peut  
499 être un frein à l'exploitation de certains secteurs, ou bien nécessiter le recours à des embarcations plus  
500 grosses et plus puissantes. Au lac d'Annecy par exemple, les pêcheurs de loisir se répartissent entre le  
501 « grand lac » (depuis Annecy, jusqu'au lieu-dit « le Roselet ») et le « petit lac » (partie sud du lac à partir  
502 du « Roselet »). Or, les pêcheurs mentionnent une diminution du nombre de places dans certains ports  
503 depuis les années 2000 (ex : ports de Menthon Saint-Bernard, de Doussard) au profit de la plaisance,  
504 une hausse du prix des boucles et une distance plus importante à parcourir sur le lac, limitant leurs  
505 pratiques et modifiant leurs trajectoires de pêche. Nous pouvons émettre l'hypothèse que ce phénomène  
506 limite l'accès au SE dans certains secteurs et peut favoriser une plus forte concentration des pêcheurs de  
507 loisir à proximité de certains ports et une augmentation de la pression de pêche localement (Doussard,  
508 Annecy, Sévrier). La sur-fréquentation du lac d'Annecy par l'ensemble des usagers est une autre  
509 problématique limitant l'accès au SE pêche en période estivale, notamment dans le « grand lac ». La  
510 gestion des pêches doit en conséquence veiller à un équilibre entre la capacité d'accès au SE dans  
511 certains secteurs et la fourniture potentielle locale du service.

512  
513 **7.3 Spatialisation de la fourniture et de l'accès au « SE loisirs » au lac du Bourget**

514 La spatialisation du SE loisirs est plus difficile à établir du fait que ce service dépend à la fois de  
515 caractéristiques biophysiques du lac, de l'influence de celles-ci sur les paysages environnants, de leurs  
516 représentations par les bénéficiaires et des aménagements d'accès au SE. Nos enquêtes révèlent  
517 également qu'il existe une grande diversité de pratiques socio-culturelles associées aux grands lacs  
518 alpins entretenant des rapports divers avec les milieux naturels. Ces pratiques mobilisent des outils et  
519 aménagements spécifiques pour accéder au SE et en tirer profit. Chacun de ces aménagements peut avoir  
520 des effets sur les autres SE et générer des conflits entre bénéficiaires (avec la pêche notamment). La  
521 cartographie de ce SE sur et autour des lacs doit alors chercher à prendre en compte ces différents  
522 paramètres et notamment la variabilité spatiale de chaque pratique socio-culturelle.

523 Les enquêtes auprès des représentants d'usagers montrent deux grands types de rapports au lac par les  
524 pratiques socio-culturelles : (1) les pratiques nécessitant un contact physique avec le lac et utilisant le  
525 « lac comme support », (2) les pratiques contemplatives recherchant un cadre paysager à admirer ou une  
526 mise en scène à leurs pratiques et se servant du « lac comme décor ». Certaines pratiques de loisirs  
527 terrestres (ex : randonnée, cyclisme) ou aériennes (ex : parapente, ULM) sont alors favorisées par la  
528 présence d'un lac au sein du paysage. Dans les faits, le rapport « pratiques socio-culturelles - grands  
529 lacs » doit être considéré comme un continuum d'intensité d'utilisation du lac préférentiellement comme  
530 support ou comme décor, certaines activités mobilisant les deux rapports (la navigation de plaisance par  
531 exemple).

532 L'aire de fourniture potentielle du SE loisirs varie alors selon ces deux grands types de pratiques. Elle  
533 correspond à la délimitation *stricto sensu* de la cuvette lacustre pour les pratiques utilisant le lac comme  
534 support (figure 4, A) et à l'aire de vue sur le lac pour les pratiques utilisant le lac comme décor (figure  
535 4, B). L'aire de vue est liée à la topographie des reliefs autour des lacs, la forme des cuvettes lacustres  
536 et la présence de structures végétales ou anthropiques qui peuvent restreindre cette vue.

537 Les espaces de fourniture du SE loisirs n'ont pas le même attrait suivant les pratiques socio-culturelles :  
538 certains espaces présentent des caractéristiques biophysiques répondant à des demandes spécifiques. Il  
539 en résulte la présence de zones privilégiées pour la pratique de chaque activité. Par exemple, les plages  
540 permettent la détente et le ressourcement, la pratique d'activités sportives, ou favorisent les liens  
541 sociaux ; les sites palafittiques sont des vestiges d'anciennes cités lacustres, vecteurs de valeurs  
542 d'héritage, supports de mémoire et de sensibilisation à l'histoire locale, et les sites de vue sur le lac et  
543 de départ de vol libre représentent des espaces ouverts où il est possible de pratiquer certaines activités  
544 sportives comme le parapente ou la contemplation des paysages, la sensibilisation à l'environnement, la  
545 photographie.

546 Les bénéficiaires du SE loisirs s'organisent ainsi au sein de l'espace limnique en fonction des sites  
547 privilégiés pour leurs pratiques. Le sud-ouest du lac du Bourget et le littoral à proximité de Aix-les-  
548 Bains sont les secteurs les mieux aménagés pour l'accueil des pratiques utilisant le lac comme support  
549 (figure 4, A) et certains points de vue dégagés surplombant le lac comme le Col du Chat, le Mont Revard  
550 et le Col du Sapenay sont des sites prisés des pratiques utilisant le lac comme décor (figure 4, B). Les  
551 sites privilégiés des différentes pratiques peuvent se superposer, entraînant la concentration d'un grand  
552 nombre de bénéficiaires sur certains secteurs des grands lacs, pouvant potentiellement générer des  
553 conflits.

