



La limnologie dynamique, l'eau en mouvement dans les lacs et les étangs

Laurent Touchart

► To cite this version:

Laurent Touchart. La limnologie dynamique, l'eau en mouvement dans les lacs et les étangs. Limnologie physique et dynamique, une géographie des lacs et des étangs, L'Harmattan, pp.167-236, 2002, 2-7475-3463-4. hal-03953602

HAL Id: hal-03953602

<https://hal.science/hal-03953602v1>

Submitted on 21 Jun 2023

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.

Touchart L. (2002) « La limnologie dynamique, l'eau en mouvement dans les lacs et les étangs » in *Limnologie physique et dynamique, une géographie des lacs et des étangs*. Paris, L'Harmattan, 395 p. (ISBN 2-7475-3463-4) : pp. 167-236.

Pour HAL :

- mise en page différente de celle de l'éditeur
- ajout d'un résumé et de mots-clefs
- bibliographie de l'ensemble des chapitres de l'ouvrage *Limnologie physique et dynamique, une géographie des lacs et des étangs*.

Touchart L. (2002) « La limnologie dynamique, l'eau en mouvement dans les lacs et les étangs » in *Limnologie physique et dynamique, une géographie des lacs et des étangs*. Paris, L'Harmattan, 395 p. : pp. 167-236.

Par Laurent TOUCHART

Résumé :

A la différence des présentations habituelles de limnologie dynamique, qui s'appuient d'abord sur les équations d'hydrodynamique, ce chapitre d'ouvrage a un fil directeur géographique, celui du contraste d'échelle existant entre l'océan et le lac, provoquant des ressemblances et des différences entre les mouvements d'eau dans les mers et dans les plans d'eau continentaux. Ces caractéristiques sont étudiées à travers (i) les variations générales de niveau, (ii) les ondes (marées, seiches et vagues), (iii) les courants.

La première partie étudie les variations générales de niveau des lacs à travers le fil directeur de l'importance du bassin d'alimentation, qui conditionne le bilan hydrologique des plans d'eau continentaux. Les fluctuations de niveau des lacs sont d'abord décrites à diverses échelles de temps, celles de plusieurs milliers d'années, dont témoignent les terrasses lacustres, celles de quelques décennies, celles du marnage saisonnier. Les variations de niveau sont ensuite expliquées, principalement par le bilan hydrologique, c'est-à-dire la différence entre la quantité d'eau gagnée et perdue par le lac, secondairement par les modifications de la hauteur de la contrepente qui ferme la cuvette lacustre.

La deuxième partie étudie les ondes stationnaires et les ondes progressives qui affectent les lacs, à travers le fil directeur de la petite taille de la cuvette lacustre (eu égard à celle de la cuvette océanique), provoquant des entrées en résonance originales, sous forme de seiches, externes et internes, et une prédominance des vagues forcées sur la houle. Certes, la marée existe, mais, même dans les lacs les plus grands, son amplitude ne dépasse pas quelques centimètres. Ce sont donc les seiches qui forment l'oscillation lacustre par excellence. Elles concernent d'une part l'interface entre l'air et l'eau, d'autre part les discontinuités entre des masses d'eau de densités différentes (comme la thermocline et la chimiocline) au sein même du lac. Les vagues sont étudiées d'abord en grande profondeur, puis en faible profondeur. Les méthodes classiques de prévision des caractéristiques des vagues en plein lac sont rappelées, avant de résumer les travaux inédits des doctorants de l'auteur par la création du fetch modulé par la rose des vents. En faible profondeur, les vagues voient leurs caractéristiques changer. Ces modifications sont étudiées d'une manière géographique à l'approche de la côte, par la construction cartographique des plans de vague. La partie deuxième se termine par le cas particulier des lacs pelliculaires (ou lacs-étangs).

La troisième partie étudie les courants lacustres, à travers le fil directeur de la petite taille de la cuvette lacustre (eu égard à celle de la cuvette océanique), imposant un caractère fantasque aux mouvements d'eau, que ce soit sur la plan spatial (directions multiples) ou temporel (courte durée). Un effort particulier est produit pour classer les types de courants, d'une part en fonction de leur origine (courants de vent, de seiche, de densité, courants dus à l'entrée à la sortie des cours d'eau), d'autre part en fonction des modifications subies (force de Coriolis, frottements) une fois le mouvement lancé.

Mots clefs : marnage de lac, seiche hydrodynamique, ondes internes, vagues de lac, courant lacustre, Léman, Balaton.

Key words: lake hydrodynamics, lake-level changes, internal waves, lake waves, lake currents, Lake Geneva, Lake Balaton.

Introduction

Le mouvement de l'eau des lacs répond aux lois hydrodynamiques générales, mais comporte un certain nombre de particularités propres aux plans d'eau continentaux. Les lacs sont, habituellement, fortement dominés par leur bassin d'alimentation, si bien que les variations générales de niveau des plans d'eau, à plusieurs échelles de temps, sont dues aux apports de ce bassin.

D'autre part, les lacs, eu égard à l'océan, sont de faibles dimensions et occupent une dépression fermée. Ces traits spécifiques conditionnent l'originalité des oscillations périodiques et des courants se développant en lac. Il s'agit de l'importance des fluctuations dues à l'entrée en résonance d'ondes stationnaires dans la cuvette lacustre et, plus généralement, de l'influence des formes bathymétriques dans tous les mouvements d'eau lacustre. Il s'agit aussi du remplacement des ondes libres par les vagues forcées, de la complexité des courants, de l'absence de moments d'équilibre chez ceux-ci, de la multiplicité des flux affectés par les obstacles et ne pouvant se déplacer sans contrainte. La grande particularité lacustre réside dans la rareté des mouvements d'ensemble, remplacés par la domination d'une multitude de causes locales, à grande échelle cartographique, liées aux irrégularités morphométriques de la cuvette.

Il faut ajouter que, sur les 230 000 km³ d'eaux lacustres de la planète, 123 000 sont douces, d'où un certain nombre de différences supplémentaires avec l'océanographie dynamique. Il en est ainsi des possibilités d'ondes internes concernant une structuration verticale qui ne peut être que thermique, ou encore de l'impulsion simplifiée des courants de densité.

I. LES VARIATIONS GENERALES DU NIVEAU DES PLANS D'EAU

Les variations générales du niveau des plans d'eau sont celles qui reflètent les fluctuations de volume. Elles répondent à différentes échelles de temps, dont les plus longues sont acycliques. Le régime du lac dépend quant à lui de la marche des saisons. Ce flux et reflux cyclique, bien qu'il suive un rythme annuel et n'ait aucune cause commune avec les marées, a pris en limnologie l'appellation de marnage, qu'on donne par ailleurs à la dénivellation marine semi-diurne. Les variations générales de niveau des lacs sont surtout expliquées par l'évolution du bilan hydrologique.

A. Les variations pluriannuelles de niveau

Les variations pluriannuelles de niveau se caractérisent par des possibilités de dénivellation très fortes, de parfois plusieurs dizaines de mètres, allant jusqu'à la disparition du lac. Dans les plus vieux lacs, en général des plans d'eau d'origine structurale (Touchart, 2000a), les fluctuations de volume peuvent laisser, à l'échelle des temps géologiques, des modelés d'héritage lacustre marquant les anciens niveaux.

1. LES VARIATIONS DE NIVEAU A L'ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES

A l'échelle de centaines de milliers d'années, certains lacs structuraux ont connu des variations de niveau considérables, dont les témoins sont les terrasses lacustres étagées au-dessus du plan d'eau actuel. Les écarts présents, parfois aussi dus à la tectonique décalant les plates-formes d'abrasion, ne sont pas toujours à imputer aux seules oscillations de niveau (Мац, Леви, 1991, Осадчий, 1995), mais il n'en reste pas moins que celles-ci peuvent, à cette longue échelle de temps, dépasser l'hectomètre. Autour du Baïkal, des terrasses lacustres ont été identifiées à 300 m au-dessus du niveau actuel dans la péninsule du Saint-Nez (Черский, 1886b, 1889) et à 216 m dans les îles Ouchkani (Ламакин, 1952). Il y a 1,5 million d'années, le lac Mataro avait son niveau moyen à 140 m au-dessus du Titicaca d'aujourd'hui. Il y a 1 million d'années, le Cabana était toujours à 90 m au-dessus du plan d'eau actuel (Dejoux, 1994). Il y a 700 000 ans, le Ballivian se trouvait à 50 m au-dessus du niveau d'aujourd'hui et, il y a seulement 10 à 12 000 ans, le lac Tauca se situait encore à 5 m au-dessus du Titicaca (Lavenu, 1981). Pour les 15 000 dernières années, le plus bas niveau de la Caspienne était à la cote -133 m, son plus haut niveau sans doute à +3 m. Le chiffre de +31 m, parfois avancé, est sans doute erroné (Létolle & Touchart, 1998). Il y a seulement 6 000 ans, le lac Tchad

possédait une tranche de près de 60 m de plus qu'aujourd'hui, mais, il y a 13 000 ans, il était totalement à sec (Servant & Servant, 1983).

A l'échelle de quelques milliers d'années, les lacs d'héritage morphoclimatique peuvent eux aussi subir d'assez importantes baisses de niveau, ne dépassant cependant pas quelques décimètres. Dans les lacs des Alpes et du Jura, on retrouve des terrasses lacustres à plusieurs mètres au-dessus du plan actuel, comme autour du Léman (Morlot, 1854, Colladon, 1875, Schoeneich, 1999) et du lac de Neuchâtel (Axelrod, 1978). Il existe un certain nombre de lacs, aujourd'hui disparus, qui ont laissé les traces de leur descente de niveau saccadée. L'évolution des anciens lacs juxtaglaciaires en terrasses de kame en est un exemple (Gagnebin, 1933, 1937, Croset, 1954, Vial, 1976).

Les signes de niveaux plus bas que l'actuel, sous forme de banquettes immergées, sont plus rarement décrites. Il en a été décelé dans le Baïkal (Лит, 1964, Mats, 1993), le Koussougol (Золотарев *u comp.*, 1989), l'Ontario (Coakley & Karrow, 1994). D'autres indices le montrent dans la Caspienne et l'Aral (Létolle & Touchart, 1998).

Les conséquences des variations de niveau à longue échelle de temps sont innombrables. On peut citer la réduction du plan d'eau dans des proportions telles que le nombre d'espèces vivantes s'appauvrit considérablement, comme cela s'est produit à l'état naturel pour l'Aral (Létolle & Mainguet, 1993, p. 140). Des lacs à émissaire peuvent aussi perdre ce dernier et se rétracter dans leur dépression fermée. L'Aral a connu aussi cette évolution. L'Issyk-Koul, dont la baisse de niveau a provoqué la disparition de l'effluent, la Koutémaldinka, seulement en 1820 (Létolle & Touchart, 1998), fait la transition avec les variations à l'échelle séculaire ou décennale.

2. LES FLUCTUATIONS DE NIVEAU A L'ECHELLE SECULAIRE OU DECENNALE

A moyenne échelle de temps, d'une année à l'autre, les variations de niveau sont les plus fortes et les plus irrégulières dans les lacs endoréiques. On sait que la Caspienne a connu au Moyen Age des cycles de 80 à 110 ans de hausses et de baisses alternatives de niveau d'une amplitude de 6 m. Vu la superficie de ce lac, cela signifiait un écart d'environ 2 000 km³ (mille lacs Balaton en plus ou en moins !) en quelques décennies. Pour la période la plus récente, la Caspienne monta jusqu'à un très haut niveau en 1803, puis baissa de 3 m jusque dans les années 1860, pour remonter ensuite de quelques décimètres à la fin du XIX^e siècle et redescendre de 4 m jusqu'en 1977. Depuis cette date, le lac remonte très vite et a gagné 2,1 m de 1978 à 1993, posant d'énormes problèmes d'aménagement (Miossec, 1998). Deux autres lacs de milieu aride voient leur niveau décroître rapidement depuis 1960. Depuis cette date, l'Aral (Létolle & Mainguet, 1993) a en effet perdu 17 m et la Mer Morte 21 m (Oren & Gavrieli, 2002, et fig. 38). Il n'est en fait pas rare que les plans d'eau endoréiques d'importance moindre soient temporaires, comme, en Australie, le lac Eyre, qui couvrait 7 800 km² en 1950 (Bonython & Mason, 1953) et 9 690 km² en 1974 (Timms, 1992), mais est à sec la plupart du temps.

