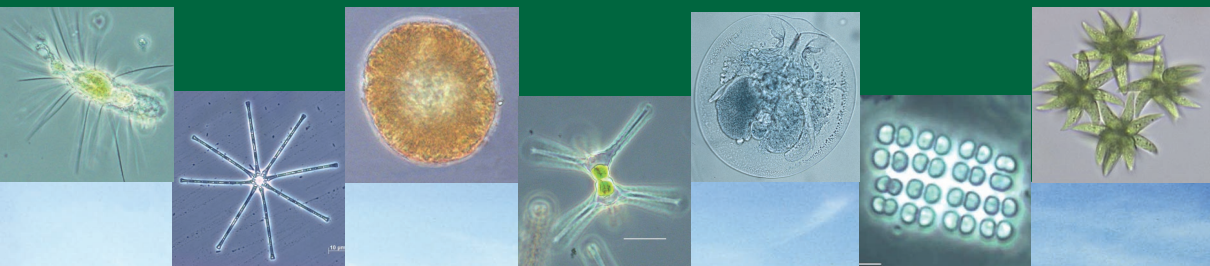


Le lac d'Annecy et son plancton

J.-C. Druart et G. Balvay



éditions
Quæ

Le lac d'Annecy et son plancton

Le lac d'Annecy et son plancton

Gérard Balvay
et Jean-Claude Druart

Éditions Quæ
c/o Inra, RD 10, 78026 Versailles Cedex

Des mêmes auteurs :

Le Léman et sa vie microscopique

© Éditions Quæ, 2009

ISBN : 978-2-7592-0325-3

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Table des matières

Éditorial	
par M. le sénateur maire Pierre Hérisson, président du Sila	VII
Introduction	1
Chapitre 1. Le lac d'Annecy et son environnement	3
Le bassin versant du lac	3
Morphologie du lac	5
Le lac d'Annecy comparé aux autres plans d'eau.....	9
Chapitre 2. Le suivi scientifique du lac d'Annecy	11
Historique des recherches	11
La première alerte à la dégradation des eaux.....	11
Le rôle du Sila.....	12
Le suivi du lac	14
Méthodologie d'étude du plancton.....	16
Biovolume sédimenté du zooplancton.....	18
Chapitre 3. L'écosystème aquatique	21
Quelques aspects du biotope.....	24
Thermique du lac.....	24
Transparence des eaux.....	27
Oxygénation des eaux.....	35
Les formes de l'azote.....	36
Le phosphore, élément perturbateur !	38
Structure de la biocénose planctonique	40
Le phytoplancton.....	40
Le zooplancton	42
Autres organismes planctoniques	47
Les poissons	47
Quelques exemples d'espèces indésirables dans le lac d'Annecy	50
La dermatite du baigneur, un problème d'ampleur mondiale	50
Chapitre 4. Évolution des connaissances sur la biocénose planctonique	53
Composition et évolution du phytoplancton	59
Teneur en chlorophylle à 3 m et 10 m de profondeur	64

Chlorophylle dans les strates 0-10, 10-20 et 20-30 m	67
Composition et évolution du zooplancton	70
Rotifères	71
Microcrustacés planctoniques	72
Biovolume sédimenté du zooplancton.....	73
Chapitre 5. Peut-on définir l'état actuel du lac d'Annecy ?	75
D'après la transparence	76
D'après les concentrations en phosphore	78
D'après les concentrations en chlorophylle	79
D'après le phytoplancton.....	79
D'après le zooplancton	80
D'après la qualité bactériologique des eaux de baignade.....	81
D'après la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE)	81
Conclusion	83
Remerciements	85
Glossaire	87
Liste des sigles.....	93
Inventaire du phytoplancton et des autres microvégétaux du lac d'Annecy	95
Embranchement Protocaryotes	95
Embranchement Eucaryotes	100
Embranchement Chlorophytes	115
Inventaire des microcrustacés et autres organismes zooplanctoniques, benthiques ou littoraux du lac d'Annecy	125
Rotifères	125
Crustacés	129
Copépodes	131
Branchiures	132
Ostracodes	132
Cnidaires	132
Mollusques	132
Insectes diptères	132
Références bibliographiques	133
Crédit photographique	139