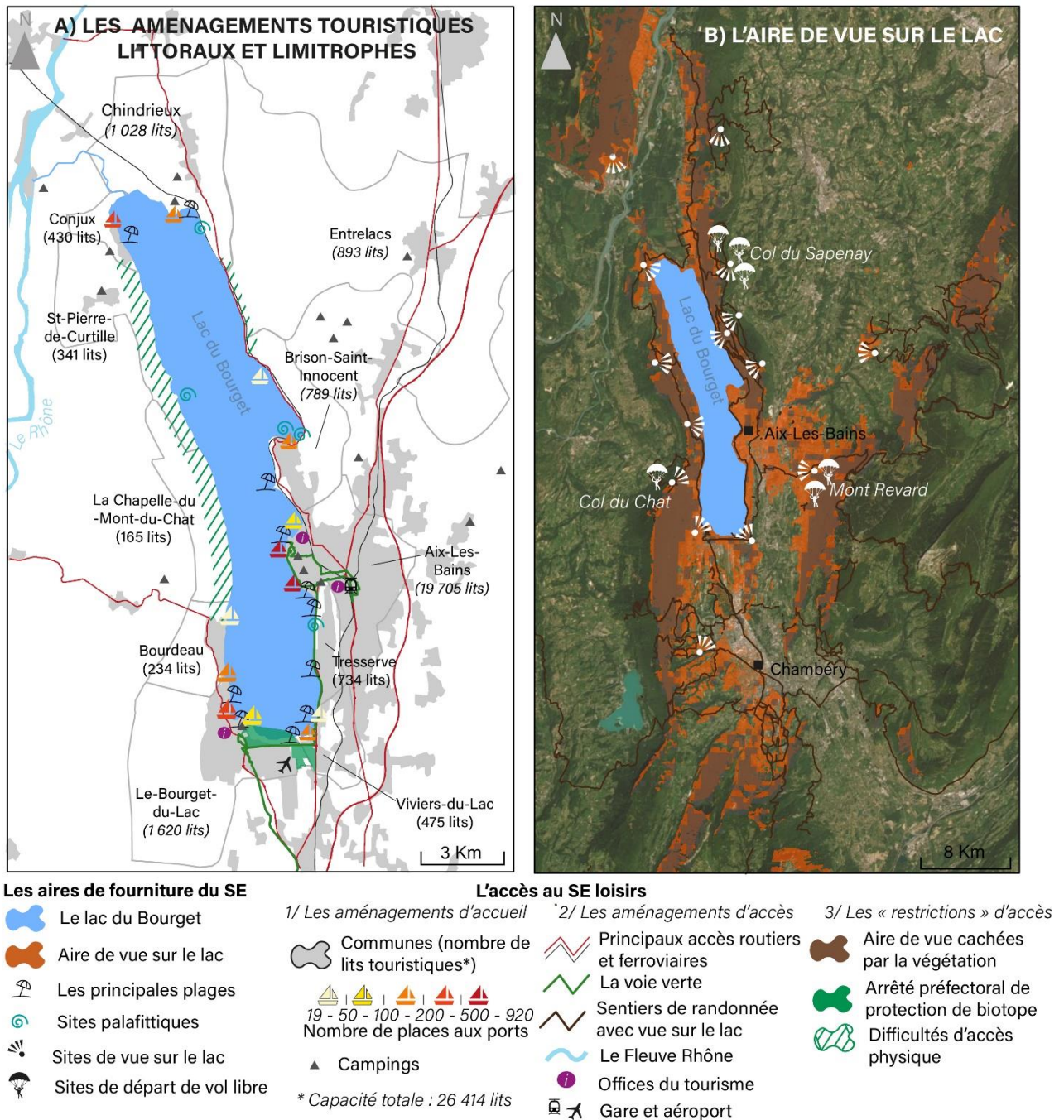
554 L'influence de ce SE sur le limnosystème va bien au-delà du plan d'eau car il attire des bénéficiaires à  
555 l'échelle régionale, voire européenne. L'accès au SE est alors une variable essentielle à prendre en  
556 compte pour caractériser ce SE. Elle peut être cartographiée en considérant trois critères (figure 4) : (1)  
557 les aménagements d'accueil des bénéficiaires, à la fois sur le lac et le littoral (places dans les ports,  
558 étendue des plages, parkings ...) et dans l'espace limnique avec les sites aménagés pour les pratiques  
559 utilisant le lac comme décor (ex : sites de départ de vol libre, sites de vue sur le lac, chemins de  
560 randonnée) et les hébergements touristiques, (2) les aménagements d'accès permettant le déplacement  
561 des bénéficiaires jusqu'aux aires de fourniture (réseaux de transport, pistes cyclables) et pour informer



562 les bénéficiaires sur les potentialités du territoire en matière de pratiques socio-culturelles, (3) les  
563 restrictions d'accès, à savoir les espaces où la fréquentation est limitée du fait des conditions physiques  
564 (ex : la côte sauvage à l'ouest du lac du Bourget est difficile d'accès de par la topographie) ou  
565 réglementaires (espaces protégés, limitation d'usage pour ne pas compromettre d'autres SE).

566 La gestion du SE loisirs doit s'intéresser à l'ensemble des pratiques socio-culturelles car elles vont  
567 générer des effets sur le limnosystème qu'il est important de comprendre et de maîtriser. Pour de futures  
568 études sur les SE des grands lacs alpins et pour une gestion globale de ce SE, nous recommandons de  
569 différencier les pratiques utilisant le lac comme support et comme décor du fait que leur espace de  
570 gestion et leurs effets sur le territoire diffèrent. Des impacts directs sur les écosystèmes lacustres par les  
571 pratiques utilisant le lac comme support s'observent au travers d'un dérangement de la faune, une  
572 destruction de certains habitats et l'émission de déchets et de pollutions locales (ex : peintures biocides  
573 « antifouling », crèmes solaires). Pour l'espace limnique, tendanciellement, l'attrait pour le SE loisirs  
574 engendre une augmentation démographique saisonnière ou continue, conduisant à une saturation de  
575 certains espaces du plan d'eau, des lieux touristiques à proximité, des réseaux de transport, une  
576 urbanisation à usage saisonnier et à un surplus de pollutions ponctuelles (à traiter) et diffuses (non  
577 maîtrisables) dans le BV et sur le littoral. Cela souligne l'importance d'une gestion systémique et  
578 anticipative prenant en compte les interactions entre services et capable d'anticiper l'évolution des  
579 pratiques socio-culturelles, ainsi que la demande en SE. Une veille sur ces différents éléments semble  
580 nécessaire, ce qui ferait appel à une gestion à l'échelle du limnosystème dans son ensemble, et non plus  
581 focalisée seulement sur le périmètre du BV et du plan d'eau. La spatialisation des aires de fourniture, de  
582 demande et des modalités d'accès au SE peut être un outil de définition des limites administratives  
583 géographiques du limnosystème et de planification spatiale importante pour ce SE.

**LES AMÉNAGEMENTS TOURISTIQUES ET L'AIRE DE VUE SUR LE LAC DU BOURGET :  
DEUX COMPOSANTES MAJEURES DE L'ACCÈS AUX SE CULTURELS**



Sources : A) A partir de Duclos, 2018 ; BD TOPO 2018 ; CorineLandCover, 2012 ; INPN, 2018 ; SMBT, 2018 ; INSEE, 2018 ; B) BD ORTHO 2018 ; BD Alti ; PDIPR 73 et 74. Réalisation : Yoann Baulaz, 2019

584

585 *Figure 4 : Les aménagements touristiques et l'aire de vue sur le lac du Bourget : deux composantes*  
586 *majeures de l'accès au « SE loisirs ».*

587 La carte en figure 4 met en avant une spécificité propre au lac du Bourget par rapport au lac d'Annecy au  
588 niveau de son accessibilité : environ 37% du littoral du lac est inaccessible (16 km sur 44 km de  
589 périmètre du lac) pour des raisons physiques ou normatives. Cela participe à la perception d'un lac  
590 « préservé, naturel », mais indirectement entraîne une concentration accrue des activités humaines dans  
591 la partie sud et est du lac avec des risques plus forts d'atteintes aux écosystèmes et de conflits d'usages.  
592 Cela étant, on peut observer que (1) l'accès aux SE loisirs est organisé autour de deux pôles majeurs,  
593 desservis par un grand nombre d'aménagements et de réseaux de transports et (2) la volonté de maintenir

594 une zone de protection de biotope au sein de cet espace. L'enclavement du lac dans un relief de  
595 moyennes montagnes est un autre avantage car il permet de profiter d'une large aire de vue, notamment  
596 sur les hauteurs d'Aix-les-Bains où l'agriculture permet le maintien de paysages ouverts. Cette aire de  
597 vue procure ainsi des paysages qui s'étendent sur différents plans : le littoral, le plan d'eau, les reliefs et  
598 massifs de moyenne montagne et le ciel, ce qui participe à l'attrait de la mosaïque paysagère associée  
599 au lac. A ce titre, l'aire de vue étendue est une spécificité des lacs de montagne et de piedmont, qui  
600 confère à ces écosystèmes un accès étendu à certains SE : l'installation de bancs et l'aménagement de  
601 belvédères autour et en surplomb des lacs rendent accessible la fourniture en SE loisirs pour les pratiques  
602 contemplatives. Ceci confirme que le relief est un paramètre important à prendre en compte dans l'étude  
603 de l'accès au SE loisirs des grands lacs (Syrbe et Walz 2012).