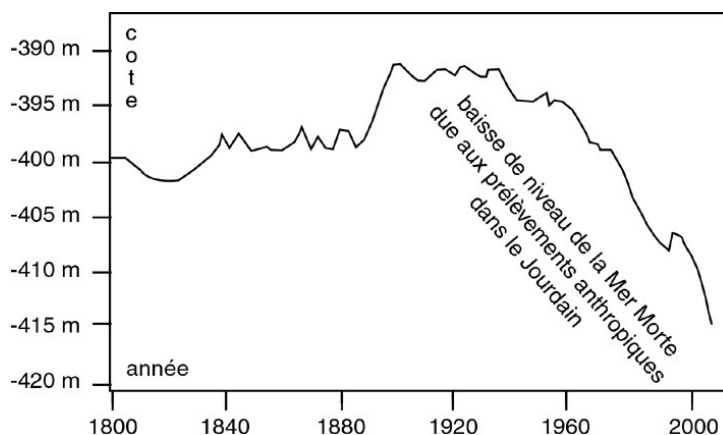


Fig. 38 Les fortes variations de niveau des lacs endoréiques : le cas de la Mer Morte
D'après Oren & Gavrieli (2002)

Dans certains cas plus rares, les lacs exoréiques peuvent aussi connaître quelques variations de niveau importantes d'une année à l'autre. Le Tanganyika est ainsi monté de 6 m de 1846 à 1878, puis a chuté de 10 m jusqu'en 1894 (Devroey, 1938a et b). Mais, en général, les variations interannuelles des lacs exoréiques ne sont que de quelques décimètres. Du milieu du XVIII^e au milieu du XX^e siècle, le niveau moyen du Baïkal a fluctué dans une fourchette de 120 cm (Афанасьев, 1960, 1967, 1976).

B. Le marnage des lacs

La dénivellation entre les hautes eaux et les basses eaux saisonnières d'un lac reflète le régime de son volume. Dans un tableau récapitulatif d'une exceptionnelle richesse, Halbfäß (1923, pp. 122-123) a compilé les marnages moyens (*mittleren Jahresschwankungen*) et maxima (*höchsten Jahresschwankungen*) de nombreux lacs mondiaux. En zone tropicale, le Malawi et le Tanganyika connaissent une dénivellation moyenne annuelle de 75 cm mais l'écart peut atteindre 12 m. Pour le Nicaragua, les valeurs moyennes et maximales sont de 2 et 8 m. On pourrait citer aussi le Grand Lac du Cambodge, dont le marnage moyen est de 8 m (Carbonnel & Guiscafré, 1965, Létolle & Touchart, 1998). En milieu aride, la dénivellation moyenne de la Caspienne est de 40 cm, celle de l'Aral 34 cm. Le marnage maximal de la Mer Morte est de 3 m, comme celui de l'Aral (Halbfäß, 1923). En zone tempérée, les Grands Lacs Américains connaissent des fluctuations annuelles d'environ un demi-mètre, 66 cm en moyenne pour l'Ontario, 54 pour le Michigan, 46 pour l'Erié (*id.*). Toujours en domaine continental, le marnage moyen naturel du Baïkal est de 82 cm (période 1898-1958, Афанасьев, 1976).

En Europe, les marnages lacustres tournent souvent autour du mètre, bien que les exceptions soient nombreuses. Dans le Jura, le marnage maximum du lac de Chaillexon est de plus de 21 m, celui du lac de Joux de plus de 5 m. Dans les Alpes italiennes, le Verbano (Lac Majeur) a enregistré une valeur maximale de 8,12 m, pour une moyenne de 3 m (Halbfäß, 1923). Dans les Alpes françaises, le lac de Montriond offre à l'état naturel un marnage moyen de 11 m (Sesiano, 1993, Touchart, 2000a). Avant la construction des vannes de Genève, l'amplitude annuelle maximale du Léman était de 2,8 m (Forel, 1892). La dénivellation moyenne du Bodan (lac de Constance) est de 209 cm (maximum 4 m), celle du lac de Thoue 177 cm, de Lugano 154 cm, d'Annecy 122 cm, de Würm 60 cm. En milieu méditerranéen, les lacs de Trasimène, Bolsena et Bracciano ont tous un marnage moyen d'une quarantaine de centimètres (Halbfäß, 1923).

Les plus forts marnages mondiaux sont ceux des lacs artificiels, qu'ils barrent le Zambèze, tel celui de Cabora Bassa, dont la dénivellation atteint 36 m (Burgis & Morris, 1987), ou l'Iénisséï, comme celui de Saïano-Chouchensk, où le marnage atteint 42 m (Горкин, 1998, Touchart, 2000a, p. 124) pour une tranche d'eau de 222 m, soit 19 %. Certaines valeurs relatives sont très élevées : sur la haute Charente, le lac de Lavaud possède un marnage moyen de 9 m, pour une profondeur de 16 m, soit 56 % de la tranche d'eau.

A une échelle de temps encore plus courte que celle du marnage saisonnier, des variations générales de niveau, qui ne sont donc pas des ondes, peuvent se produire dans un laps de quelques heures à quelques jours. Ainsi, lors de la crue de 1889, le Verbano (Lac Majeur) est monté de 190 cm entre le 28 et le 29 octobre (Dussart, 1966, 1992, p. 175). Mais, à travers l'évocation de la crue du Tessin, c'est déjà une cause des variations de niveau qui est abordée.

C. Les causes des variations de niveau : le contenu et le contenant

Les fluctuations générales du niveau des lacs reproduisent souvent le comportement de leurs tributaires, cependant que, dans certains cas, d'autres paramètres du bilan hydrologique deviennent prépondérants. Il faut ajouter les variations de forme de la cuvette lacustre, parfois assez fortes pour changer les possibilités de contenance en eau.

1. LE BILAN HYDROLOGIQUE DES LACS

Pour une morphométrie constante de la dépression fermée, toute variation générale de niveau d'un lac est expliquée par le bilan hydrologique. Selon Frécaut (1979), les apports à un plan d'eau sont formés par les affluents, les eaux souterraines et les précipitations directes à la surface du lac. Quant aux pertes, ce sont celles de l'effluent, de l'infiltration par le fond et de l'évaporation. On peut ajouter au décompte de R. Frécaut quelques postes en général un peu moins importants, notamment les apports par ruissellement élémentaire (Winter, 1995) et par condensation. Le premier n'est pas à négliger dans les lacs de cratère volcanique et la seconde peut prendre une certaine proportion dans les vastes lacs peu profonds.

Le bilan hydrologique ainsi composé peut s'étudier à plusieurs échelles de temps. Son caractère par exemple négatif d'année en année sur un temps long provoque l'assèchement progressif du lac. Quand l'un des facteurs est modifié, un nouvel équilibre peut se former longtemps après. Ainsi, en puisant une grande quantité d'eau dans le Jourdain depuis plusieurs décennies, les Israéliens ont bouleversé directement le poste d'apport par affluent à la Mer Morte. S'ils poursuivent les prélèvements dans leur quantité actuelle, ce lac aura perdu 124 m par rapport au début de la baisse, avant de stabiliser son niveau avec le nouveau bilan hydrologique imposé par l'Homme (Oren & Gavrieli, 2002). En effet, indirectement, du fait du nouveau volume, donc d'une salinité différente, l'évaporation se modifie, puis finit par compenser, et non plus dépasser, les faibles apports.

L'autre échelle de temps du bilan hydrologique est celle des fluctuations saisonnières à l'intérieur de l'année. Tout en tenant compte d'un décalage d'autant plus long que le volume du lac est grand, les basses eaux correspondent à un bilan négatif, tandis que les hautes saisonnières reflètent le caractère temporairement positif de la balance hydrologique. Par exemple, dans les lacs de plaine du domaine tempéré continental, l'alimentation par la fonte nivale provoque des hautes eaux printanières et, dans les grands lacs à longue inertie, estivales. A l'inverse, en milieu océanique vrai, comme dans les lochs écossais, le niveau maximal est hiémal. Dans les lacs montagnards de la zone tempérée, les hautes eaux sont de saison chaude, dues à la fonte nivale et glaciaire. Les Alpes en sont le type même et le régime des lacs de cette chaîne a été étudié en détail par Collet (1925, pp. 101-114). Hors ces lacs monomodaux, la zone tempérée possède des régimes lacustres bimodaux, comme sur la façade orientale des continents, en régime amourien. Le lac Khanka en est un exemple, où le maximum de fonte nivale est séparé de celui dû aux derniers relents de la mousson par un minimum secondaire. En dehors de la zone tempérée, les lacs de la zone tropicale offrent une opposition entre les plans d'eau équatoriaux, à régime bimodal, et les lacs tropicaux à saison alternée, dont les hautes eaux correspondent à la saison des pluies.

A quelque échelle de temps que ce soit, des tendances séculaires jusqu'au régime saisonnier, le comportement hydrologique des lacs peut se classer en quelques grands types (*cf.* chap. IV). Dans tous les cas, l'Homme tend à intervenir de plus en plus dans le bilan hydrologique lacustre, mais le lien avec les classifications n'est pas absent, puisque l'influence est proportionnellement démultipliée dans les milieux de bilan naturellement fragile, notamment dans les régions arides. L'exemple de l'Aral est connu (Létolle & Mainguet, 1993). L'assèchement anthropique de la Mer Morte, pourtant aussi fort, a été moins médiatisé. Les apports du Jourdain étaient de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au début du siècle. Du fait des prélèvements israéliens, ils sont désormais de $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Le niveau de la Mer Morte était de -391 m , pour une superficie de 980 km^2 dans les années 1940, il est de -415 m en 2001, pour une surface de 635 km^2 (Oren & Gavrieli, 2002). Et la baisse n'est pas prête de cesser (*cf. supra*).

A courte échelle de temps, les marnages lacustres sont, eux aussi, de plus en plus influencés par l'Homme. Le Léman ne possède plus de régime naturel depuis 1713 (Forel, 1892). La dénivellation moyenne est aujourd'hui de 70 cm , sauf les années bissextiles, quand les vannes de Genève provoquent un marnage d'environ 1 m , afin de pouvoir curer les ports (Touchart, 1987). Bref, l'écart a été diminué par l'Homme dans un rapport de 2 à 3. Dans le Baïkal, le niveau est contrôlé depuis la construction du barrage d'Irkoutsk en 1958. A l'inverse du Léman, le marnage a été ici légèrement augmenté, passant de 82 à 94 cm (Афанасьев, 1976). De nombreux autres lacs naturels ont désormais leur niveau régulé, comme le Balaton ou le lac de Paladru. Dans le cas des lacs artificiels, ce n'est pas seulement la valeur du marnage qui est modifié, mais même la saison des hautes et basses eaux. Il y a, en fonction des besoins, décalage, voire inversion des périodes par rapport à celles du régime fluvial de la région. L'exemple des lacs champenois du Der et de la Forêt

d'Orient, qui doivent assurer la protection de Paris face aux crues de la Seine, est éloquent à cet égard. Mais, finalement, la construction d'un barrage anthropique destiné à contrôler le bilan hydrologique se trouve être aussi une modification morphologique de la dépression fermée.

2. LA CONTRE-PENTE DE LA CUVETTE LACUSTRE

Même si les apports et les pertes en eau restent inchangés, le niveau du lac peut être modifié. Le cas le plus simple est celui des lacs endoréiques, pour lesquels un même volume peut donner naissance à un niveau différent par modification de la forme du contenant. Ainsi, pour la Caspienne, les variations structurales générales de la cuvette sont parfois avancées comme facteur complémentaire du bilan hydrologique positif de la Caspienne. La montée du niveau lacustre pourrait être favorisée directement par un relèvement tectonique du fond et indirectement par l'augmentation de débit des nappes phréatiques dus aux mouvements structuraux caucasiens (Rodionov, 1994). Seul le premier terme nous intéresse ici, le second n'étant autre qu'une modification du bilan hydrologique, eût-elle une lointaine origine géomorphologique. Quoi qu'il en soit, la cause tectonique directe de montée du niveau de la Caspienne depuis 25 ans semble mineure par rapport au bilan hydrologique (Rodionov, 1994, Létolle & Touchart, 1998).

Dans les lacs exoréiques, le phénomène est plus compliqué, dans le sens où la perte d'eau par l'émissaire est un facteur du bilan tout en étant la conséquence de celui-ci (Touchart, 1996a, *cf.* chap. IV). Le débordement par dessus la contre-pente fermant la cuvette lacustre est donc un terme hydrologique susceptible d'être modifié par un exhaussement morphologique ; la réciproque est vraie, puisqu'un surplus hydrologique peut éroder la contre-pente.