Éditorial

Créé en 1957 pour sauvegarder les eaux du lac d'Annecy de la pollution, le Syndicat intercommunal des communes riveraines du lac d'Annecy (Sicrla) devenu actuellement le Syndicat mixte intercommunal du lac d'Annecy (Sila), a mis en œuvre un réseau d'assainissement permettant de collecter les eaux usées et de les conduire à l'aval du lac pour y être traitées.

Depuis 1966, il réalise, en collaboration avec l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) de Thonon-les-Bains, un suivi scientifique annuel des eaux du lac, afin de valider l'amélioration et le maintien de leur qualité. Les résultats de ce suivi attestent la qualité des eaux et le bon équilibre des cycles biologiques du lac, permettant ainsi aux habitants de la cluse du lac d'Annecy de disposer d'une eau potable prélevée dans le lac. L'ensemble des actions entreprises depuis 50 ans permet ainsi au lac d'Annecy d'avoir déjà atteint le bon état écologique tel que fixé par la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE) pour l'horizon 2015.

Riche des analyses effectuées depuis plus de 50 ans sur le lac et vigilant quant à la protection de la santé des personnes et de la ressource en eau, le Sila s'est engagé dès 2005 dans le Réseau des lacs alpins afin de partager avec ses partenaires les résultats des travaux menés depuis 50 ans pour la préservation de la qualité des eaux du lac d'Annecy et de profiter des expériences de ceux-ci dans la gestion d'autres problématiques rencontrées sur les lacs alpins européens. Ce travail permet d'accentuer la coopération entre les gestionnaires des trois grands lacs français que sont le Léman, le lac du Bourget et le lac d'Annecy.

Pierre Hérisson,
président du Sila de 1989 à 2008

Introduction

La *limnologie*¹, science de l'étude des lacs, définie comme l'océanographie des eaux douces, est née il y a plus d'un siècle grâce aux travaux du savant suisse François-Alphonse Forel réalisés sur le Léman durant plus de trois décennies (Forel, 1892a).

Un lac est un plan d'eau dont l'existence est liée à la présence d'une dépression naturelle, d'un barrage (moraine, éboulement ou glissement de terrain), d'une dépression, d'une contre-pente, etc. qui ralentit ou arrête l'écoulement de l'eau, ne communiquant pas directement avec l'océan, avec une profondeur suffisante et une durée de séjour des eaux assez longue pour qu'il existe une zone *pélagique* où s'installe une *stratification thermique* stable pendant une partie de l'année (Pourriot et Meybeck, 1995).

Partie intégrante du paysage et élément valorisant pour toute une région, un lac est souvent considéré à l'échelle humaine comme une structure pérenne de l'environnement. Mais à l'échelle géologique, un lac naît, évolue plus ou moins rapidement en fonction des caractéristiques et de l'utilisation de son *bassin versant* ; le plan d'eau finit tôt ou tard par disparaître, par apports de sédiments et comblement progressif de la cuvette lacustre, quand l'évaporation est supérieure aux apports par les affluents et les précipitations, ou encore lorsqu'un plan d'eau menace la sécurité des personnes et des biens en aval (retenue temporaire de Saint-Ferréol, Haute-Savoie, en mars 1995).

Les lacs sont souvent considérés comme des eaux stagnantes ou dormantes par opposition aux eaux courantes. C'est un abus de langage car la masse d'eau est soumise à de nombreux déplacements internes ou de surface : courants engendrés par les affluents et par l'*exutoire* du lac, courants de convection thermique, courants résultant du vent ou induits par la rotation terrestre (force de *Coriolis*), courants de seiches (oscillations créées par des différences de pression atmosphérique), courants de densité (dus à une différence de température ou de concentration en matières en suspension ou dissoutes).