#### 604 **3.4 Les paramètres transversaux déterminants de la spatialisation des services écosystémiques** 605 **lacustres**

606 Les différentes cartographies des SE des grands lacs alpins montrent une grande diversité de patrons  
607 spatiaux des aires de fourniture, de demande et de l'accès aux SE et qui se distribuent en fonction de  
608 quatre paramètres principaux : la qualité de l'eau et des habitats naturels, les évolutions de pratiques, la  
609 morphologie de la cuvette lacustre, du littoral et des reliefs autour des lacs et les modalités d'accès.

610 Concernant la spatialisation de l'aire de fourniture, celle-ci correspond à la cuvette lacustre. La  
611 fourniture en SE se spatialise en fonction de la zonation écologique lacustre, des conditions physico-  
612 chimiques et du cycle de vie des espèces. La qualité écologique des habitats naturels est un paramètre  
613 déterminant le potentiel de fourniture en SE des grands lacs et sa variabilité spatio-temporelle. La  
614 destruction des habitats par certaines pratiques et aménagements visant à tirer profit des SE lacustre est  
615 alors importante à considérer. Elle réalise une rétroaction négative entre les pratiques permettant  
616 d'accéder à certains services et les effets indirects que cela entraîne sur d'autres SE. Le BV constitue un  
617 autre forçage majeur à considérer dans l'évaluation, du fait qu'il détermine en partie la qualité de l'eau  
618 dans les lacs et donc la qualité des SE de régulation qui soutiennent la fourniture des autres catégories  
619 de services.

620 La demande, quant à elle, est influencée à la fois par la qualité et la quantité de la fourniture en SE  
621 recherchée par les bénéficiaires et les évolutions de pratiques. Dans une étude sur les SE rendus par les  
622 lacs dans le monde, Allan et al. (2017) ont observé que les bénéficiaires principaux des SE rendus par  
623 les plans d'eau sont situés dans une zone inférieure à 10 Km de celui-ci. Ceci étant, nous observons que  
624 l'étendue de l'aire de demande est très variable suivant les SE. Pour le SE eau potable par exemple,  
625 celle-ci est située accolée aux grands lacs alpins et concentrée au niveau des principaux pôles urbains.  
626 Sa limite s'étend jusqu'à 7,4 km du lac d'Annecy au maximum au niveau des limites communales de  
627 Chavanod (figure 2). Pour le SE pêche, il convient de localiser les espaces de consommation du poisson  
628 pêché par les pêcheurs professionnels et de loisirs. Elle s'étend donc à l'échelle régionale, vu que les  
629 poissons des lacs d'Annecy et du Bourget sont vendus jusqu'à Lyon par certains pêcheurs professionnels  
630 (dires de pêcheurs professionnels), mais pourrait s'étendre au-delà en considérant l'ensemble des  
631 bénéficiaires indirects du SE pêche (Drakou et al. 2018). Cependant, cette aire de demande peut même  
632 s'étendre théoriquement à la limnosphère (à l'échelle mondiale) pour les SE culturels, ce qui rend  
633 difficile d'établir ses limites exactes, d'autant plus qu'elle est fortement associée à des informations  
634 subjectives relatives aux représentations des lacs et propres à chaque bénéficiaire. Ceci étant, cette aire  
635 de demande en SE culturels peut être « promue » par les acteurs du tourisme et les collectivités locales  
636 (opérations visant à mettre en avant le territoire et les SE dans les médias, réseaux sociaux et par la  
637 promotion touristique), ce qui peut aider à identifier les principaux foyers de provenance des  
638 bénéficiaires à l'échelle régionale et au-delà.

639 Par ailleurs, tout comme la fourniture, la demande est variable dans le temps, en fonction des flux  
640 saisonniers de bénéficiaires et de l'apparition ou la disparition de certains besoins et pratiques socio-

641 culturelles au fil du temps (ex : apparition de la pratique du paddle dans les lacs au début des années  
642 2000, disparition du besoin de laver le linge avec l'eau des lacs dans les années 1950).

643 Les modalités d'accès aux SE des lacs dépendent de la morphologie de la cuvette lacustre et des reliefs  
644 autour et a une importance forte notamment pour les SE culturels, du fait de l'influence de ce paramètre  
645 sur la vue et la perception du territoire. Au-delà de ces facteurs géomorphologiques, l'accès aux SE est  
646 une variable modulable par les bénéficiaires des SE. Certains bénéficiaires sont capables d'adapter leurs  
647 pratiques aux variations de la fourniture, pour éviter le risque de déséquilibrer le rapport  
648 fourniture/demande en SE. Dans le cadre du SE pêche, des phénomènes de sur-pêche peuvent alors  
649 émerger localement. Il en est de même pour le SE loisirs où des effets néfastes d'une sur-fréquentation  
650 du lac et de son littoral peuvent impacter les écosystèmes et les autres usages des lacs. La gestion de  
651 l'accès aux SE joue ici un rôle crucial pour la durabilité du limnosystème. Les collectivités territoriales  
652 et gestionnaires des grands lacs peuvent également accentuer ou limiter l'accès aux SE par la  
653 construction d'infrastructures, aménagements anthropiques, par la promotion du territoire et la  
654 réglementation. A ce titre, le littoral lacustre marque la rupture entre l'espace terrestre et l'espace  
655 lacustre, elle se situe à l'interface entre les aires de fourniture et la demande de nombreux SE et de ce  
656 fait, est la plus convoitée et aménagée (Corlay, 1995). Cette zone apparaît alors comme un espace à  
657 enjeu majeur pour la préservation des SE au travers de la régulation de l'accès et de ses fonctions de  
658 régulations biotiques.

659 Ce dernier point met en avant une limite que souligne bien la décomposition des phénomènes socio-  
660 écologiques permise par le concept de SE. En effet, la nécessité d'aménagement d'accès à certains SE  
661 peut entraîner une situation paradoxale où, plus un espace lacustre est aménagé, plus la demande en SE  
662 sera forte. Cependant, à long terme, la mise en place d'aménagements d'accès au SE peut provoquer  
663 une perte de perception du caractère naturel d'un écosystème, de mettre en péril l'aire de fourniture des  
664 SE et de générer des antagonismes. Cette « dénaturation » (Brunet et al., 1992) du lac conduit, sur le lac  
665 d'Annecy, à une sur-fréquentation du plan d'eau, une saturation des berges, des plages, des routes et une  
666 artificialisation majeure du littoral (Nikolli, 2018). Une telle évolution du littoral va à l'encontre des  
667 enjeux de la conservation des espaces naturels et est une préoccupation majeure des gestionnaires. Le  
668 lac du Bourget est en partie protégé par une difficulté d'accès à une portion importante du littoral, mais  
669 cela ne limite par les risques de saturation du littoral sur d'autres secteurs.

670 D'un point de vue méthodologique, la cartographie des services lacustres devrait donc toujours  
671 considérer l'accès aux services, permettant d'analyser l'imbrication des influences entre les aires et les  
672 spécificités de l'écosystème déterminant l'état des services et les espaces et les processus largement  
673 influencés par les SE.