En milieu tempéré continental et en zone froide, surtout si un relief montagnard fournit les déclivités nécessaires, la fréquence des coulées de gélifluxion, ou, au contraire des laves torrentielles dues aux pluies estivales, peut être telle que les contre-pentes lacustres en sont modifiées. En Mongolie, le Koussougol est un cas exemplaire. En 1971, 1972 et 1986, des coulées de boue ont emprunté la vallée de l'Oulguène-Saïr (Черкасов *u comp.*, 1972, Порозин, 1993). Or cet affluent se jette dans l'émissaire précisément à sa sortie du lac. L'accumulation se produit donc sur le seuil qui ferme le Koussougol et forme barrage. Privé d'écoulement, le lac voit son niveau s'élever brusquement. Avant que l'effluent n'ait déblayé les apports de l'Oulguène-Saïr, le niveau lacustre peut rester haut de nombreux mois et ne reprendre sa cote initiale que plusieurs années après (Touchart, 1996b).

En zone tropicale, le système morphogénique est différent. Le facteur biologique y tient une plus grande place. Les contre-pentes lacustres sont parfois rehaussées par des barrages végétaux, d'autant plus solides qu'ils comportent aussi des accumulations d'altérites. Ce fut ce qui provoqua au XIX^e siècle la montée du Tanganyika de plusieurs mètres, pendant une trentaine d'années (Devroey, 1938a et b).

En outre, sous toutes les latitudes, l'Homme intervient désormais en modifiant les sorties des émissaires. Certains anciens lacs naturels ont été transformés en plans d'eau artificiel par un barrage rehaussant le niveau de plusieurs mètres. Dans le Beaufortin, on peut citer le lac de la Girotte, dont le niveau naturel était à 1 719 m. Un barrage le surélève aujourd'hui à 1 753 m (Jaulin, 1950, Gignoux & Barbier, 1955). Ce rehaussement de 34 m représente plus du tiers de la tranche d'eau initiale.

A la différence de ces variations générales de niveau, il existe aussi des hausses accompagnées de baisses simultanées à un autre endroit du plan d'eau. Ce sont les ondes lacustres.

II. LES ONDES LACUSTRES

Les ondes¹ lacustres possèdent de nombreux points communs avec celles que subit l'océan, mais aussi de multiples différences. Ces dernières sont dues au fait que les lacs sont des bassins fermés de petite taille. Plus qu'à celles de l'océan ouvert, les oscillations provoquées par les ondes lacustres ressemblent surtout à celles des mers presque fermées, comme la Méditerranée, voire à celles de baies

¹ Il n'est peut-être pas inutile de rappeler qu'onde signifie étymologiquement eau. Les déformations de la surface des plans d'eau sont les ondes éponymes.

marines. Les différences sont d'autant plus sensibles que la période est grande. Il convient donc d'étudier cette dernière de manière décroissante.

A. Les marées lacustres

Le phénomène de la marée (*tide*, *Gezeiten*, *нприлив*) ne peut être mesuré que dans les plus grands lacs et encore y est-il souvent insignifiant. Le marnage est la dénivellation entre les hautes et les basses eaux d'une marée donnée et l'amplitude est le marnage moyen (moyenne du marnage moyen de morte eau et du marnage moyen de vive eau). Les plus fortes marées lacustres étudiées sont celles des Grands Lacs Américains. Le record de 100 mm au nord du lac Huron (Young, 1929) est critiqué, mais le marnage maximal du Lac Supérieur à Duluth est de 60 mm, celui du Michigan à Milwaukee est de 25 mm environ (Harris, 1909). Dans le Baïkal, l'amplitude est de 25 mm et le marnage maximal de 32 mm d'après les travaux de Т.П. Кравец, А.П. Екимов, И.А. Парфианович, cités par Галазий (1988, с. 102). Mais Sterneck (1928) affirmait que les marées du Baïkal ne dépassaient nulle part 15 mm. Dans les lacs de taille moyenne, l'amplitude devient très inférieure à 1 cm et seules les recherches récentes ont permis de les déceler. Ainsi, dans le Léman, Forel (1895), pour lequel l'étude des oscillations de niveau était pourtant une priorité, n'était pas arrivé à les isoler. Mercanton (1948, 1949) les découvrit en premier ; il est vrai que le marnage maximal aux extrémités ouest et est du lac n'atteint même pas 5 mm (Mercanton, 1955 et fig. 39).

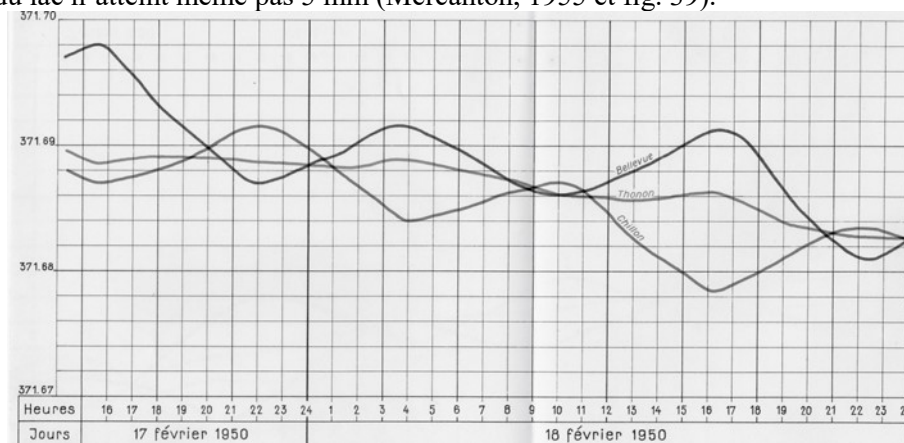


Fig. 39 Les variations de niveau du Léman dues à la marée

D'après Walser *et al.*, 1954

Les cotes en ordonnées sont en mètres virgule millimètres

La marée s'explique par l'entrée en résonance d'ondes stationnaires dans la cuvette lacustre, ces ondes ayant pour origine les phénomènes d'attraction entre la Terre, la lune et le soleil. La période dépend de la composante harmonique que le bassin lacustre amplifie le plus. On sait que les quatre principales sont l'onde lunaire principale semi-diurne (M2), de 12,42 h, l'onde solaire principale semi-diurne (S2), de 12 h, l'onde lunisolaire diurne (K1), de 23,93 h, et l'onde lunaire principale (O1), de 25,82 h. L'analyse harmonique n'a pas été réalisée dans beaucoup de lacs. Là où on la connaît, dans les Grands Lacs Américains (Harris, 1909), le Baïkal (Sterneck, 1928), le Léman (Mercanton, 1955), le quotient des composantes diurnes par les composantes semi-diurnes donne pour résultat une marée mixte à prédominance semi-diurne. En effet, le rapport $K1+O1 / M2+S2$ est égal à 0,56 dans le lac Supérieur à Duluth, 0,62 dans le Léman à Chillon, 0,77 dans le Baïkal².

Comme les ondes amplifiées par la caisse de résonance de la cuvette lacustre sont stationnaires, les nœuds et les ventres sont fixes dans l'espace et synchrones dans le temps. Du fait de la force de Coriolis, les nœuds sont des points amphidromiques, autour desquels rayonnent des lignes cotidales, qui sont des isochrones de la marée. Mercanton (1955) en a tracé dans le Léman.

² Selon Guilcher (1979, p. 98), un rapport inférieur à 0,25 indique une marée semi-diurne toute l'année, un rapport compris entre 0,25 et 1,5 une marée semi-diurne la plupart du temps avec une partie de l'année en marée diurne, un rapport compris entre 1,5 et 3 une marée diurne la plupart du temps avec une partie de l'année en marée semi-diurne, et un rapport supérieur à 3 une marée diurne toute l'année.

La marée fonctionne selon le même principe que les seiches et il est d'ailleurs possible que, dans certains lacs où la période des seiches est d'une douzaine d'heures, la marée accentue celles-ci.

B. Les seiches

Les seiches au sens large sont des fluctuations périodiques subies par les différentes surfaces de discontinuité des lacs. L'interface entre l'eau et l'air est la première de ces discontinuités et son oscillation ondulatoire correspond aux seiches proprement dites. Mais les barrières internes, comme la thermocline, peuvent aussi fluctuer.

1. LES SEICHES EXTERNES

Les seiches externes, ou seiches au sens strict, sont des oscillations pendulaires de la surface d'un lac, dues à l'entrée en résonance d'ondes stationnaires dans la cuvette lacustre, lesquelles ne sont pas liées aux procès d'attraction entre la Terre, la lune et le soleil. En fait, la grande différence avec la marée réside dans le fait que l'impulsion de la seiche est donnée par un phénomène plus puissant, dont le temps de retour est irrégulier³.

a. La seiche assèche

Depuis des siècles, les riverains observent les seiches de leurs lacs sous de multiples noms, qui expriment tantôt le mouvement du flot, tantôt le reflux. L'alternance des deux se manifeste dans le patois des habitants de la région de Viterbe. Quand le lac de Bolsena souffre une seiche, on dit que : « *il lago trenfia* », le lac halète. Le flux seul se retrouve dans le *floing* des Norvégiens, le *lunken* (mot à mot « le petit trot ») des Suédois du lac Vättern, et, sous une connotation plus agitée, le *Rühß* des riverains du Bodan. Le reflux s'exprime sous la forme de la portion de littoral délaissée, découverte, momentanément asséchée, d'où les Italiens ont tiré les *sesse* et les Suisses romans la *seiche*. Ce dernier terme est devenu scientifique et international grâce aux travaux du Vaudois François-Alphonse Forel à la fin du XIX^e siècle. Il est utilisé dans toutes les langues, même en japonais (*seisin*) et en russe (*ceïuuu*). Certes, les Allemands utilisent parfois *stehenden Seespiegelschwankungen* (Defant, 1908), ou, plus simplement *Seeschwankungen* (Endrös, 1906b) et E. Zeppelin proposa *Laufen*, mais le mot n'a jamais pris (Halbfaß, 1923, p. 172). En anglais, le terme de *basin mode* a été proposé par Bohle-Carbonell & Van Senden (1990), mais cette suggestion lexicale suisse dans la langue de Shakespeare est restée sans suite.

Nous émettons ici l'hypothèse que la plus ancienne seiche ait été observée par Scipion lors du siège de Carthagène au III^e siècle avant Jésus-Christ. Les soldats romains auraient en effet profité de l'assèchement et du reflux des eaux de l'étang situé au nord de la ville pour surprendre l'ennemi. Cette seiche fut cependant sans doute compliquée par le chenal reliant cette lagune à la mer et la description fut pipée par le fait que le général utilisa cet événement naturel pour le transformer, selon la volonté de Neptune, en prodige divin⁴. Les Aztèques eux aussi avaient peut-être déjà décrit les seiches du lac Texcoco avant l'arrivée des Espagnols (Deevey, 1957). Mais, finalement, la plus ancienne observation indubitable fut celle du chroniqueur allemand Christoph Schulthaiß concernant le Bodan (Forel, 1895, p. 50, Halbfaß, 1923, p. 150). Le 23 février 1549, le mémorialiste de Constance avait vu de ses yeux les oscillations de l'eau, si bien que la narration était de première main et s'exprimait en termes de crue et décrue du lac. Il n'est pas exclu que les dénivellations des lacs d'Amérique du Nord décrites en 1673 par l'explorateur français Marquette, délaissant pour un temps sa mission jésuitique, aient été des seiches, mais les écrits restaient évasifs (Le Conte, 1884, p. 43). Un autre voyageur français, le baron de La Hontan, observa quelques fluctuations de niveau des lacs américains en 1689. Mais, plus sensibilisé aux problèmes des étangs et marécages par son origine landaise, Louis Armand de Lom

³ Entendons bien que c'est l'impulsion de la seiche qui est, à la différence de celle de la marée, acyclique. En revanche, une fois le mouvement lancé, la seiche est elle aussi, comme la marée, une oscillation cyclique.