L'âge des lacs est très variable : plus de 2 millions d'années pour le lac Baïkal, 18 000 ans pour le Léman, moins d'un siècle pour le lac Vallon (Haute-Savoie) apparu en mars 1943 à la suite d'un glissement de terrain dans la vallée du Brevon. Celui du lac d'Annecy est estimé à 18 000 ans, à la fin de la dernière glaciation quaternaire du Würm.

1. Les termes en *italique gras* (première occurrence) sont définis dans le glossaire.

Sous l'impulsion du Sicrla, devenu en 1991 le Sila puis le Syndicat mixte du lac d'Annecy en 2001, ce splendide lac est l'objet d'une surveillance constante depuis plus de 40 ans afin de disposer de critères objectifs permettant de suivre l'évolution tant annuelle qu'à long terme de la qualité physico-chimique et biologique du milieu aquatique.

Chapitre 1

Le lac d'Annecy et son environnement

►► Le bassin versant du lac

Situé dans la zone des Préalpes, le bassin versant du lac d'Annecy est constitué à 33 % de calcaires *urgoniens* (Roc de Chère, Tournette, Lanfon, etc.) et *tithoniques* (chaîne de Saint-Germain), 31 % de terrains quaternaires (moraines, dépôts fluvioglaciers, alluvions modernes), 30 % de marnes et 6 % de terrains plus ou moins gréseux (Benedetti-Crouzet, 1972) (figure 1).

Les bois et forêts occupent 63 % du bassin versant, les prairies et terres agricoles 21 %, les zones urbanisées 13 % et 3 % concernent les zones dénudées (carrières, rochers) (données 2005 de la Société d'équipements du département de la Haute-Savoie – SED 74).

Le bassin versant sur lequel s'applique la loi Montagne est inclus en partie dans le parc naturel régional du massif des Bauges. Quant aux rives du lac, elles sont soumises à la loi Littoral.

Le bassin versant du lac d'Annecy est plus réduit que celui du Léman, mais son impact sur la réserve d'eau est nettement plus prononcé. Une même quantité d'un élément quelconque en provenance du bassin versant aura un impact trois fois plus important dans le lac d'Annecy que dans le Léman. Cette quantité agit sur un volume d'eau plus important au Léman qu'à Annecy, mais en terme de concentration finale, l'élément en cause est finalement 3 fois plus concentré à Annecy qu'au Léman (tableau 1).

Le bassin versant est parcouru par de nombreux cours d'eau et ruisseaux dont le débit est extrêmement variable, voire nul à certaines périodes. L'Eau Morte, l'Ire, la Bornette et le Laudon constituent les quatre affluents majeurs du lac d'Annecy (tableau 2).

L'évacuation des eaux est assurée au nord du Grand Lac à Annecy par le Thiou, *émissaire* principal qui reçoit le canal du Vassé, exutoire secondaire. Le Thiou rejoint le Fier, affluent du Rhône au sud de Seyssel.