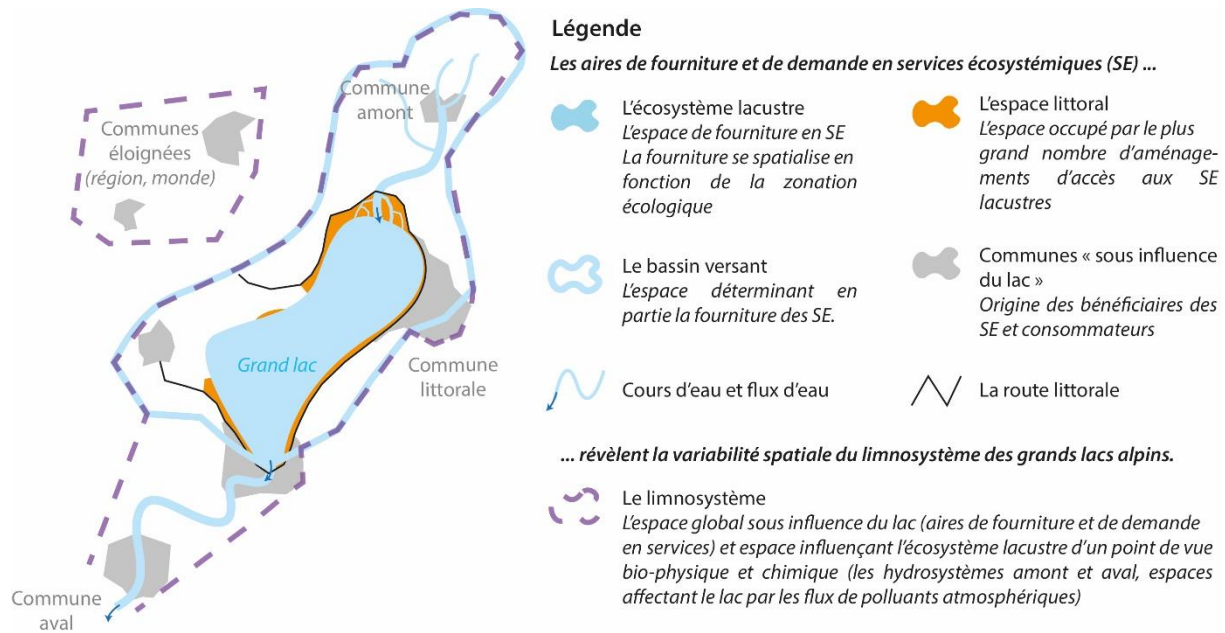
### 674 **3.5 Les variabilités spatiales des limnosystèmes des grands lacs alpins révélées par les services** 675 **écosystémiques**

676 L'ensemble des informations sur la spatialisation des SE lacustres nous permettent de modéliser de  
677 manière théorique le limnosystème des grands lacs et d'envisager ses composantes et limites (figure 5).  
678 Au niveau spatial, le limnosystème représente le système global comprenant à la fois les espaces sous  
679 influence du lac, les espaces influençant le fonctionnement limnologique et les interactions entre ces  
680 deux ensembles. Ces influences se manifestant par des modifications des écosystèmes et des sociétés  
681 reliées au lac par des flux bio-physiques, chimiques et des flux de services.

682 En suivant l'approche par les SE, les espaces sous influence du lac correspondent aux aires de fourniture  
683 en SE (la cuvette lacustre), aux aires de demande (lieux d'export et de consommation des SE  
684 d'approvisionnement, origine des bénéficiaires des SE culturels, localisation des bénéficiaires des SE  
685 de régulation) et l'aire de vue sur le lac rendant accessible la fourniture des SE culturels à proximité du  
686 plan d'eau et depuis les reliefs. Les espaces influençant le fonctionnement limnologique représentent les  
687 hydrosystèmes à l'amont, à l'aval du plan d'eau et les ensembles pouvant affecter l'écosystème lacustre

688 par l'atmosphère (ex : les PCB mesurés dans le lac d'Annecy sont originaires de sites éloignés non  
689 présents dans le BV (Reignier et al. 2015)) et le climat local (ex : massifs pré-alpins).

690 La forme du limnosystème des grands lacs alpins correspond alors à la juxtaposition de ces espaces,  
691 certains n'étant pas directement adjacent au lac et pouvant être détachés du « cœur du limnosystème »  
692 constitué du lac et des communes adjacentes (figure 5). Enfin, du fait de la dynamique spatio-temporelle  
693 des services et des flux bio-physiques et chimiques affectant l'écosystème lacustre, ce limnosystème et  
694 ses composantes sont évolutives dans le temps et l'espace.



695

696 *Figure 5 : Modélisation théorique du limnosystème des grands lacs alpins à partir des enseignements*  
697 *retirés de la spatialisation des services écosystémiques des grands lacs alpins.*

698 L'intégration de l'ensemble des espaces influencés par et influençant le lac est représentative de la  
699 complexité du limnosystème des grands lacs alpins et des difficultés de son monitoring et de sa gestion.  
700 L'intérêt opérationnel du couplage « spatialisation des SE – modélisation du limnosystème » serait de  
701 pouvoir redéfinir le périmètre de gestion des grands lacs en identifiant les espaces à enjeux de gestion  
702 des SE, c'est-à-dire les aires de fourniture soumises à des perturbations anthropiques, les secteurs  
703 bénéficiant d'un accès aux SE non maîtrisé et où le rapport fourniture/demande est déséquilibré. Cette  
704 approche pourrait montrer l'importance d'une gestion intégrée des systèmes lacustres, considérant le  
705 multi-services, l'imbrication des échelles spatiales et des processus écosystémiques et sociétaux  
706 associant le grand lac à la société. Ces apports viendraient soutenir les choix de gestion, pourraient aider  
707 à l'identification de compromis et permettrait de prendre en compte les évolutions écologiques et  
708 sociétales en cours et à venir pour les intégrer dans les plans de gestion (Dee et al., 2017). Une telle  
709 conception des rapports entre le grand lac et la société suppose l'intégration d'indicateurs et méthodes  
710 à la fois biophysiques, socio-économiques et culturelles et suppose une réorganisation des observatoires  
711 et de la gouvernance des grands lacs, actuellement basée sur une approche de suivi biologique et  
712 physico-chimique du plan d'eau et des flux d'eau et de matières entrant aux lacs.

#### 713 4. DISCUSSION – CONCLUSION

714 Cette étude met en avant que les SE des grands lacs alpins se spatialisent en fonction d'une aire de  
715 fourniture, de demande et des aménagements d'accès permettant et organisant les connexions entre ces  
716 deux aires. Ces résultats corroborent avec ceux de Syrbe et Walz (2012) qui précisent qu'il est primordial  
717 de considérer l'accès aux SE dans la cartographie des SE. Le travail d'enquête et l'analyse  
718 cartographique nous ont permis également de définir un ensemble de paramètres transversaux

719 déterminant la spatialisation de ces services lacustres et de proposer une modélisation du limnosystème  
720 des grands lacs alpins. Ces différents éléments nous permettent d'envisager en discussion une réflexion  
721 méthodologique relative aux verrous de la cartographie des SE révélés par cette étude, et de proposer  
722 un ensemble d'indicateurs et de méthodes pouvant être utilisées pour appliquer le concept de SE aux  
723 grands lacs et compléter notre approche. Nous discutons enfin des apports du concept de SE à la  
724 géographie limnologique et à la gouvernance des grands lacs alpins.