⁴ Le passage exact rapporté par Tite-Live est le suivant : « *Medium ferme diei erat : et ad id, quod sua sponte cedente in mare aestu trahebatur aqua, acer etiam Septentrio ortus inclinatam stagnum eodem, quo aestus, ferebat, et adeo nudaverat vada, ut alibi umbilico tenus aqua esset, alibi genua vix superaret* » (Titus Livius, *Ab Urbe condita libri*, XXVI, XLV). L'historien Scullard (1970, p. 255, note 40) assimile lui aussi les dénivellations de l'étang de Carthagène à celle du Léman.

d'Arce ne fit pas ses observations lacustres avec assez d'acuité pour pouvoir trancher en faveur de la seiche. Au début du XVIII^e siècle, plusieurs auteurs suédois rapportèrent les flux et reflux du lac Vättern (Hearne, 1705, Tiseliuss, 1722). Le premier document écrit en français portant le mot de seiche se trouvait être *l'histoire naturelle du lac de Genève* publiée par Jean-Christophe Fatio de Duillier en 1730⁵. Un autre Genevois, le pasteur Jean Jallabert, les étudia dans les années 1740⁶. Puis le grand savant de la température des lacs, Horace-Bénédict de Saussure (cf. chap. I), fit aussi des recherches sur les seiches⁷ dans le Léman, observant *de visu* celle du 3 août 1763 (Saussure, 1763). Le philosophe genevois en donna pour la première fois les causes exactes (Saussure, 1779). Les simples observations se multipliaient, de l'Ecosse au Canada. En 1784, une seiche de grande taille impressionna les habitants de Kenmore, à l'extrémité orientale du loch Tay (Forel, 1895, p. 51) et, en 1789, A. Mackenzie en décrivit une dans le Lac Supérieur (Whittlesey, 1874). La première étude scientifique longue, minutieuse et systématique fut à mettre au crédit du Suisse Vaucher (1833), qui nota scrupuleusement les caractéristiques des seiches du Léman de 1802 à 1804, tenta des corrélations avec les phénomènes atmosphériques et constitua, pour la première fois, un réseau international d'observations des seiches, s'adjoignant des correspondants français et italiens. A partir de 1869, le Vaudois François-Alphonse Forel se passionna pour l'étude des seiches du Léman, puis des autres lacs, et même des seiches marines. Il est clair que la résolution définitive du problème des seiches, leur description parfaite et leur théorisation mathématique⁸ furent la grande œuvre de l'inventeur de la limnologie (Touchart, 1992a)⁹.

Sous l'impulsion de Forel, l'engouement pour les seiches surpassa, non seulement sur les bords du Léman et des autres lacs suisses (Plantamour, 1877, 1878, Sarasin, 1879) mais dans tous les pays, quelque autre sujet limnologique que ce fût¹⁰. Ce furent notamment l'Australien Russel (1885) à propos du lac George, le Hongrois Cholnoky (1897) sur le Balaton, le Français Bruyant (1903) pour le lac Pavin, les Allemands Endrös (1903, 1904, 1905, 1906a, b, c, 1908, 1913) sur les lacs bavarois et autrichiens, Ebert, sur le Würmsee, et Halbfaf (1902, 1903, 1910, 1923) sur le Madüsee, le Britannique Chrystal (1904, 1905a, b, 1908a, b, 1910 Chrystal & MacLagan-Wedderburn, 1905) à propos des lacs écossais, surtout le loch Earn, les Italiens Magrini (1905) sur l'ensemble des lacs transalpins, Bettoni (1900), Teglio (1905), Caloi (1948) à propos du Benaco, Vercelli (1915) sur le Verbano, les Japonais Nakamura & Honda (1911) sur les lacs volcaniques dont le Toya. Le Bavarois Anton Endrös (1903) alla jusqu'à consacrer sa thèse tout entière aux seiches du Chiemsee. Le phénomène, devenu l'emblème du mouvement propre aux lacs, était dès lors bien connu et compris.

b. L'oscillation lacustre par excellence

Il existe certes quelques seiches marines de peu d'importance, dans les ports, les baies, les détroits, mais force est de reconnaître que la seiche est l'oscillation lacustre par excellence, témoignant par là même du caractère fermé de la cuvette des plans d'eau continentaux. La seiche est un procès

⁵ « Il se fait de fois à autres plusieurs de ces abaissements & de ces élévations d'eau, en peu d'heures, qui aportent des changemens considerables à la surface du Rhône, & causent des véritables flux & reflux. Ils sont très aparens dans quelques Fossees de la Ville, & particulierement dans ceux du côté de Plein-Palais. Cette sorte de flux & reflux, s'appelle à Geneve des Seiches. On a vû quelquefois dans cette Ville des Seiches très remarquables : Il s'en fit 3. ou 4. le 16. Septembre 1600. avant midi, d'environ 5. pieds de hauteur ; de sorte que les Bateaux qui étoient dans le Port y restèrent autant de fois à sec : mais l'eau revenoit & s'élevoit chaque fois avec beaucoup de promptitude » (Fatio de Duillier, 1730, pp. 463-464).

⁶ Ce mémoire fut inséré dans *l'Histoire de l'Académie Royale des Sciences* pour l'année 1741 selon de Saussure (1779, p. 13), 1742 selon Forel (1895, p. 43).

⁷ « Flux & reflux ou seiches du Lac. Outre la crue réguliere des eaux en été, on voit quelquefois dans des journées orageuses, le Lac s'élever tout à coup de quatre ou cinq pieds, s'abaisser ensuite avec le même rapidité & continuer ces alternatives pendant quelques heures. Ce phénomène connu sous le nom de *Seiches*, est peu sensible sur les bords du Lac qui correspondent à sa plus grande largeur ; il l'est davantage aux extrémités, mais surtout aux environs de Geneve, où le lac est le plus étroit » (Saussure, 1779, p. 12).

⁸ « L'hypothèse que j'ai proposée, il a une vingtaine d'années, est bien près d'arriver à la dignité d'une théorie » (Forel, 1895, p. 212).

⁹ « N'est-ce pas quelque chose d'avoir trouvé une explication plausible des grandes seiches de Genève et une solution satisfaisante du problème de l'Euripe ? (...) Sur une échelle vraiment gigantesque, nous aurons la preuve de quelques-unes des lois qui sont à la base de la science humaine ; nous aurons, dans la faible mesure de nos forces, donné une certitude nouvelle au fondement scientifique sur lequel est bâti tout l'édifice du travail de l'humanité » (Forel, 1895, p. 213).

¹⁰ « A partir de cette date [les travaux de Forel] et pour une cinquantaine d'années, aucune autre branche de la limnologie ne reçut autant d'attention » (Hutchinson, 1957, p. 300, en anglais).

limnologique universel, qu'on est susceptible de rencontrer sur tous les lacs¹¹. Au sens strict, la seiche est le cycle complet d'une seule oscillation, caractérisée par sa hauteur et sa période¹². Dans la nature, le phénomène se produit par une succession de seiches. Le mouvement d'ensemble est rythmique, pendulaire, alternatif, constitué d'élévations et d'abaissements répétés du niveau du lac. « J'appelle série de seiches, l'ensemble des seiches de hauteur décroissante, qui se développent sous une impulsion unique, depuis la première seiche, de hauteur maximale, jusqu'aux dernières où la hauteur arrive à zéro » (Forel, 1895, p. 118).

Les seiches notables, celles qui ont une importance manifeste, possèdent une hauteur de quelques décimètres. Si le littoral a une pente faible, la surface alternativement couverte et découverte par ce balancement peut déjà être grande. Les seiches du Bodan observées à Constance le 23 février 1549 avaient une hauteur d'une soixantaine de centimètres. Dans quelques cas rares, la hauteur dépasse 1 m. On sait que les seiches du Léman du 3 août 1763 avaient une hauteur de 1,47 m, grâce à leur étude très précise effectuée à Genève par H.-B. de Saussure (4 pieds, 6 pouces, 9 lignes selon Saussure, 1763, p. 18, et 1779, p. 13). Celles du loch Tay observées à Kenmore le 12 septembre 1784 avaient une hauteur analogue, estimée à 1,5 m (Forel, 1895, p. 51). La hauteur la plus grande mesurée dans le Léman¹³ fut de 1,87 m (55 pieds et 9 pouces du pied de roi) le 3 octobre 1841. Et encore était-ce une valeur minimale, puisque, au début de la série, l'échelle limnimétrique était dépassée, si bien que les mesures exactes ne purent commencer qu'après amoindrissement¹⁴. Sur quelque lac que ce soit, il est exceptionnel que la hauteur des seiches atteigne plusieurs mètres. La valeur maximale jamais citée de 4,57 m fut une seiche du lac Érié observée par Whittlesey à Cleveland le 23 juin 1882 (Forel, 1895, p. 53), mais cet ordre de valeur n'a jamais été repris et souffre donc discussion.

La période des seiches peut se calculer mathématiquement en fonction des dimensions de la cuvette lacustre (*cf. infra* c.), les diverses méthodes existantes donnant d'ailleurs des résultats légèrement différents. Dans les lacs où elles sont observées, on connaît empiriquement les périodes et les mesures régulières par les limnigraphes ont permis de montrer qu'elles étaient toujours les mêmes. Les seiches des principaux lacs de la planète ont des périodes allant de quelques minutes à quelques heures, chaque lac possédant plusieurs périodes en fonction de la direction de l'oscillation et du nombre de nœuds (*cf. infra* c.). Par exemple, la seiche uninodale longitudinale du Vättern a une période de 2h 59', celle du Léman 1h 13', du Bodan 56', du Benaco 43', du loch Earn 14'30'', du lac de Bret 3' (Halbfaß, 1923). Dans les très grands lacs, des valeurs de plus de 10h ont été mesurées, comme dans l'Aral (22h 45' selon Bepr, 1908) et l'Erié (13h 6' selon Hayford, 1922). Notons que des lacs de superficie moyenne (*cf. explication infra*) peuvent néanmoins présenter des seiches de longue période, comme le Balaton, où on enregistre certaines oscillations de 11h 30'. Ces longues périodes peuvent alors se confondre avec celles des marées¹⁵. A l'opposé, les plans d'eau de très petite taille connaissent des seiches dont la période se compte en seconde, par exemple 55'' pour le lac Pavin (Bruyant, 1903). Endrös (1904) a aussi montré que les seiches des étangs ont des rythmes de quelques secondes.

Les vraies seiches surviennent toujours en série. Avant que l'amoindrissement progressif ne les fasse disparaître à l'œil, le nombre habituel d'oscillations est de quelques unités ou de quelques dizaines. Les grandes seiches comptant plus de 100 cycles sont rares. La plus longue série enregistrée sur le Léman par Forel (1895, p. 110 *et sq.*) compta 147 seiches se succédant du 26 mars au 3 avril 1891. Avant d'avoir eu le temps de mourir, cette série fut dérangée par une nouvelle série. L'inventeur de la limnologie calcula, avec l'amoindrissement qu'elle possédait, que la série se serait arrêtée au bout de la 182^e seiche.

¹¹ Vaucher (1833, p. 75) écrivait déjà : « Il y a des seiches plus ou moins considérables dans tous les lacs ; ceux dans lesquels on n'en a pas encore aperçu n'ont pas été suffisamment examinés ».

¹² Forel (1895, p. 118) employait indifféremment les termes de hauteur et amplitude pour désigner la dénivellation verticale entre le point le plus haut et le plus bas de l'oscillation. Il semble préférable de ne garder que celui de hauteur (*range* en anglais), pour ne pas prêter à confusion avec le lexique de la houle, où l'amplitude est égale à la demi-hauteur. Amplitude continue d'être utilisée par certains auteurs comme synonyme de hauteur (Галазий, 1988, qui emploie *амплитуда*). A la place de la période, Forel (*ibid.*) utilisait la durée.

¹³ En fait, les anciennes observations concernaient la vieille ville de Genève, son port et le début de Rhône. En avant du Banc de Travers, à l'extrémité du lac au sens strict, les valeurs sont plus faibles, sans doute de moitié (Forel, 1895, p. 141).

¹⁴ Selon les notes de M. Veinié, directeur de la machine hydraulique de Genève, retranscrites par Forel (1895, p. 48).