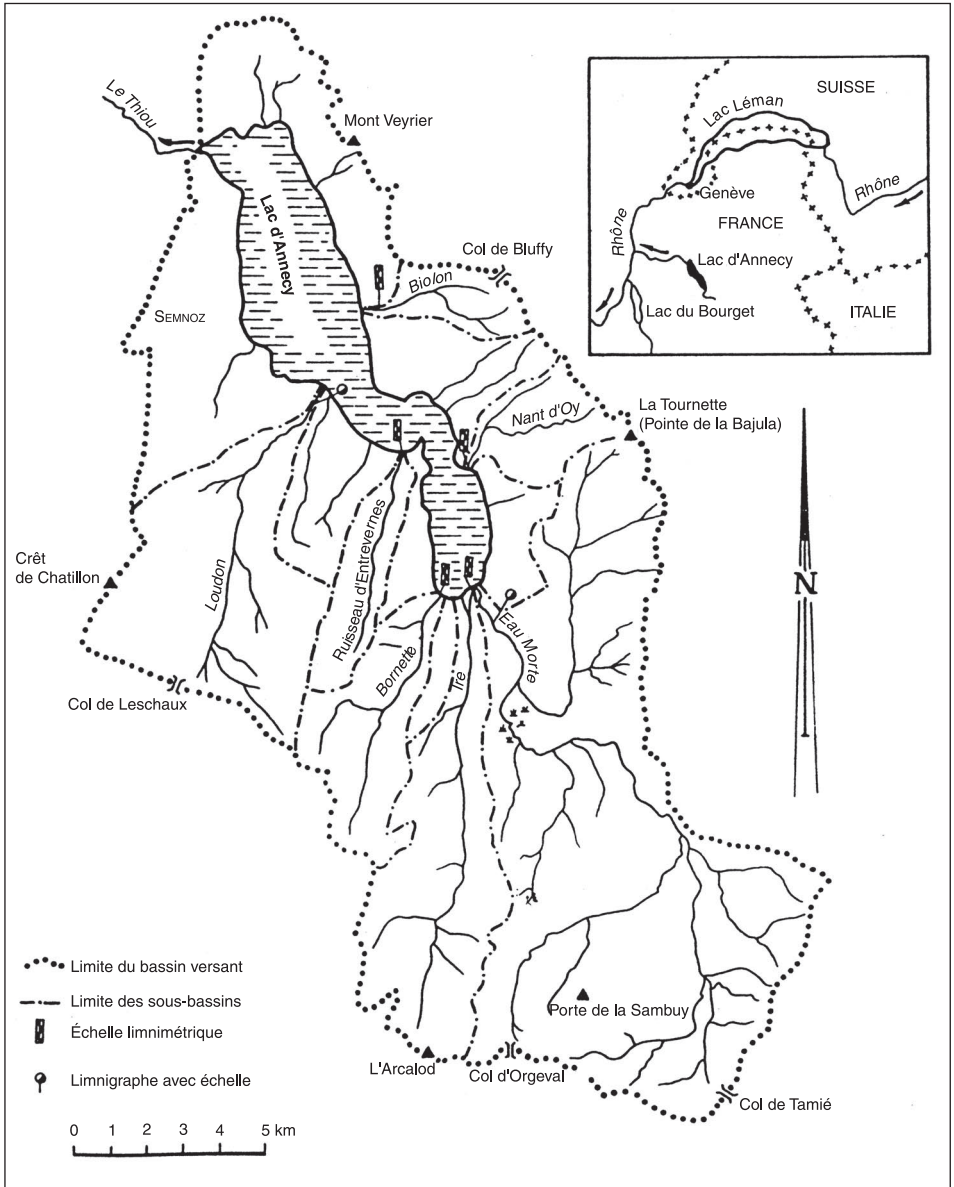


Figure 1. Carte schématique du bassin versant du lac d'Annecy.

Tableau 1. Caractéristiques du bassin versant du lac d'Annecy et comparaison avec le Léman.

Bassin versant	Lac d'Annecy	Grand Lac	Petit Lac	Léman
Superficie, lac inclus (km ²)	278			7 975
Superficie, lac exclu (km ²)	251	80,6 (32 %)	170,4 (68 %)	7 395
Altitude moyenne (m)	900			1 670
Altitude maximale (m)	2 351 (La Tournette)			4 634 (Pointe Dufour)
Rapport superficie bassin versant/superficie lac	9,5			12,7
Volume d'eau influencé par 1 m ² de bassin versant	4,5 m ³			12 m ³

Tableau 2. Caractéristiques des affluents et de leur bassin versant.