#### 725 **4.1 Discussion méthodologique : les verrous de la cartographie des SE des grands lacs**

726 La cartographie des SE a été testée sur un grand nombre d'écosystèmes planétaires, mais essentiellement  
727 en milieu terrestre au moyen de logiciels de Système d'Information Géographique (SIG) utilisant des  
728 données d'occupation des sols ou de la télédétection (Burkhard et al., 2012). Certains modèles  
729 informatiques standardisés sont également apparus pour cartographier ces SE (ex : le logiciel INVEST  
730 - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs). La spatialisation des SE en milieux  
731 aquatiques reste néanmoins une approche peu développée du fait de la difficulté imposée par le milieu  
732 liquide pour spatialiser des phénomènes qui l'affecte et qui par nature sont mobiles et en « trois  
733 dimensions ».

734 La cartographie des SE lacustres doit faire face à plusieurs difficultés. Bien que très opérationnelle, la  
735 carte ne permet pas une compréhension fine des processus socio-écosystémiques élémentaires qui sous-  
736 tendent la production des SE (Dee et al., 2017). La carte est par définition une « représentation partielle  
737 ou complète de la surface terrestre sur un support plan » (Le Clec'H et al., 2019). L'outil carte est ainsi  
738 un modèle réduit qui utilise des signes, des projections, une échelle, une orientation pour représenter la  
739 distribution spatiale de phénomènes (Brunet et al., 1992), et révèle certaines organisations et processus  
740 socio-écosystémiques lacustres qui sont pour partie non visibles. La cartographie peut ainsi visualiser  
741 certains gradients non délimités dans l'espace (ex : densité de poissons dans un lac, état des habitats  
742 naturels), issus d'une association de processus internes à l'écosystème lacustre (ex : les cycles  
743 biogéochimiques, les interactions biotiques, l'hydrodynamisme), liant le lac à son BV (ex : impacts  
744 d'une pollution sur les SE), à son socio-système (ex : flux touristiques, exportations de biens) ou encore  
745 de phénomènes intangibles (ex : densité d'éléments paysagers avenants). Tout l'enjeu de la carte est  
746 d'utiliser l'ensemble de ces éléments pour obtenir une représentation plane la plus précise et complète  
747 d'une réalité complexe.

748 Par ailleurs, dans les lacs il existe des interactions fortes entre les différents types de services et soumises  
749 à une forte variabilité spatio-temporelle qu'il est parfois difficile de prendre en compte dans la  
750 cartographie. Les SE étudiés dans cette étude sont en interaction avec quelques services majeurs des  
751 grands lacs alpins : (1) les SE de régulation déterminant la qualité des eaux et des milieux lacustres, (2)  
752 le SE d'interactions spirituelle, symbolique et autres avec les lacs (le « SE image »). Bien que peu  
753 étudiés par rapport aux autres types de SE (Keeler et al., 2012), les SE de régulation sont déterminants  
754 pour la fourniture des SE dits « biotiques » (CICES, 2018). De nombreux bouquets associant les SE de  
755 régulation avec les SE d'approvisionnement (comme les SE pêche et SE eau potable) et culturels se  
756 composent autour de ces relations. Un maintien d'une fourniture importante des SE de régulation des  
757 qualités de l'eau et des milieux permet à la fois (1) de favoriser la productivité des écosystèmes et de  
758 satisfaire les demandes des bénéficiaires, (2) de limiter la mortalité des bio-ressources du fait de  
759 pathologies et (3) de réduire les risques sanitaires. Le lac du Bourget a notamment été affecté par la  
760 présence hors normes de PCB dans la chair des poissons et le développement ponctuel de bactéries  
761 envahissantes toxiques (blooms), obligeant les autorités à limiter la taille des poissons capturés (toujours  
762 en vigueur), à interdire la pêche de l'omble-chevalier et du corégone, à fermer certaines plages et à  
763 mobiliser d'autres sources que le lac pour l'alimentation en eau potable. De telles atteintes aux lacs sont  
764 lourdes en conséquences socio-économiques et questionnent sur la quantité d'eau potable disponible  
765 dans les nappes phréatiques à proximité des lacs (Jacquet et al. 2014).

766 Un autre SE d'importance pour le limnosystème est le SE culturel d'interactions spirituelles,  
767 symboliques et autres avec les grands lacs : « le SE image ». La caractérisation de ce SE est difficile car  
768 elle nécessite l'analyse d'un grand ensemble de valeurs socio-culturelles intangibles associées aux  
769 grands lacs alpins (valeurs esthétiques, d'héritage, spirituelles, le sentiment d'appartenance, les relations  
770 sociales ...) et la mobilisation d'enquêtes anthropologiques. Les demandes en SE d'approvisionnement  
771 et le SE loisirs sont pourtant très influencées par ce SE qui influe sur l'attractivité du lac d'un point de  
772 vue des bénéficiaires. Ce SE a également une place importante dans la prise de décision et la prospective  
773 afin d'envisager l'avenir d'un territoire (Blouin-gourbillière 2013).

774 Fortement lié à la perception des bénéficiaires, la fourniture du SE image est dépendante de l'état des  
775 autres SE des grands lacs, mais également de l'évolution des modes de vie qui influe sur le  
776 comportement des bénéficiaires et le choix de leurs pratiques (ex : mécanisation de certaines pratiques  
777 d'approvisionnement en eau potable, de pêche, apparition de nouvelles pratiques socio-culturelles, effets  
778 de mode). L'accès à ce SE est alors difficile à établir spatialement car il est défini en partie par le  
779 sentiment d'appartenance au limnosystème, ainsi qu'aux opérations visant à mettre en avant ce système  
780 dans les médias, réseaux sociaux et parla promotion touristique.

781

782

783 Une dernière difficulté de la cartographie est liée à la nécessité d'agréger des données multiples et pas  
784 forcément additives. Caractériser la fourniture, l'accès ou la demande en SE mobilise toujours des  
785 données diverses et de différentes natures, ce qui questionne la manière d'agréger les informations et de  
786 les comparer. Pour cette raison, l'évaluation des SE est souvent accompagné d'un fort niveau  
787 d'incertitude qui nécessite une validation des données produites (Locatelli et al., 2017).

788 Ces verrous soulignent l'importance des choix méthodologiques. Ces choix ne sont pas sans  
789 conséquences : les représentations qui en résultent véhiculent une façon de voir et d'analyser les  
790 phénomènes (Le Clec'H et al., 2019). Le cartographe et son commanditaire opèrent leurs choix  
791 essentiellement en se référant à la multitude de méthodes de modélisation cartographique des SE  
792 disponibles et à la variété des sources mobilisables. Ils doivent être fortement réfléchis en amont de tout  
793 travail cartographique. Pour d'autres écosystèmes terrestres et aquatiques, pour faire face aux  
794 incertitudes et au manque de données spatialisées, de nombreuses études privilégient la cartographie des  
795 « bouquets » de SE (Crouzat 2015; Ferrari et al. 2016; Raudsepp-Hearne et al. 2010), approche  
796 permettant d'analyser les potentiels synergies et antagonismes entre services et d'identifier les zones à  
797 enjeux prioritaires de gestion.