¹⁵ Forel (1895, p. 40), qui ne connaissait pas d'exemple de seiches à longue période, les décrivait ainsi : « on dirait des marées en miniatures, à périodes singulièrement rapides ».

c. Une onde en résonance dans la cuvette lacustre

L'origine des seiches a fait, si l'on ose dire sans vouloir faire de l'ombre au mollusque homonyme, couler beaucoup d'encre. Le Léman fut le berceau de toutes les propositions scientifiques à ce sujet. Fatio de Duillier (1730) les expliquait par de forts coups de vent bloquant les eaux à l'endroit où l'émissaire sort du lac. Notant malicieusement que les flux et reflux se produisaient aussi par temps calme, Jallabert (1741) réfuta l'hypothèse de l'ingénieur genevois et invoqua au contraire l'entrée fracassante des affluents, enflés par la fonte des neiges, de même que le reflux de l'émissaire, repoussé par les eaux de l'Arve. Contemporain de Saussure, le sieur Bertrand suggéra qu'il pouvait s'agir d'une aspiration électrostatique de la surface du lac, suivie de son relâchement¹⁶. Il est vrai que les seiches et les orages se trouvent fort bien corrélées, du fait de la grande variabilité du champ de pression qui les accompagne. C'est ce dernier point qui est la grande cause des seiches. Horace-Bénédict de Saussure fut le premier à l'énoncer clairement, visionnaire à ce sujet comme à celui de la stratification thermique (*cf.* chap. II). « Je crois aussi que des variations promptes & locales dans la pesanteur de l'air, peuvent contribuer à ce phénomène & produire des flux & reflux momentanés, en occasionnant des pressions inégales sur les différentes parties du Lac » (Saussure, 1779, pp. 14-15). L'éclair de génie du philosophe eut quelque mal à s'imposer, laissant libre cours, pour un temps, à de fantaisistes propositions de l'influence de bulles de gaz ou d'un lac souterrain enflant sous le Léman (Vallée, 1843). Grâce à des mesures systématiques des oscillations lacustres par les limnigraphes et, concomitamment, des traits météorologiques, Vaucher (1833) puis Forel (1895) établirent définitivement les corrélations existant entre les oscillations externes et la variation de la pression atmosphérique. Une brusque et importante augmentation de cette dernière au-dessus d'une portion du plan d'eau appuie en quelque sorte en ce lieu, faisant au contraire monter la surface du lac à l'endroit opposé. A l'inverse, une dépression atmosphérique soulève une partie du lac, qui trouve sa compensation dans la baisse du niveau à l'opposé.

Une seconde origine, moins fréquente chez la plupart des lacs, est à chercher dans l'afflux d'eau poussée par le vent sur un littoral. La seiche, qui consiste en un rétablissement pendulaire de l'équilibre, ne commence qu'une fois que le vent a cessé. Il est parfois difficile de démêler les deux grandes causes des seiches, puisqu'une différence de pression est toujours accompagnée d'un vent, dont c'est la source même. Les échelles sont cependant différentes entre la variation de pression locale responsable d'une seiche et le vent, de force suffisante à l'accumulation de l'eau, lié à des écarts de pression généraux. L'important, sur le plan géographique, réside dans la distinction spatiale des lacs entre eux. Il semble que, en zone tempérée, les lacs allongés d'ouest en est possèdent plus de seiches dues aux variations de la pression atmosphérique et les lacs s'étirant du nord au sud plus d'oscillations liées à l'accumulation d'eau par le vent (Chystal, 1908, Bergsten, 1926), peut-être en liaison avec le trajet des perturbations. Mais il est vraisemblable que les conditions locales sont prédominantes, tant il est vrai, par exemple, que les orages voient leurs caractères dépendre de facteurs à grande échelle cartographique. Les variations de pression et l'accumulation de l'eau par le vent sont sans doute parfois accentuées par des gonflements d'eaux apportées par certains tributaires. Dans les très grands lacs, l'attraction des astres peut légèrement accentuer les seiches, qui se cumulent alors avec la marée.

Il a aussi parfois été dit, depuis la proposition de François Arago, qu'une dernière cause, certes beaucoup plus rare, pouvait exister sous les espèces de tremblements de terre (Hutchinson, 1957, p. 300, Dussart, 1966, 1992, p. 198). Il semble alors qu'il y ait malheureusement souvent confusion entre le raz-de-lac¹⁷, tsunami lacustre apériodique, et les seiches. En effet, pour provoquer une série de seiches, l'impulsion doit être en phase avec le mouvement.

Une fois l'eau d'une portion du lac abaissée ou soulevée par une brusque variation de la pression atmosphérique ou par le travail du vent, la tendance de la surface de l'eau à retrouver son équilibre ne se fait pas en une seule fois. La partie du lac dont le niveau avait été surélevé s'abaisse au-delà du zéro et vice versa. Amplifiée par la forme de la cuvette lacustre, l'onde créée entre en

¹⁶ « M. Bertrand, Professeur de Mathématiques à Geneve, a réfuté complètement toutes ces hypotheses, & il a donné une explication très-ingénieuse de ce phénomène, dans un discours qu'il a prononcé dans une de nos solennités académiques. Il suppose que des nuées électriques attirent & soulèvent les eaux du Lac, & que ces eaux en retombant ensuite, produisent des ondulations, dont l'effet est, comme celui des marées, d'autant plus sensible que les bords sont plus resserrés » (Saussure, 1779, p. 14).

¹⁷ Comme exemple de raz-de-lac avéré, il est possible de citer celui du 26 avril 1960 dans la Caspienne.

résonance et la fluctuation périodique peut provoquer d'importantes dénivellations. Cela ne peut se produire que si l'impulsion est en phase avec le balancement. Les vibrations sismiques ayant une période très courte, elles ne peuvent être amplifiées par les lacs sous forme de seiche. Tout au plus est-ce possible pour un petit étang, comme cela fut observé près de Tokyo lors du tremblement de terre du 18 avril 1883 (Forel, 1895, pp. 209-210). Les dimensions d'un lac sont telles que les variations de la pression constituent une origine plus adaptée.

Bref, les seiches reproduisent, dans la nature, l'expérience du balancement de l'eau que tout le monde a faite dans une baignoire. Si l'on frappe avec un objet plat une extrémité du plan d'eau en cadence, l'oscillation est créée, puis entretenue, telle une balançoire, tandis que, si l'on frappe à contre-temps, on ne construit rien ou on arrête le mouvement qui existait. Si on met entre les mains d'un quidam une bassine rectangulaire, une crèche remplie d'eau, en lui demandant de mettre la surface de l'eau en balancement, cette personne battra instinctivement la cadence plus vite si la requête concerne un mouvement transversal, plus lentement pour une oscillation longitudinale. L'entrée en résonance des ondes se fait donc en fonction de la direction.

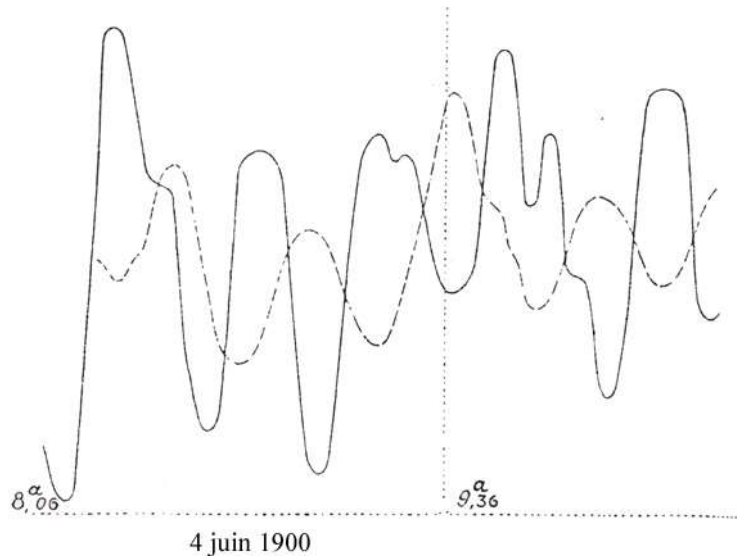


Fig. 40 *Seiches transversales uninodales dans le lac des Quatre Cantons*

D'après Halbfaß (1923)

Légende : en trait plein : limnigramme à Küßnacht ; en tiretés : à Stansstad. Les basses eaux dans la première localité correspondent aux hautes eaux dans la bourgade opposée.

Toutes les observations limnigraphiques montrent que les lacs possèdent chacun plusieurs types de seiches liés à des orientations différentes. Les seiches de plus longue période forment un balancement qui concerne la longueur du lac. Ce sont des seiches longitudinales. Dans le sens de la largeur, les seiches transversales (fig. 40) présentent des périodes plus courtes (à nombre de nœuds égal, cf. *infra*). La complication dépend ensuite de la forme plus ou moins tourmentée de la cuvette lacustre. Dans les lacs à bassins multiples, des seiches locales concernent chaque lobe, de même que certaines baies. En outre, plusieurs seiches peuvent interférer, c'est-à-dire se produire en même temps. Forel (1895, p. 113) a appelé seiches dicrottes celles qui laissaient sur les limnigraphes du Léman l'alternance d'une oscillation élevée, puis basse, puis élevée, etc. Deux seiches peuvent donc s'intercaler, mais des cas plus complexes encore se produisent parfois. Dans les lacs de forme circulaire, la différence entre seiches longitudinales et transversales n'existe plus et plusieurs oscillations de même période peuvent se cumuler dans plusieurs directions. Le croisement des axes des seiches se réalise dans les lacs de caldeira, comme le Toya (Nakamura & Honda, 1911, Touchart & Ishiguro, 1999), ou de maar, comme le Pavin (Bruyant, 1903).

On sait depuis longtemps que les endroits du lac où les seiches atteignent leur hauteur maximale sont toujours les mêmes. C'est par exemple Genève dans le Léman, Kenmore dans le loch Tay. Il se trouve que ce sont les extrémités des lacs oblongs, montrant dans ces deux cas la prédominance des seiches longitudinales. En outre, la hauteur s'affaiblit en s'éloignant des bouts de lac et ces seiches deviennent insensibles en s'approchant du milieu du plan d'eau. La fameuse seiche

du Léman de 73 minutes possède donc un seul point, central, d'oscillation nulle, et deux points d'oscillation maximale, aux deux bouts du lac.

Si le jeu de la baignoire ne lasse pas, on peut aussi appuyer sur la surface de l'eau non pas à une extrémité du bassin, mais au milieu. Une fois la bonne cadence trouvée, l'eau a un balancement maximal non seulement aux deux extrémités mais aussi au milieu, soit en trois endroits. Il y a alors deux nœuds et trois ventres. L'expérience peut se poursuivre au-delà. Les seiches sont donc des ondes stationnaires (*stationary oscillations* ou *standing waves*, *stehenden Wasserwellen*, *стоячие волны*) qui entrent en résonance, si bien que les points d'oscillation nulle, soit les nœuds, et les points d'oscillation maximale, soit les ventres, sont fixes dans l'espace (d'où le fait que les villes riveraines concernées sont toujours les mêmes) et synchrones. Les seiches rencontrées dans les différents lacs du monde sont le plus souvent uninodales ou binodales, mais il en existe des trinodales et plus. Une seiche x-nodale a x nœuds et (x+1) ventres. Dans le loch Earn, on a pu identifier des seiches sextinodales (Chrystal, 1908, Chrystal & MacLagan-Wedderburn, 1905). Le maximum connu en limnologie est constitué des seiches octinodales du Benaco (« *achtknotigen Seiches des Gardasees* », Defant, 1908, S. 779).

Outre la longueur du lac dans la direction de l'axe de la seiche et le nombre de nœuds se succédant sur ce transect, les caractéristiques des oscillations dépendent de l'épaisseur de la tranche d'eau. Les riverains des lacs importants savent bien que la hauteur des seiches est plus élevée sur les littoraux bas. Par exemple, dans le Léman, la primauté de Genève est certes due à la localisation à un bout du lac, mais aussi au fait qu'il s'agit de l'extrémité la moins profonde. Il faut ajouter le resserrement du Petit Lac devant la ville helvète. Dans d'autres lacs, il est notoire que les détroits, comme celui de Tihany dans le Balaton, exacerbent les seiches.