	Longueur (km)	Bassin versant (km ²)	Débit annuel moyen (m ³ /s)	Débit max. journalier (m ³ /s)	Débit min. journalier (m ³ /s)
Eau Morte	20,25	92,5	2,79 (4)	37,3 (1978) (4)	0,4 (1970) (2)
Laudon	11	29,5	0,74 (4)	15 (1993) (2)	0 (1967) (2)
Ire	10,75	27,6	1,05 (4)	16,5 (1997) (4)	0,11 (1967)(3)
Bornette	7,25	13,2	0,37 (4)	9,96 (1981) (4)	0,01 (1967) (2)
R. d'Entrevernes	5,5	6,7	0,14 (1)	3 (1969) (2)	0 (1967) (2)
Nant d'Oy	4,8	7,9	0,32 (1)	7 (1967) (3)	0 (1966) (2)
Biolon	2,1	5,6	0,13 (1)	6,8 (1967) (3)	0 (1967) (2)
Nant de Sallier	2	2,5	0,13 (1)	1,65 (1967) (3)	0 (1967) (2)

(1) D'après les données de la Direction départementale de l'agriculture et de la forêt (DDAF) Haute-Savoie, (2) de Benedetti-Crouzet (1972), (3) de Danloux (1968), (4) de la Banque Hydro.

► Morphologie du lac

Le lac d'Annecy se situe dans une cluse séparant les massifs subalpins des Bornes au nord-est et des Bauges au sud-ouest. Il est soumis à l'influence des vents d'ouest humides, d'origine océanique et des vents du nord plus secs. La pluviométrie annuelle (moyenne 1976-2005) est de 1214 mm (Gerdeaux *et al.*, 2006), un peu supérieure aux 1074 mm des rives du Léman (Quétin, 2006).

Le lac d'aujourd'hui est le reliquat d'un ancien lac post-glaciaire d'une longueur de plus de 30 km, double de la longueur actuelle (Deleau, 1974). Il s'étendait de la Balme-de-Sillingy à Faverges ; son extrémité au nord a été remblayée sur une dizaine de kilomètres par les apports solides du Fier et au sud sur 8 km environ par ceux de l'Eau Morte.