#### 798 **4.2 Les données mobilisables pour une cartographie des SE des grands lacs**

799 Cartographier la fourniture en SE pêche nécessite des données de paramètres physico-chimiques (qualité  
800 des eaux), sur l'état des habitats lacustres et des données sur les stocks de poissons et autres populations  
801 prélevées. Du fait d'un manque de certaines informations, nous avons dû spatialiser la fourniture  
802 potentielle de ce SE sur le lac d'Annecy en se basant sur des données d'enquêtes auprès des bénéficiaires  
803 du SE (pêcheurs professionnels et de loisir), couplées avec des données physiques sur les habitats des  
804 principales espèces pêchées. La variabilité de la qualité des eaux joue peu dans un lac aussi homogène  
805 en termes de qualité d'eau comme le lac d'Annecy. Pour approfondir cette démarche et obtenir une  
806 cartographie de la fourniture effective de ce SE, des données de terrain cartographiées sur les stocks de  
807 poisson pourraient être mobilisées.

808

809 Les composantes de l'accès et de la demande du SE pêche, à savoir les pratiques et caractéristiques des  
810 engins de pêche, le nombre de bénéficiaires (pêcheurs professionnels et de loisir) et les modes de  
811 consommation des ressources sont également des variables importantes à monitorer. L'aire de demande  
812 effective pourrait être obtenue en utilisant à la fois des informations contenues sur les licences de pêche  
813 pour renseigner sur la provenance des pêcheurs de loisir et des données sur les lieux de consommation

814 et d'export des produits pêchés par les professionnels. A noter que la cartographie des « captures par  
815 unités d'effort de pêche » pourrait être capable de renseigner sur le nombre et les types d'engins utilisés  
816 par les pêcheurs, rapportés aux tonnages capturés, ce qui peut être un indicateur intéressant pour évaluer  
817 l'accès au SE. A cette fin, une étude de l'UMR CARTEL (INRAE) mobilisant une démarche  
818 participative impliquant les pêcheurs de loisir est en cours sur le lac d'Annecy. Cette étude permettra de  
819 valider les informations sur la fourniture potentielle du SE.

820  
821 Pour caractériser le SE loisirs, nous avons mis en avant la nécessité d'identifier les sites privilégiés par  
822 chaque pratique socio-culturelle associée à ce SE pour identifier les aires de fourniture. Nous avons  
823 également vu qu'il était essentiel d'étudier les aménagements et infrastructures mises en place pour  
824 accéder à ces différentes aires. Une cartographie de l'aire de vue a également été réalisée, mettant en  
825 avant l'importance de l'accès visuel au lac pour les pratiques contemplatives. Les informations ainsi  
826 obtenues peuvent renseigner sur « la capacité de charge » du lac et de ses abords et permettent de  
827 prévenir ainsi les effets néfastes d'une sur-fréquentation du lac sur l'état des habitats naturels, le  
828 dérangement de la faune et sur les possibles conflits entre usagers. L'aire de demande de ce SE est, en  
829 revanche, plus difficile à cartographier et n'a pas fait l'objet d'une représentation dans cette étude. Une  
830 enquête sous forme d'un questionnaire interrogeant les usagers et touristes sur leur provenance  
831 permettrait de représenter cette information. De plus en plus d'études utilisent également les données  
832 contenues dans les médias sociaux (images notamment) pour représenter les aires de fourniture et de  
833 demande en SE loisirs (Clemente et al. 2019; Oteros-Rozas et al. 2017; Van Zanten et al. 2016). Afin  
834 d'approfondir les déterminants de la demande en SE culturels, il pourrait être envisagé une étude de la  
835 perception des milieux lacustres dans le but de caractériser les valeurs socio-culturelles associées aux  
836 grands lacs. D'autres indicateurs de demande peuvent être mobilisés comme la quantité de poissons  
837 consommés dans les restaurants, hôtels, leur localisation, la mention du lac dans les dépliants des offices  
838 de tourisme à l'échelle régionale, le nombre de place dans les parkings, etc. De nombreux autres  
839 indicateurs spatialisés sont à imaginer.

840  
841 Enfin, l'aire de demande en SE eau potable au lac d'Annecy et les aménagements d'accès à ce SE ont  
842 également été cartographiés. Dans le contexte du réchauffement climatique, l'importance de ce SE pour  
843 la gestion des lacs et l'avenir des limnosystèmes sera cruciale. Ce SE, quel que soit le lac, est très  
844 dépendant de la qualité de l'eau brute, elle-même fortement liée aux solutions d'assainissement globales  
845 mises en place dans le BV des lacs pour limiter les flux de polluants à même de dégrader la qualité des  
846 eaux. Le lien BV – lac est fort pour ce SE. Nous recommandons alors l'étude croisée du SE eau potable  
847 avec les infrastructures dédiées à l'assainissement des eaux usées dans le BV. Resterait à compléter la  
848 démarche par des indicateurs spatialisés de pollution diffuse et par une cartographie complète de l'aire  
849 de fourniture du SE prenant en compte la qualité de la masse d'eau brute prélevée, donnée difficile à  
850 obtenir et variable en fonction du brassage des masses d'eaux (Pourriot et Meybeck 1995).

851 Malgré l'intérêt de la gestion des écosystèmes aquatiques à l'échelle locale, nationale ou européenne  
852 pour les données géoréférencées, la cartographie des SE des grands lacs se heurte encore aujourd'hui à  
853 un manque important de données tant biophysiques que socio-économiques. C'est la principale limite  
854 que nous avons observée à une telle approche sur les grands lacs alpins, et c'est la raison pour laquelle  
855 nous avons préféré mobiliser les outils cartographiques pour questionner la spatialisation des SE et leur  
856 gestion.

### 857 **4.3 Apports du concept de service écosystémique à la géographie limnologique et à la** 858 **gouvernance des grands lacs**

859 L'un des intérêts les plus significatifs du concept de SE pour la géographie est sa capacité à permettre à  
860 la fois de quantifier et de qualifier les rapports « humain – Nature » dans une démarche heuristique  
861 (Dufour et al., 2016). En effet, ce concept prend en compte à la fois les dimensions objectives et  
862 subjectives qui sous-tendent ces rapports et permet à divers savoirs disciplinaires et profanes d'être  
863 mobilisés. Ainsi, il rend possible l'étude d'une diversité de facteurs et composantes associés aux grands  
864 lacs, qui relèvent tant des fonctionnements biophysiques et des flux qui en résultent (eau, matières,



865 énergie), que du fonctionnement de structures sociales, économiques et institutionnelles, et de leurs  
866 relations (sous forme d'informations, d'échanges commerciaux, de perceptions ...).

867 En tant que concept d'interface (Amigues et Chevassus-au-louis 2011) entre les fonctionnements  
868 écosystémiques, sociétaux, le concept de SE invite à analyser les réseaux de bénéfiques et bénéficiaires  
869 et les interactions biotiques entre processus limniques et les interactions d'espèces. Ce concept a permis  
870 dans cet article l'analyse de l'ensemble de ces liens dans une approche intégrée et géographique, qui  
871 s'ancre localement au sein du territoire des grands lacs alpins et envisage ses relations avec les sociétés  
872 et les écosystèmes à différentes échelles. Ce concept nous paraît compatible avec une vision moderne  
873 de la notion de territoire ; il invite à rapprocher cette notion de celle de processus de territorialité,  
874 intégrant la dimension symbolique, à savoir la « valeur emblématique que l'espace représente pour un  
875 groupe donné, au fondement de son identité et des rapports à l'autre et à l'ailleurs » (Debarbieux, 1995).  
876 Nous pouvons à ce titre émettre l'hypothèse que le concept de SE pourrait aider à mieux définir les  
877 grands lacs, mettre en avant leurs spécificités territoriales par rapport aux plans d'eau de plus petite taille  
878 et envisager les lacs et grands lacs comme des objets hybrides où les phénomènes limnologiques sont  
879 intimement liés aux phénomènes sociétaux.