Ainsi, des observations limnigraphiques et de l'expérience du terrain limnologique peut-on déduire que les traits des seiches dépendent de la morphométrie des plans d'eau. La mise en boîte mathématique des seiches s'appuie sur des formules issues des travaux de Lagrange au XVIII^e siècle, puis de Merian (1828), du Boys (1891) et Chrystal (1904, 1905a, b, 1908). La formule la plus simple se trouve être :

$$t = \frac{2l}{\sqrt{gh}}$$

avec : t : période de la seiche en seconde, l : longueur (pour une seiche longitudinale) du lac en mètre, h : profondeur moyenne du lac en mètre, g : accélération de la pesanteur de 9,81 m/s². C'est la formule de Merian simplifiée par William Thomson (lord Kelvin) dans le cas où le quotient de la profondeur par la longueur est petit (inférieur à 0,2). Or c'est pratiquement le cas de tous les lacs de la planète. La formule fut utilisée en limnologie pour la première fois par Forel (1895). Elle s'applique au seiches uninodales ayant lieu dans une cuvette régulière (le cas parfait étant qu'elle soit rectangulaire et à fond plat). Cette formule rend compte d'un fait éminemment géographique : la période des seiches est d'autant plus grande que les lacs sont étendus et peu profonds. Si les dimensions horizontales avaient été une cause rapidement trouvée par les premiers observateurs, l'épaisseur de la tranche d'eau fut un mystère un peu plus long à découvrir. L'intervention de celle-ci explique par exemple pourquoi le Balaton, plan d'eau pelliculaire, a des seiches de périodes beaucoup plus longues que celles du Léman, alors que les deux lacs ont une surface comparable. A l'inverse, les lacs peu étendus mais très profonds, comme le Pavin, connaissent des périodes de seiche très courte.

La formule convient aussi aux seiches plurinodales, si on la généralise en :

$$T_n = \frac{1}{n} \frac{2l}{\sqrt{gh}}$$

avec T_n période d'une seiche n-nodale (T₁ période d'une seiche uninodale, T₂ période d'une seiche binodale, etc.) et n nombre de nœuds. Une seiche binodale a donc une période correspondant à la moitié de la seiche uninodale du même lac, une seiche trinodale à un tiers, etc.

La théorie devient plus épineuse si le lac a un fond irrégulier. En fait, la formule de Merian-Kelvin-Forel est d'autant moins juste que la forme du lac s'éloigne de celle d'une piscine. Elle est d'autant plus exacte que la profondeur moyenne est représentative des profondeurs les plus fréquentes du lac. Pour tenter d'améliorer le calcul en cas d'irrégularité de la forme du lac, l'ingénieur annécien Paul du Boys (1891) donna une formule universelle, mais beaucoup plus compliquée, bientôt dépassée

par celle du Japonais Terada (1906). Defant (1908), Doodson *et al.* (1920) participèrent aussi à l'avancée mathématique des seiches quant à la variabilité de la profondeur. Dans les lacs très plats, comme le Neusiedl-Fertö, les frottements sur le fond modifient les formules (Ramming, 1979, p. 72).

Chrystal (1904, 1905a, b, 1908) eut une approche plus originale, en créant autant de formules mathématiques qu'il y avait de formes de lac. Il simplifia ces dernières en huit types possibles. Le transect du fond d'un lac peut être rectangulaire, parabolique concave symétrique, semi-parabolique concave, parabolique convexe symétrique, prismatique symétrique, demi-prismatique, quartique tronqué symétrique, quartique tronqué asymétrique. Pour chaque type, la formule fait appel à la profondeur maximale. En ce qui concerne la forme rectangulaire, profondeurs maximale et moyenne sont les mêmes et Chrystal reprend la formule de Merian-Kelvin-Forel dans sa généralisation plurinodale. Dans le cas de la forme concave, la formule se trouve être :

$$T_n = \frac{\pi l}{\sqrt{n(n+1)gh_m}}$$

avec : T_n : période d'une seiche n-nodale en seconde, n : nombre de nœuds, l : longueur (pour une seiche longitudinale) du lac en mètre, h_m : profondeur maximale du lac en mètre, g : accélération de la pesanteur de 9,81 m/s². Dans un bassin parfaitement concave, une seiche binodale a donc une période correspondant à plus de la moitié de celle de la seiche uninodale (1 : 57,7 exactement). Contrairement aux bassins rectangulaires, c'est la seiche quadrinodale (1 : 31,6) qui a la période se rapprochant le plus du tiers de la seiche uninodale et non la seiche trinodale (1 : 40,8). Toutes les autres formules donnent elles aussi des fractions différentes de 1/2, 1/3, etc. C'est cela qui explique la perplexité de Forel concernant le fait que les seiches binodales du Léman présentaient une période un peu plus longue que les seiches uninodales. Les formules se compliquent d'autant plus que la forme du fond se complique elle aussi et cela culmine, chez Chrystal, dans le bassin quartique tronqué asymétrique, qui est malheureusement la forme la moins éloignée de celle de la plupart des lacs.

Chez tous les auteurs précédents, la réflexion avait porté sur la complication apportée par la variation de la profondeur du lac et c'est en effet la principale. Il se trouve que la forme en plan joue aussi un peu, surtout la configuration des extrémités du lac. Bref, la longueur du lac ne rend pas tout à fait compte à elle seule du rôle des dimensions horizontales dans la période des seiches (Jeffreys, 1923, 1928). Cela pose aussi la question des seiches transversales, pour lesquelles on peut utiliser toutes les formules précédentes telles que l représente, cette fois-ci, la largeur du lac, mais qui, dans la réalité, ne se conduisent pas exactement ainsi.

Malgré la qualité et l'utilité des démarches modélisatrices précédentes, qui permettent incontestablement d'estimer les périodes, aucune méthode mathématique n'a encore jamais donné avec une exactitude parfaite le rythme des seiches observées dans la nature. Il suffit pour s'en convaincre d'appliquer les formules à un exemple, celui de la seiche éponyme, la longitudinale uninodale du Léman. Selon le calcul de Milne, la période serait de 70,4 à 70,7 minutes, selon Defant 71,4 minutes, selon du Boys 71,7 à 72,8, selon Doodson 74,5 (Dussart, 1992, p. 201). Or les enregistrements limnigraphiques très précis montrent que la réalité est de 73,5 minutes. La seiche est un phénomène particulièrement géographique. Ses caractères dépendent de la forme complète de la cuvette, de l'ensemble de la bathymétrie, dans toutes ses irrégularités et sa complexité. La seiche est la manifestation hydrodynamique des propriétés spatiales du lac.

Dans une série de seiches, la période, dont la difficulté du calcul vient d'être approchée, reste la même pendant toute la durée des oscillations successives, du moins si le lac est assez profond. En revanche, la hauteur diminue d'un cycle sur l'autre, du fait des frottements, si bien que les seiches meurent au bout de quelques unités ou quelques dizaines en général. Il y a décroissance, amoindrissement (*damping* en anglais, mot à mot étouffement) des seiches du fait de la déperdition d'énergie. Bryson & Kuhn (1952) ont ainsi calculé que la dépense d'énergie par les seiches du lac Mendota en juillet et août 1951 avait été de 0,2 erg/cm²/s. Au total, l'énergie déployée par les seiches n'est cependant pas considérable et Emden (1905) a montré que celle des oscillations maximales du lac de Würm correspondait à une petite pluie de 2 mm/h d'intensité tombant pendant seulement 20 secondes sur l'ensemble du lac. Il n'y a que dans les lacs pelliculaires assez étendus que cette question a de l'importance, la perte relative d'énergie étant si grande que la période elle-même en est modifiée, dans le sens de l'allongement (Defant, 1932). C'est le cas du Balaton.

La seiche est sans aucun doute le phénomène le plus important de l'épistémologie de la limnologie, celui qui a permis de rassembler les chercheurs il y a un siècle et de cimenter la nouvelle science des lacs qui naissait alors. La connaissance des seiches a aussi une importance pratique certaine. On sait que la solidité de la banquise lacustre est une condition *sine qua non* de son utilisation par les moyens de transport. Or, par exemple, les fractures dans la couverture glacielle du Ladoga sont clairement orientées et dues aux seiches (Kondratyev & Filatov, p. 136). Les seiches provoquent aussi des courants (*cf.* III), accélérés dans les détroits, dont certains, comme dans le Balaton en face de Tihany, participent au façonnement du modelé. Pourtant, la grande différence de masse volumique existant entre l'eau et l'air empêche que les seiches externes ne prennent une grande ampleur.

2. LES SEICHES INTERNES

Les seiches internes sont des oscillations pendulaires d'une ou plusieurs surfaces de discontinuité, thermoclines et chimioclines, situées à l'intérieur d'un lac, dues à l'entrée en résonance d'ondes stationnaires dans la cuvette lacustre.

Dans certains lacs écossais, Murray (1888) avait déjà noté l'inclinaison des isothermes du fait de l'action du vent, mais n'avait pas suivi le rétablissement oscillatoire de l'équilibre. Le limnologue et océanographe J. Thoulet (1894), lors d'une étude des lacs vosgiens, fut le tout premier à mentionner une seiche intérieure dans le lac de Longemer. Le Professeur de l'Université de Nancy pensait cependant que l'impulsion provenait du courant d'entrée d'un tributaire¹⁸. Le géographe autrichien E. Richter (1897), l'inventeur de la *Sprungschicht* (*cf.* chap. II-I.A.3.b.α), observa les oscillations de celle-ci dans le lac de Millstatt, mais sans les interpréter. Les explications survinrent à propos du Loch Ness, chez Watson (1904), en relation avec les travaux de W. Schmidt concernant la stabilité des lacs (*cf.* chap. II-III.A.1) et la simplification de la stratification en deux couches séparées par un plan. L'interprétation exacte de Watson, admise jusqu'à aujourd'hui dans ses grandes lignes, fut confirmée par l'inventeur de la *discontinuity layer* (*cf.* chap. II-I.A.3.b.α), E.M. Wedderburn, dans de nombreux lacs écossais. A l'instar de Forel pour les seiches externes, Wedderburn (1907, 1909, 1910, 1911, 1912) se spécialisa dans les seiches internes et en devint le spécialiste incontesté. Son intérêt se portait uniquement sur les lacs d'eau douce, si bien qu'il proposa le terme de « seiche thermique » (*temperature seiche*). Bien qu'il eût été plus réduit que celui de seiche interne, ne pouvant être utilisé pour le balancement de la chimiocline des lacs salés, le terme fut repris de l'autre côté de l'Atlantique par l'inventeur de la thermocline, l'Américain Birge (1910b), et en allemand par F.M. Exner sous la forme purement germanique de *Temperaturschwankungen*, (Exner 1908a) puis franco-germanique de *Temperaturseiches* (Exner, 1910, 1928). Le grand géographe limnologue allemand W. Halbfaß, d'abord dubitatif (Halbfaß, 1909, 1910a), fut convaincu par Wedderburn (1911) lui-même, qui quitta tout spécialement ses lacs écossais pour venir en Poméranie sur le terrain de prédilection de son homologue de l'Université de Iéna, le Madüsee. Médusé, Halbfaß (1910b) dut se rendre à l'évidence et adopta lui aussi le terme de *Temperaturseiches*, ainsi que toute la théorie qui l'accompagnait. Les travaux de Defant, à la fois en limnologie et en océanographie, et ceux des Japonais Aichi et Tanaka firent progresser la théorie des ondes internes pendant toute l'entre-deux-guerres, cependant que les observations de seiches internes se multipliaient sur divers lacs du monde, comme celles desdites seiches thermiques du Benaco (*sesse termiche* de Caloi, 1947).

Puis vint le second Wedderburn, l'Anglais C.H. Mortimer, qui, après des débuts en limnologie chimique, se passionna pour l'étude des seiches internes (Mortimer, 1952, 1953b, Lemmin & Mortimer, 1986, Horn *et al.*, 1986) et devint, grâce à ce tremplin et après un élargissement courantologique, le grand limnodynamicien de la planète (Mortimer, 1974, Graf & Mortimer, 1979). Le limnologue cumberlandais remit définitivement en avant le vocabulaire initial de seiches internes (*internal seiches*), ou ondes stationnaires internes (*internal standing waves*) et insista sur le fait que

¹⁸ « Au moment de mes observations, la Vologne, à son entrée dans le lac, avait 12° alors que la surface de la masse d'eau jusqu'à une profondeur de 5 mètres, variait de 14 à 17° ; à sa sortie elle avait 14°. Son eau avait donné naissance, vers 8 mètres de profondeur, à la couche de transition thermique brusque, au sein du lac, et cette couche même, sous l'impulsion de la masse d'eau animée du mouvement dû à son courant et qui lui arrivait à l'une de ses extrémités, s'est mise à osciller longitudinalement et transversalement, comme une sorte de seiche intérieure provoquée par une action mécanique, et l'oscillation s'est communiquée en s'atténuant jusqu'au fond » (Thoulet, 1894, pp. 588-589).

celles-ci étaient presque permanentes dans tous les lacs, le vent dérangeant tout le temps la stratification thermique. Il montra aussi l'intérêt qu'il y avait à se rapprocher de la réalité en prenant en compte, à la suite de la proposition faite dans les années 1930 par le Russe Макавеев, les trois couches d'un lac stratifié, fût-ce au prix d'une complication mathématique¹⁹. En France, la thèse de Bernard Dussart (1953), qui avait rencontré C.H. Mortimer, aborda aussi le sujet dans le Léman. A partir des années 1970, Thorpe (1971, 1972, 1974) travailla de nouveau dans le Loch Ness, qui, à l'instar du Léman pour les seiches externes, confirma son statut de lac symbole des seiches internes. Les dernières décennies, dominées à ce sujet par les limnologues suisses, américains et japonais, ont vu se développer les recherches concernant les ondes internes dans trois directions : la meilleure prise en compte de deux surfaces de discontinuités, voire plus, dans la modélisation (Wiegand & Chamberlain, 1987, Münnich *et al.*, 1992, Imboden & Wüest, 1995), la décroissance très lente et la grande durée de certaines seiches internes (Kanari, 1975, Lemmin, 1987), et, enfin, l'entrée dans les modèles des ondes internes de la bathymétrie peu simplifiée de la cuvette lacustre (Münnich, 1993). Ainsi, un siècle de recherche a permis d'assez bien connaître le fonctionnement des seiches internes.