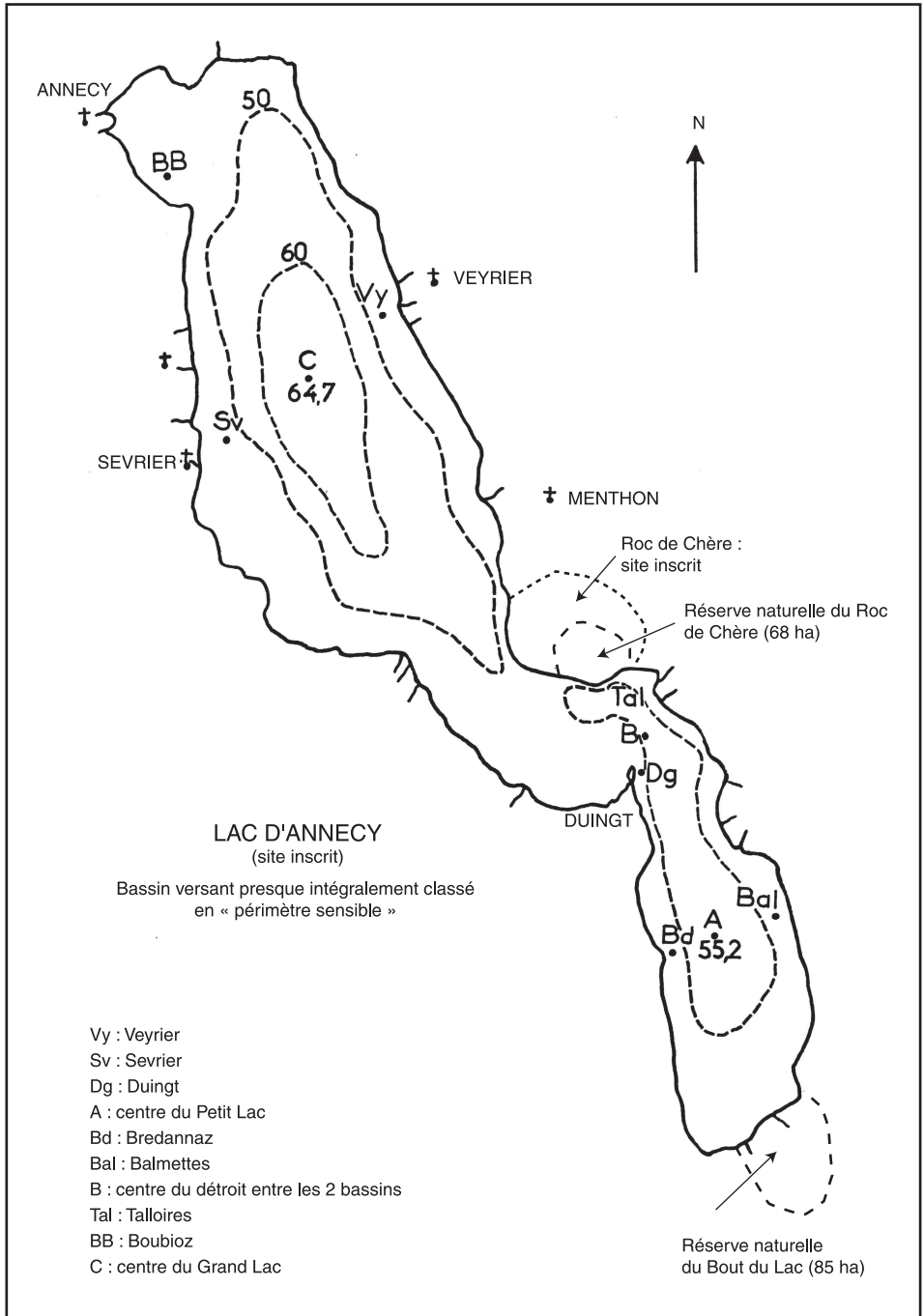


Figure 2. Carte bathymétrique simplifiée du lac d'Annecy.

Tableau 3. Fiche signalétique du lac d'Annecy et comparaison avec le Léman.

Données morphométriques	Lac d'Annecy	Grand Lac	Petit Lac	Léman
Altitude du lac (m)	446,97			372,05
Superficie du lac (km ²)	26,5 * (100 %)	20,25 (76 %)	6,25 (24 %)	580,1
Volume (km ³)	1,127 (100 %)	0,887 (79 %)	0,24 (21 %)	89
Profondeur maximale (m)	65 **	65	55	309
Profondeur moyenne (m)	42			152,7
Longueur dans l'axe (km)	14,6	± 10	± 4	72,3
Largeur maximale (km)	3,1	3,1	1,5	13,8
Longueur des rives (km)	45,4			200,2

* Valeur établie par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

** À l'exclusion de la source du Boubioz.

Le lac appartient au domaine public de l'État. Certaines rives sont publiques (24,5 km) et d'autres sont privées (20,9 km). Le plan d'eau comporte deux bassins avec d'amont en aval, le Petit Lac au sud et le Grand Lac au nord, séparés en surface par le Roc de Chère et la pointe de Duingt, en profondeur par une barre aplatie, à 50 m environ sous la surface (figure 2). Comme pour le bassin versant, les caractéristiques *morphométriques* du lac d'Annecy sont inférieures à celles du Léman (tableau 3).

L'étude sismique du lac d'Annecy par le BRGM a mis en évidence que la cuvette du Grand Lac avait une profondeur initiale de 150 m et qu'elle a été progressivement remplie par une épaisseur de 85 m de sédiments apportés par les divers tributaires.

La zone littorale est très variée, avec le Roc de Chère dont la falaise subverticale plonge à plus de 40 m de profondeur à 2 m du rivage, les hauts fonds (ou crêts) du Roselet (environ 1 m sous la surface), de Châtillon (-4,5 m) et d'Anfon (-7 m). La *beine* littorale, d'une profondeur de quelques mètres, résulte de l'action des vagues sur le rivage ; elle est très réduite dans le Petit Lac mais est relativement étendue dans le Grand Lac, de part et d'autre du Laudon et dans la baie d'Annecy.