880 En tant que concept de débat intégrant une échelle d'analyse systémique et intégrée, les SE nous ont  
881 amené à analyser la spatialisation des rapports sociétés-grands lacs et à questionner la gestion de  
882 l'ensemble grand lac - société et ses limites. Au-delà de l'intérêt théorique et scientifique d'une telle  
883 approche géographique, les informations récoltées pourraient aider à définir de nouveaux périmètres de  
884 gestion de ces écosystèmes et envisager une évolution des observatoires des grands lacs. Il existe des  
885 enjeux majeurs de la gestion des lacs à considérer les multiples variabilités spatiales des SE. L'échelle  
886 de gestion pourrait alors prendre en compte les aires de fourniture, de demande et l'accès aux SE (Syrbe  
887 et Walz 2012) pour sortir du modèle de gestion actuel basé essentiellement sur le couple lac-BV (Bartout  
888 et Touchart 2017), et sur le suivi de paramètres purement bio-physico-chimiques, insuffisant pour  
889 anticiper les évolutions de la société. Le concept de SE pourrait ainsi aider les géographes limnologues  
890 à définir les composantes et les limites des limnosystèmes et enrichir la modélisation proposée dans cet  
891 article. Ces considérations doivent entrer dans les schémas de gouvernance pour aider à définir une  
892 nouvelle échelle de gestion des plans d'eau basée sur les SE. Des modèles conceptuels construits autour  
893 de la spatialisation des SE des grands lacs pourraient aider à anticiper, soutenir et préparer les débats en  
894 cours et à venir sur l'évolution des limnosystèmes.

## 895 **REMERCIEMENTS**

896 *Nous remercions l'ensemble des pêcheurs, usagers des lacs et les personnes et services impliquées dans*  
897 *la gestion des grands lacs alpins pour le partage de leur expertise.*

## 898 **BIBLIOGRAPHIE**

- 899 Ala-Hulkko, T., Kotavaara, O., Alahuhta, J., Helle, P., et Hjort, J. (2016). Introducing accessibility  
900 analysis in mapping cultural ecosystem services. *Ecological Indicators*, 66, 416–427.  
901 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.013>
- 902 Alexandre, O., et Arrus, R. (2006). Les territoires de l'eau. *Cybergeo*.
- 903 Allan, D. J., Manning, N. F., Smith, S. D. P., Dickinson, C. E., Joseph, C. A., et Pearsall, D. R. (2017).  
904 Ecosystem services of Lake Erie: Spatial distribution and concordance of multiple services.  
905 *Journal of Great Lakes Research*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.06.001>
- 906 Amigues, J., et Chevassus-au-louis, B. (2011). Evaluer les services écologiques des milieux  
907 aquatiques : enjeux scientifiques, politiques et opérationnels. In *ONEMA : Comprendre pour*  
908 *agir*. <https://doi.org/ISBN : 979-10-91047-00-5>
- 909 ALP. (2006). *100 années de passion pour la pêche de loisir au lac d'Annecy*. (ALP)

- 910 Baguet, R., Klein, A., Clémens, A., Gorin, O., Pinto, M., Cordonier, A., Kerrien, F., Lafforgue, M.,  
 911 Lépinaud, C., Ramseier, S., Michal, P., Brondel, D., Jalinoux, R., Barillier, A., et Pousse, C.  
 912 (2015). Chapitre 5 : Importance économique et usages. In *Le tour des grands lacs alpins naturels*  
 913 *en 80 questions* (p. pp 95-118).
- 914 Bartout, P., et Touchart, L. (2017). Le territoire limnique, une alternative à la gouvernance des plans  
 915 d'eau par masses d'eau? *VertigO*, 17(Volume 17 numéro 3), 0–38.  
 916 <https://doi.org/10.4000/vertigo.18692>
- 917 Bravard, J., et Pourtier, R. (2003). Les territoires de l'eau - introduction. In *Bulletin de l'association de*  
 918 *géographes français* (pp. 239–241).
- 919 Brunet, R., Ferras, R., et Théry, H. (1992). *Les mots de la géographie : dictionnaire critique* (Reclus-  
 920 1).
- 921 Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., et Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand  
 922 and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- 923 Burkhard, B., et Maes, J. (2017). Mapping Ecosystem Services. In B. Burkhard et J. Maes (Eds.),  
 924 *Pensoft Publishers*. [https://doi.org/10.1016/S0065-2156\(09\)70001-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2156(09)70001-8)
- 925 Castro, A. J., Verburg, P. H., Martín-López, B., Garcia-Llorente, M., Cabello, J., Vaughn, C. C., et  
 926 López, E. (2014). Ecosystem service trade-offs from supply to social demand: A landscape-scale  
 927 spatial analysis. *Landscape and Urban Planning*, 132, 102–110.  
 928 <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.009>
- 929 CICES. (2018). *CICES v 5.1*.
- 930 Clemente, P., Calvache, M., Antunes, P., Santos, R., Cerdeira, J. O., et Martins, M. J. (2019).  
 931 Combining social media photographs and species distribution models to map cultural ecosystem  
 932 services: The case of a Natural Park in Portugal. *Ecological Indicators*, 96(August 2018), 59–68.  
 933 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.043>
- 934 Corlay, J. (1995). Géographie sociale , géographie du littoral. *Norois*, 165(1–3), 247–265.
- 935 Crouzat, E. (2015). *Etude des compromis et synergies entre services écosystémiques et biodiversité*  
 936 *Une approche multidimensionnelle de leurs interactions dans le socio-écosystème des Alpes*  
 937 *françaises*. Université Grenoble Alpes
- 938 Debarbieux, B. (1995). Le lieu, le territoire et trois figures de rhétorique. *Espace Géographique*, 24(2),  
 939 97–112. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1995.3363>
- 940 Dee, L. E., Allesina, S., Bonn, A., Eklöf, A., Gaines, S. D., Hines, J., Jacob, U., McDonald-Madden,  
 941 E., Possingham, H., Schröter, M., et Thompson, R. M. (2017). Operationalizing Network Theory  
 942 for Ecosystem Service Assessments. *Trends in Ecology and Evolution*, 32(2), 118–130.  
 943 <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.011>
- 944 Drakou, E. G., Virdin, J., et Pendleton, L. (2018). Mapping the global distribution of locally-generated  
 945 marine ecosystem services: The case of the West and Central Pacific Ocean tuna fisheries.  
 946 *Ecosystem Services*, 31(May), 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.05.008>
- 947 Dufour, S., Sartre, X. A. de, Castro, M., et Oszwald, J. (2016). Origine et usages de la notion de  
 948 services écosystémiques : éclairages sur son apport à la gestion des hydrosystèmes. *VertigO*,  
 949 *Hors-série 25*, 0–20. <https://doi.org/10.4000/vertigo.17435>
- 950 Ferrari, M., Geneletti, D., Cayuela, L., Orsi, F., et Benayas, J. M. R. (2016). Analysis of Bundles and  
 951 Drivers of Change of Multiple Ecosystem Services in an Alpine Region. *Journal of*  
 952 *Environmental Assessment Policy and Management*, 18(04), 1650026.  
 953 <https://doi.org/10.1142/S1464333216500265>
- 954 Floret, J., et Hubert, P. (1977). Les fonctions socio-économiques du Léman. *Revue de Géographie*