En dessous de la surface du lac, il existe plusieurs autres plans de discontinuité séparant deux fluides de densité différente. Ce sont les thermoclines, et, dans les lacs salés, les chimioclines. Ces interfaces sont elles aussi susceptibles d'osciller du fait de l'entrée en résonance d'ondes stationnaires dans la cuvette lacustre. L'impulsion majeure est constituée par le vent, qui, accumulant l'eau dans le sens vers lequel il souffle, provoque un épaissement de la couche épilimnique dans le même sens. Il y a donc inclinaison (*tilt* en anglais) de la surface de discontinuité, la thermocline dans le cas le plus simple, qui s'abaisse dans le sens vers lequel souffle le vent. Une fois que le flux atmosphérique a cessé, l'interface interne tend à retrouver sa position initiale, mais, au lieu de s'arrêter à l'horizontale, dépasse ce niveau du fait de l'entrée en résonance, si bien que, pour atteindre l'équilibre stable, la surface de discontinuité a décrit une série d'oscillations. Le principe général est donc le même que celui des seiches.

Mais les caractéristiques de ces ondes internes sont différentes de celles des seiches externes, car l'écart de masse volumique entre les deux fluides, qui sont ici deux masses d'eau, est très faible par rapport à celui qui existait entre l'air et l'eau dans le cas des seiches. Il en résulte des amplitudes plus grandes, ainsi que des périodes et des durées plus longues. La hauteur des seiches internes est fréquemment de plusieurs centaines de fois celle des ondes externes, puisqu'elle atteint plusieurs mètres à décamètres, par exemple 8 m pour celles de l'Alpnachersee (baie fermée du lac de Lucerne) en mai 1992 (Münnich *et al.*, 1992), plus de 50 m dans le Biwa en 1993 (Jiao & Kumagai, 1995), 60 m dans le Loch Ness (Wedderburn, 1907), 150 m dans le Baïkal (Mortimer, 1953b). Les périodes des seiches internes sont aussi beaucoup plus longues que celles des ondes externes (Kanari, 1975), par exemple 60 heures pour celles étudiées dans le Loch Ness par Wedderburn (1907), 76 h pour celles du Léman (Lemmin, 1995), 912 h pour celles observées dans le Baïkal en 1914, alors même qu'elles étaient binodales (Mortimer, 1953b). Enfin, l'amoindrissement des seiches internes est nettement plus lent que celui des ondes externes. Dans le lac de Baldeg, Lemmin (1987) a mesuré des séries de seiches internes durant plusieurs semaines.

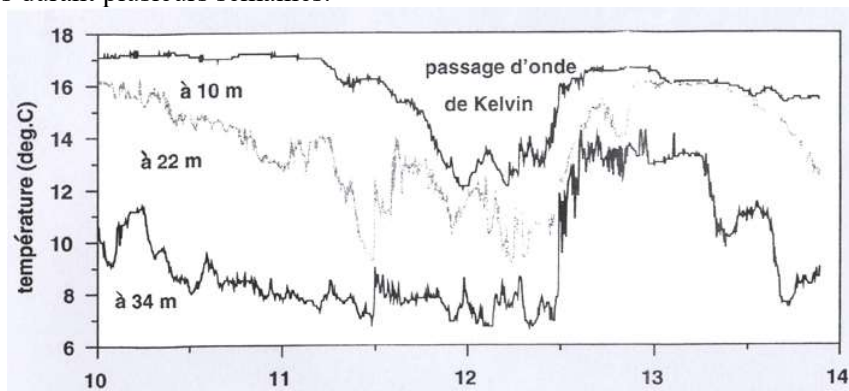


Fig. 41 Seiche interne dans le Léman
D'après Lemmin (1998). Le temps est en abscisses (unité : jour)

¹⁹ Makkaweev (1936) avait effectué séparément les calculs mathématiques pour trois et quatre couches, puis avait généralisé les formules pour n couches.

Dans les lacs des latitudes élevées, la force de Coriolis déforme le balancement de telle sorte que les surfaces de discontinuité se tordent. La thermocline oscille en s'inclinant à la fois selon l'axe longitudinal et l'axe transversal. Mortimer (1955), a précisément étudié ces effets géostrophiques sur les seiches internes du Loch Ness. Ils ont aussi donné lieu à des recherches concernant le Léman, où on a pris l'habitude de nommer cette déformation « onde de Kelvin » (Lemmin, 1998, p. 108).

Comme leurs homologues externes, les seiches internes peuvent être uninodales ou plurinodales dans le plan horizontal. Caloi (1947) a ainsi décrit des seiches internes binodales dans le Benaco, Dussart (1953, 1954) des ondes trinodales vraisemblables dans le Léman, Horn *et al.* (1986) des seiches internes quintinodales dans le lac de Zurich. Mais la différence réside dans le fait que la plurinodalité des ondes internes peut être aussi verticale, caractère impossible chez les seiches externes, où l'interface est seule et unique. La multinodalité verticale provient du fait que plusieurs surfaces de discontinuité peuvent osciller en même temps. Dans ce cas, l'amplitude des oscillations est plus faible et cela se manifeste dès la binodalité verticale (Münnich *et al.*, 1992, Imboden & Gat, 1995). Des seiches internes uninodales peuvent dégénérer en seiches binodales au cours du temps (Wiegand & Chamberlain, 1987).

Comme pour les seiches externes, l'approche mathématique la plus simple concernant les ondes internes se trouve être l'équation de Merian-Kelvin, qui rend compte de l'oscillation dans un bassin parfaitement rectangulaire. La formule est cependant plus longue, car, dans le cas des seiches externes, l'air, dont la masse volumique est très faible par rapport à celle de l'eau, était négligé dans le calcul. Pour les ondes internes, en structure bi-couche, il convient donc de faire intervenir les masses volumiques des deux masses d'eau et les épaisseurs respectives de celles-ci.

$$T = \frac{2l}{\sqrt{\frac{g(\rho_2 - \rho_1)}{\frac{\rho_2}{h_2} + \frac{\rho_1}{h_1}}}}$$

Où T : période de la seiche interne, l : longueur du lac (pour une seiche longitudinale), g : accélération de la pesanteur, ρ_2 : masse volumique de la couche inférieure, ρ_1 : masse volumique de la couche supérieure, h_2 : épaisseur de la couche inférieure, h_1 : épaisseur de la couche supérieure. Dans le cas d'un lac d'eau douce stratifié de manière très franche, où le gradient thermique est unique et très prononcé, la formule est applicable en prenant ρ_2 et h_2 comme masse volumique et épaisseur de l'hypolimnion, ρ_1 et h_1 comme masse volumique et épaisseur de l'épilimnion. On notera que la formule donnée pour les seiches externes n'était qu'une simplification de celle-ci, dans le cas où ρ_2 (la masse volumique de l'eau) était assimilée à 1 et ρ_1 (la masse volumique de l'air) à 0. Depuis Mortimer (1952), l'habitude a été prise d'appeler formule de Merian l'équation des seiches externes, rendant grâce à son inventeur mathématicien et non au premier limnologue, Forel, qui l'a appliquée, et formule de Watson l'équation des seiches internes, rendant grâce au premier limnologue qui l'a appliquée, et non au mathématicien.

Les formules sont beaucoup moins simples si on tient compte de l'oscillation de plusieurs surfaces de discontinuités en même temps. Макавеев, puis Mortimer (1952), aidé du mathématicien Longuet-Higgins, ont réalisé les principales avancées à cet égard. L'autre complication mathématique réside dans la forme de la cuvette lacustre. Si l'on souhaite l'écarter du rectangle, il faut suivre les équations de Wedderburn (1911), issues des travaux de Chrystal concernant les seiches externes, études reprises récemment par Münnich (1993). Concernant la multiplicité des surfaces de discontinuité, la formule de Mortimer (1952, p. 375) se trouve être :

$$T_{(i)} = \frac{2l}{\sqrt{(-gH_{(i)})}}$$

Où $T_{(i)}$: période de i surfaces de discontinuité, l : longueur du lac, g : accélération de la pesanteur et $H_{(i)}$: racine de l'équation quadratique de Longuet-Higgins.

De tels efforts déployés pour la résolution du problème des seiches internes sont expliqués par l'importance appliquée de celles-ci. L'ampleur des oscillations permet à l'eau hypolimnique d'affleurer en surface, donc aux éléments nutritifs de remonter jusque dans la couche euphotique et d'être repris dans le cycle trophique. Les grands différences spatiales de température en surface d'un plan d'eau (*cf.* chap. II-I.B) sont en général liées aux seiches internes et elles montrent la « futilité »

(Wedderburn, 1911, p. 628, en anglais) des mesures de température ponctuelles ou isolées dans un lac. L'ampleur des oscillations internes permet à l'inverse aux calories superficielles et à l'oxygène de descendre au fond. Les seuls courants profonds sont ceux des seiches internes (*cf.* III). C'est uniquement à ces dernières que l'hypolimnion doit de n'être pas une masse d'eau inerte²⁰. Cette turbulence profonde a des conséquences essentielles sur les échanges entre l'eau et le sédiment. La turbidité des couches les plus profondes leur est due, comme cela a été montré dans le Biwa par Jiao & Kumagai (1995), ainsi que le relargage de certaines substances.

Dans l'ensemble de la masse d'eau, les oscillations du plancton, si importantes pour l'ensemble du fonctionnement trophique du lac, sont en partie liées aux seiches internes. L'Allemand Demoll (1922) fut le premier à faire le lien entre les deux lors d'une étude du zooplancton du Walchensee. On parle depuis, parfois, de seiche planctonique. Certaines successions de prédominance des algues mobiles, puis des algues non mobiles, comme les Diatomées (Stewart & Wetzel, 1986), pourrait leur être liée. Cela n'est pas sans lien avec certaines manifestations visuelles de l'eutrophisation, quand on sait que les Cyanobactéries sont capables, contrairement au phytoplancton non mobile, de ne pas suivre tous les déplacements de la couche de saut, ainsi que Thomas (1950) l'a observé dans le lac de Zurich.

La navigation elle-même est influencée par le phénomène de l'eau morte, quand l'hélice du navire dépense son énergie à entretenir les ondes internes. Le problème, fréquent sur certains littoraux marins (Guilcher, 1979, p. 72), est aussi bien connu des navigateurs du Baïkal, qui l'appellent *мёртвая вода*. Il se produit surtout quand la Selenga apporte une eau chaude qui s'étale sur le Baïkal froid (Галазий, 1998, c. 101). Il suffit au navire d'accélérer.

Cela pose le problème des ondes internes à courte longueur d'onde. Celles-ci ne sont pas stationnaires, leur longueur étant trop courte pour pouvoir entrer en résonance dans le bassin (Lemmin, 1995, p. 97). Cette turbulence de la thermocline, appelée instabilité de Kelvin Helmholtz, survient si la stratification est assez faible par rapport à la composante verticale des courants horizontaux. Cela peut se quantifier par un Nombre de Richardson inférieur à 0,25 (Imboden & Wüest, 1995, p. 112). Les sortes de tourbillons de la surface de discontinuité, qui se forment alors, sont constitués d'enroulements de la thermocline. Ces alternances feuilletées et circulaires de lames d'eaux chaudes et froides provoquent des profils thermiques en forme de crêpeaux verticaux (Thorpe, 1969). Il en résulte un brassage à travers les plans d'égale densité, dit mélange diapycne (*diapycnal mixing*). Ces ondes internes non stationnaires à courte longueur d'onde mènent aux ondes progressives, dont les vagues sont la manifestation la plus connue.