Au nord-ouest du Grand Lac, le « gouffre » du Boubioz correspond à un accident tectonique en forme d'entonnoir, s'ouvrant par des fonds de 20-30 m en zone littorale, et renfermant environ 800 000 m³ d'eau (Dussart, 1955). Son existence était déjà connue par le physicien genevois Horace Bénédicte de Saussure qui sonda les lieux en 1780 et trouva une profondeur de 180 pieds (environ 58 m) (de Saussure, 1796).

La source sous-lacustre du Boubioz est une résurgence du réseau *karstique* complexe de la montagne du Semnoz. Cette source jaillit à 82 m sous la surface, profondeur mesurée par les plongeurs R. Jean-Baptiste et G. Rollet le 12 novembre 1966 (Jean-Baptiste, 1972), mais cette profondeur ne doit pas être assimilée à la profondeur maximale de la cuvette lacustre (65 m dans le Grand Lac). Profitant de la prise en glace du lac en février 1891, Delebecque et Legay (1891a, b) après plusieurs tâtonnements, ont mesuré une température de 11,8 °C à une profondeur de 80,6 m.

Les eaux de la source réchauffent tout l'entonnoir du Boubioz (Balvay et Rougier-Michaud, 1967) de même que la partie nord du Grand Lac (Dussart, 1955).

D'autres sources sous-lacustres ont été reconnues, en particulier à Menthon-Saint-Bernard et Talloires. De telles sources dont la zone d'alimentation est en général méconnue pourraient apporter dans le lac d'Annecy des éléments nuisibles, voire toxiques, en cas d'incidents polluants dans le bassin versant.

Le renouvellement des eaux lacustres est fonction du volume de la cuvette et de l'importance des apports annuels (précipitations directes sur le lac, ruissellement et apports par les affluents et les sources sous-lacustres). Il varie selon les plans d'eau, de moins d'un mois voire quelques jours en hiver dans le Grand Lac Jovet en Haute-Savoie (Balvay et Blavoux, 1981) à plus de trois siècles (lac Baïkal). Le renouvellement théorique des eaux du lac d'Annecy est inférieur à 4 ans (Léman : 11,4 ans).

Le lac d'Annecy se comporte comme un immense pluviomètre ; des précipitations de forte intensité sur le bassin versant peuvent entraîner des crues importantes comme en 1658, 1711, 1740, 1758, 1778, 1801 et 1840 (Boltshauser, 1860). Malgré les vannes de régulation installées sur le Thiou depuis 1874 et dont la gestion est

Tableau 4. Comparaison du lac d'Annecy avec des grands plans d'eau douce de France.

Lac	Département	Superficie (km ²)	Volume (km ³)	Prof. max. (m)
Léman	Suisse et France *	<u>580</u>	<u>89</u>	<u>309</u>
Lac de Grand-Lieu	Loire-Atlantique	<u>35</u> (été) à <u>65</u> (hiver)	env. 0,1	1,5 à 3,5 (hiver)
Étang de Hourtin-Carcans	Gironde	<u>62</u>	0,21	11
Étang de Cazaux-Sanguinet	Landes	<u>58</u>	0,5	23
Lac du Bourget	Savoie	<u>44,6</u>	<u>3,6</u>	<u>145</u>
Étang de Biscarosse-Parentis	Landes	<u>36</u>	0,25	20
Lac d'Annecy	Haute-Savoie	26,5	1,12	65
Lac d'Aiguebelette	Savoie	5,4	0,17	<u>71</u>
Lac de Saint-Point	Doubs	4	0,08	40
Lac de Paladru	Isère	3,9	0,097	36
Lac de Nantua	Ain	1,4	0,04	43
Lac d'Issarlès	Ardèche	0,92	0,06	<u>132</u>
Lac Chauvet	Puy-de-Dôme	0,53	0,017	63
Lac Pavin	Puy-de-Dôme	0,44	0,023	<u>92</u>
<i>Gour</i> de Tazenat	Puy-de-Dôme	0,31	0,014	<u>68</u>

* Suisse : cantons de Genève, Vaud et Valais ; France : Haute-Savoie. Les valeurs soulignées sont supérieures à celles du lac d'Annecy.

sous la responsabilité de la ville d'Annecy, des crues dévastatrices ont eu lieu en 1944 et 1955. À l'opposé, lorsque les précipitations se raréfient, le niveau du lac peut s'abaisser fortement comme en 1906 (Onde, 1985).