- 955 *Alpine*, 65(2), 181–201.
- 956 Frossard, V., Chloé, G., Guillard, J., Hamelet, V., Jacquet, S., Laine, L., Rimet, F., et Tran-Khac, V.  
957 (2018). *Suivi scientifique du lac d'Annecy. Rapport 2017*.
- 958 Ghiotti, S. (2005). Les Territoires de l'eau et la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou  
959 les limites d'une évidence. *Développement Durable et Territoires*, 33.
- 960 Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., et Montes, C. (2010). The history of ecosystem  
961 services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes.  
962 *Ecological Economics*, 69(6), 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- 963 Hall, C. M., et Harkonen, T. (2006). *Lake Tourism*. Channel view publications.
- 964 Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, C. K., Heiskanen, A. S., Johnson,  
965 R. K., Moe, J., Pont, D., Solheim, A. L., et de Bund, W. van. (2010). The European Water  
966 Framework Directive at the age of 10: A critical review of the achievements with  
967 recommendations for the future. *Science of the Total Environment*, 408(19), 4007–4019.  
968 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.031>
- 969 Jacquet, S., Briand, J. F., Leboulanger, C., Avois-Jacquet, C., Oberhaus, L., Tassin, B., Vinçon-Leite,  
970 B., Paolini, G., Druart, J. C., Anneville, O., et Humbert, J. F. (2005). The proliferation of the  
971 toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French  
972 lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae*, 4(4), 651–672. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2003.12.006>
- 973 Jenny, J.-P., Anneville, O., Arnaud, F., Baulaz, Y., Bouffard, D., Domaizon, I., Bocaniov, S. A.,  
974 Chèvre, N., Dittrich, M., Dorioz, J.-M., Dunlop, E. S., Dur, G., Guillard, J., Guinaldo, T.,  
975 Jacquet, S., Jamoneau, A., Jawed, Z., Jeppesen, E., Krantzberg, G., ... Weyhenmeyer, G. A.  
976 (2020). Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes. *Journal*  
977 *of Great Lakes Research*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.05.006>
- 978 Keeler, B. L., Polasky, S., Brauman, K. A., Johnson, K. A., Finlay, J. C., O'Neill, A., Kovacs, K., et  
979 Dalzell, B. (2012). Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation  
980 of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of*  
981 *America*, 109(45), 18619–18624. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215991109>
- 982 Lavorel, S., Bayer, A., Bondeau, A., Lautenbach, S., Ruiz-Frau, A., Schulp, N., Seppelt, R., Verburg,  
983 P., Teeffelen, A. van, Vannier, C., Arneth, A., Cramer, W., et Marba, N. (2017). Pathways to  
984 bridge the biophysical realism gap in ecosystem services mapping approaches. *Ecological*  
985 *Indicators*, 74, 241–260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.015>
- 986 Le Clec'h, S., Oszward, J., Dufour, S., Grimaldi, M., Jégou, N., et Noucher, M. (2019). Déconstruire  
987 la spatialisation de services écosystémiques par la modélisation critique. *EspacesTemps.Net*, 31.  
988 <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02013289>
- 989 Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Folke, C., Alberti, M., Redman, C. L., Schneider, S. H., Ostrom, E.,  
990 Pell, A. N., Lubchenco, J., Taylor, W. W., Ouyang, Z., Deadman, P., Kratz, T., et Provencher,  
991 W. (2007). Coupled human and natural systems. *Ambio*, 36(8), 639–649.  
992 [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[639:CHANS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[639:CHANS]2.0.CO;2)
- 993 Locatelli, B., Lavorel, S., Sloan, S., Tappeiner, U., et Geneletti, D. (2017). Characteristic trajectories  
994 of ecosystem services in mountains. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(3), 150-  
995 159. <https://doi.org/10.1002/fee.1470>
- 996 Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E.,  
997 G., Notte, A. La, Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L., et Bidoglio, G. (2012).  
998 Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union.  
999 *Ecosystem Services*, 1(1), 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- 1000 Maris, V. (2018). *La part sauvage du monde - penser la nature dans l'Anthropocène* (Le Seuil).

- 1001 McLeod, K., et Heather, L. (Eds.). (2009). *Ecosystem-Based Management for the Oceans*.
- 1002 Nikolli, A. (2018). Les rives lacustres comme espaces publics : essai de cartographie. L ' exemple du  
1003 lac d'Annecy. *Mappemonde*, 123, 1–21.
- 1004 Oteros-Rozas, E., Martín-López, B., Fagerholm, N., Bieling, C., et Plieninger, T. (2017). Using social  
1005 media photos to explore the relation between cultural ecosystem services and landscape features  
1006 across five European sites. *Ecological Indicators*, 94, 74-86  
1007 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.009>
- 1008 Périat, G., et Vonlanthen, P. (2014). *Etude du peuplement pisciaire du Lac Léman*.
- 1009 Potschin, M. B., et Haines-Young, R. H. (2011). Ecosystem services: Exploring a geographical  
1010 perspective. *Progress in Physical Geography*, 35(5), 575–594.  
1011 <https://doi.org/10.1177/0309133311423172>
- 1012 Pourriot, R., et Meybeck, M. (1995). *Limnologie générale* (Masson).
- 1013 Ramade, F. (1993). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*  
1014 (Ediscience).
- 1015 Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., et Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for  
1016 analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of*  
1017 *the United States of America*, 107(11), 5242–5247. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907284107>
- 1018 Stefan, J. (2016). *Influence de la présence d ' un élément de la nature sur la santé et sur les*  
1019 *comportements prosociaux*.  
1020 206.[http://apsychoserver.psych.arizona.edu/JJBAREprints/PSYC621/Forer\\_The fallacy of](http://apsychoserver.psych.arizona.edu/JJBAREprints/PSYC621/Forer_The fallacy of personal validation_1949.pdf)  
1021 [personal validation\\_1949.pdf](http://apsychoserver.psych.arizona.edu/JJBAREprints/PSYC621/Forer_The fallacy of personal validation_1949.pdf)
- 1022 Sterner, R. W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhude, K., et Rogers, M. (2020). Ecosystem  
1023 services of Earth's largest freshwater lakes. *Ecosystem Services*, 41(January 2019), 101046.  
1024 <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101046>
- 1025 Syrbe, R. U., et Walz, U. (2012). Spatial indicators for the assessment of ecosystem services:  
1026 Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 21, 80–  
1027 88. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.013>
- 1028 Touchart, L. (1993). La machine lacustre : l'exemple du Léman. *Annales de Géographie*, 102(573),  
1029 449–471. <https://doi.org/10.3406/geo.1993.21169>
- 1030 Ulrich, R. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647),  
1031 420–421. <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- 1032 Vernex, J. (1998). Qu'est-ce qu'un lac ? De l'imaginaire lacustre à l'aménagement. *Le Globe*, 138, 7–  
1033 16.
- 1034 Zanten, B. T. Van, Berkel, D. B. Van, Meentemeyer, R. K., Smith, J. W., et Tieskens, K. F. (2016).  
1035 Continental scale quantification of landscape values using social media data (Supporting  
1036 information). *PNAS*, 113(46), 1–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.1614158113>
- 1037
- 1038