» Le lac d'Annecy comparé aux autres plans d'eau

À l'exclusion des étangs littoraux en communication avec le milieu marin (étang de Berre, bassin d'Arcachon, etc.), cinq plans d'eau douce naturels intégralement français ont une superficie plus importante que celle du lac d'Annecy (tableau 4).

Le « lac » de Grand-Lieu, malgré son appellation de lac et sa grande superficie, ressemble davantage à un étang de très faible profondeur envahi par des *macrophytes*. À l'opposé, les « étangs » du Sud-Ouest, même s'ils possèdent une végétation littorale importante, sont des lacs le plus souvent *polymictiques*, susceptibles d'être

Tableau 5. Les grands lacs-réservoirs et les plus importantes retenues de France ayant parfois certaines caractéristiques morphométriques supérieures à celles du lac d'Annecy.

Retenue	Département	Superficie (km ²)	Volume (km ³)	Prof. max. (m)
Petit Saut	Guyane (Dom)	<u>301</u>	<u>3,54</u>	35
Lac-réservoir Marne*	Marne, Haute-Marne	<u>48</u>	0,35	environ 13
Serre-Ponçon	Hautes-Alpes	<u>30</u>	<u>1,27</u>	≤ <u>115</u>
Lac d'Annecy	Haute-Savoie	26,5	1,12	65
Lac-réservoir Aube**	Aube	23,2	0,17	environ 11
Sainte-Croix	Alpes-de-Haute-Provence	23	0,77	<u>83</u>
Lac-réservoir Seine***	Aube	23	0,20	environ 16
Vouglans	Jura	16	0,61	<u>100</u>
Pareloup	Aveyron	12	0,17	40
Grandval	Cantal	11	0,29	<u>76</u>
Vassivière	Creuse	11	0,11	30
Bort-les-Orgues	Corrèze	10,3	0,48	<u>88</u>
Sarrans	Aveyron	10	0,29	<u>100</u>
Mont-Cenis	Savoie	6,7	0,33	<u>95</u>
Monteynard	Isère	6,6	0,27	<u>135</u>
Sautet	Isère	3,5	0,10	<u>126</u>
Roselend	Savoie	3,2	0,18	<u>150</u>
Chevril	Savoie	2,5	0,23	<u>180</u>

* : lac du Der-Chantecoq. ** : lacs Amance et du Temple. *** : lac d'Orient. Les valeurs soulignées sont supérieures à celles du lac d'Annecy.

brassés intégralement à toute époque de l'année, la température des eaux du fond étant voisine de celle de surface.

Le lac d'Annecy est le second lac entièrement français en ce qui concerne le volume, après le lac du Bourget ; ses autres dimensions sont modestes par rapport à celles du Léman, la plus importante réserve d'eau douce d'Europe occidentale, et à celles de quelques autres lacs naturels (tableau 4).

Plusieurs « étangs » des Landes et le « lac » de Grand-Lieu ont une superficie plus importante que celle du lac d'Annecy. Quelques plans d'eau naturels, de moindre superficie, présentent toutefois une profondeur supérieure à celle du lac d'Annecy, comme les lacs d'origine volcanique d'Ardèche et du Puy-de-Dôme.

Quelques retenues hydroélectriques françaises ont certaines caractéristiques plus importantes que celles du lac d'Annecy, le plus souvent en ce qui concerne la profondeur maximale (tableau 5). Les lacs-réservoirs sont des plans d'eau artificiels ayant une importante superficie ; ils résultent de la submersion artificielle de terrains et intègrent même des lacs préexistants en amont de digues artificielles plus ou moins nombreuses et élevées selon la topographie du terrain. Leur niveau fluctue selon les besoins de régulation des eaux courantes : limitation de l'ampleur des crues et renforcement des débits d'été des rivières.