C. Les vagues lacustres

Les vagues sont des ondes progressives, qui affectent la surface des plans d'eau. Les crêtes des vagues, mais non les molécules d'eau, se déplacent à une certaine vitesse, la célérité de l'onde. Pour plagier Dietrich (1963, p. 359), l'énergie se propage, mais non pas la matière. Les traits proviennent essentiellement du vent. Tout est changé quand la tranche d'eau est peu épaisse, c'est-à-dire inférieure à la moitié de la longueur d'onde. Les caractères des vagues dépendent alors surtout du fond.

1. LES VAGUES DU LARGE EN EAU PROFONDE

Par rapport aux oscillations océaniques et marines, les vagues des plans d'eau continentaux possèdent plusieurs particularités, dont les principales sont, d'une part, la grande faiblesse de ces mouvements dans la plupart des cas, d'autre part, la fréquente coïncidence entre l'aire de génération et la totalité du lac.

²⁰ « L'hypolimnion ne peut plus être considéré, comme on l'a jadis trop fait, comme une couche stagnante. La turbulence peut au contraire être plus forte dans l'hypolimnion que dans la région thermoclinique, malgré l'importance des gradients qui existent dans cette dernière » (Mortimer, 1952, p. 395, en anglais).

a. Le plan d'eau, un miroir souvent étale

Dans les étangs et les lacs de petite taille, la surface de l'eau est souvent parfaitement étale. C'est même le cas dans des lacs de moyennes ou grandes dimensions. Cette prédominance des calmes parfaits transparaît de l'expérience des riverains et se retrouve dans le vocabulaire. Par exemple, en allemand et en russe, le plan d'eau se dit miroir (*Wasserspiegel*, *зеркало*). L'image littéraire et picturale des lacs est aussi liée à ce fait. Si Jean-Jacques Rousseau, las de ne recevoir de nouvelle de Madame de Warens, pouvait, en cette fin d'été 1730, suivre les cercles concentriques de ses larmes tombant dans le Léman, c'était que le rocher sur lequel il songeait n'était pas assailli de lames déferlantes, mais émergeait, au contraire, d'un lac parfaitement étale²¹. Si les peintres se plaisent à figurer le reflet des rives ou des montagnes dans l'eau, c'est toujours grâce aux lacs, la mer ne permettant pas cette sérénité. Cet état prédominant provient du grand caractère des lacs par rapport à l'océan, celui de gésir dans une petite dépression fermée. La situation de calme plat est nécessaire pour la formation de phénomènes particuliers d'optique. Dans le Léman, Forel (1895) a longuement décrit, sous le nom d'images de Charles Dufour, la déformation des objets réfléchis à l'horizon sur un lac parfaitement calme.

Quand les étangs et les petits lacs ne sont pas étales, force est de reconnaître que l'état le plus fréquent de leur surface est celui des rides (*волны рябы*). Ce sont des ondes de période très courte²², en général inférieure à une seconde, due à la faiblesse des brises tout autant qu'à la petitesse du plan d'eau. L'aspect ridé est souvent irrégulier et il n'est pas rare d'observer certaines portions du lac étales et d'autres, au même moment, ridées. Ces îlots étales, qui persistent au milieu des rides, ont des contours bien délimités et sont donc souvent observés par les riverains des lacs (photo 3). Ceux du Léman les ont toujours appelés fontaines, ou, quand leur forme est allongée, chemins. Forel (1895, p. 241 *et sq.*), qui fut le premier à les expliquer scientifiquement, les nomma taches d'huile. Le terme a été repris tel quel en anglais et en allemand, à côté duquel on trouve aussi *slicks* (Hutchinson, 1957, p. 360) et *Ölflecken* (Halbfaß, 1923, p. 147). En effet, leur origine est à chercher dans des pellicules d'huile très fines de quelques nanomètres d'épaisseur, qui éteignent les rides. A l'état naturel, la décomposition des organismes vivants, animaux mais aussi végétaux comme les diatomées, est susceptible de libérer des corps gras provoquant des taches d'huile. Mais aujourd'hui, les causes concernent plutôt les déversements anthropiques et c'était déjà le cas le plus fréquent sur le Léman au XIX^e siècle²³.

Quand le vent remplace la brise, la pellicule d'huile est dispersée et les fontaines disparaissent, de même d'ailleurs que les rides voisines, toutes deux remplacées par des ondes plus longues, les vagues.

²¹ « Dans ce voyage de Vevey, je me livrais, en suivant ce beau rivage, à la plus douce mélancolie. Mon cœur s'élançait avec ardeur à mille félicités innocentes : je m'attendrissais, je soupirais, et pleurais comme un enfant. Combien de fois, m'arrêtant pour pleurer à mon aise, assis sur une grosse pierre, je me suis amusé à voir tomber mes larmes dans l'eau ! » (J.-J. Rousseau, *Les Confessions*, Livre IV).

²² Du fait des différences de masse volumique entre l'air et l'eau, la célérité minimale des ondes à la surface de l'eau est de 23,1 cm/s, pour une longueur d'onde de 1,72 cm (Neumann, 1949). En deçà de ces deux valeurs, la ride se déplace d'autant plus rapidement que sa longueur d'onde diminue. Il n'y a alors pas de dispersion. Ces ondes sont capillaires. Au-delà de 1,72 cm, l'onde se déplace d'autant plus vite que la longueur augmente. Ces rides sont alors des ondes de gravité ; elles se conduisent alors exactement comme des vagues, mais elles sont simplement très petites.

²³ « L'origine des fontaines, quand elle peut être suivie, permet toujours de remonter à la source d'un corps huileux et gras. Elles viennent d'un égout, d'une tannerie, d'un établissement de blanchisseuses ; elles marquent la trace d'un bateau à vapeur lorsque la cuisine s'est débarrassée des eaux grasses ou lorsque la pompe à cale a rejeté dans le lac l'eau salie par l'huile qui est tombée des machines » (Forel, 1895, p. 246).



Photo 3 *Rides et tache d'huile sur le lac de Vassivière*
Cliché L. Touchart, 1998

b. Le lac du vent et les vagues forcées : tout lac se confond-il avec l'aire de génération ?

Quand un vent de plus d'un mètre par seconde²⁴ se met à souffler au-dessus du lac, il génère des irrégularités de sa surface plus importantes que des rides. Pour des vitesses plus fortes, le plan d'eau est agité de manière chaotique. C'est le lac du vent, tourmenté de vagues forcées (*forced waves*, *ветровые волны* ou *вынужденные волны*). Celles-ci ne sont pas constituées de longues arêtes parallèles aux sillons, mais formées au contraire de hauteurs peu oblongues séparées de creux désordonnés. Ce sont des vagues à courte crête. Le lac se creuse au fur et à mesure que la vitesse des flux atmosphériques s'accroît. A partir d'un certain seuil, le vent accroît la cambrure (*steepness*, *крутизна*) des vagues, augmentant leur hauteur²⁵ plus vite que leur longueur. Quand la limite est dépassée, la vague s'écroule en pleine eau. Ce déferlement en pleine eau (*бурун* ou *забуренивание*) commence pour des vents de quelques mètres par seconde et le nombre de vagues concernées est de plus en plus grand au fur et à mesure que la vitesse du vent augmente. Les courtes crêtes se coiffent alors d'écume et le lac moutonne. Dans le Baïkal, les observations ont montré que les moutons (*барашки*) commençaient pour des vents de 7 à 8 m/s. Ils se généralisent pour des vents de 10 à 12 m/s (Галазий, 1998, с. 97). A vitesse de vent égale, les moutons sont un peu moins importants sur les lacs d'eau douce que sur les lacs salés, car la viscosité de ces derniers est supérieure, si bien que les petites bulles d'écume sont plus nombreuses et se conservent plus longtemps (Галазий, 1998, с. 98). L'anarchie des vagues forcées s'explique par le fait qu'elles sont composées de multiples longueurs d'onde différentes, donc de crêtes qui progressent à des vitesses variées, se cumulent ou, au contraire, s'annulent.

Les dimensions de l'espace sur lequel un vent se lève et souffle sont en général, étant donné la taille de la plupart des plans d'eau continentaux, plus grandes que l'étendue du lac tout entier. Ainsi, dans les étangs, les petits lacs et même les lacs de taille moyenne, l'aire de génération des vagues se confond avec l'ensemble du plan d'eau. La hauteur des vagues forcées dépend de la vitesse du vent et de la distance parcourue par celui-ci au-dessus du plan d'eau. Vu le caractère limité de la surface des lacs et la coïncidence entre l'aire de génération et l'ensemble du plan d'eau, la course du vent (*fetch*, *разгон*) se trouve en général être la distance allant d'une côte à l'autre dans le sens dans lequel souffle

²⁴ La valeur de 1,72 cm de longueur, qui sépare les ondes capillaires des ondes de gravité correspond précisément à une vitesse de vent de 0,695 m/s (Neumann, 1949).

²⁵ On appelle hauteur (*height*, *Höhe*, *высота*) d'une vague la distance verticale entre la crête (*crest*, *Wellenkamm*, *гребень*) et le creux (*trough*, *Wellental*, *подойма*). La hauteur est égale au double de l'amplitude.

le vent. La hauteur maximale des vagues dépend finalement de la longueur du lac, pour un vent ayant la direction du plus grand allongement du plan d'eau.

La hauteur peut être, en première approximation, prédite par les abaques dressés par les océanographes. On sait que deux approches existent à ce sujet. La première est celle de Sverdrup et Munk (1947), suivie aussi par Bretschneider (1952), la seconde est celle de G. Neumann (1952, 1953). Dans les deux cas, il s'agit de prévoir la hauteur et la période des vagues en fonction de la vitesse, de la durée et de la course du vent. La première méthode tente de résoudre le problème de la grande disparité des hauteurs en s'appuyant sur la conception de vagues significatives (*significant waves*), mise au point par Sverdrup & Munk (1947). La hauteur significative est alors celle du tiers des vagues le plus élevé. La seconde approche est fondée sur le spectre des vagues, c'est-à-dire la décomposition de l'ensemble en plusieurs groupes fonction de leur période. Neumann (1952, 1953) propose ainsi plusieurs caractéristiques de vagues pour une même vitesse, durée et course du vent. Les plus hautes vagues possibles forment une de ces classes. L'abaque (fig. 42) peut être utilisée pour un exemple dans un très grand lac. Dans le lac Supérieur, la course maximale est de 482 km (soit 260 milles marins). Si on estime un vent de tempête de 100 km/h soufflant pendant une vingtaine d'heures, cela provoquerait des vagues de 16 m de hauteur.

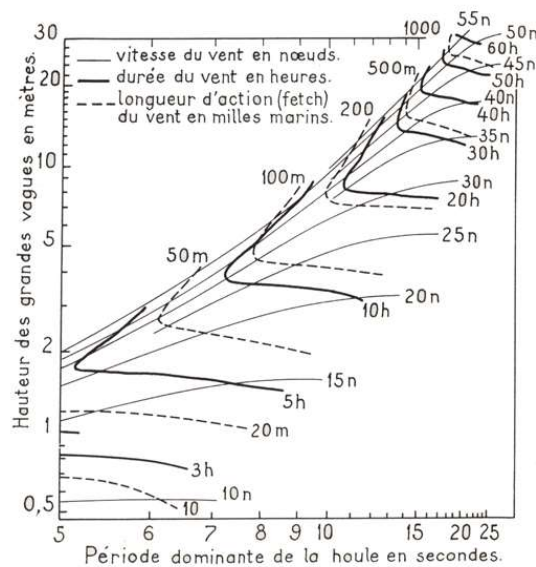


Fig. 42 L'abaque de prédiction de la hauteur des vagues de Neumann
D'après Guilcher (1979)

Comme cet exemple le montre *a contrario*, ces travaux océanographiques ne sauraient embrasser les spécificités lacustres dues au bassin fermé et à l'irrégularité des vents survolant le continent. La prise en compte du caractère limité de la surface lacustre fut l'objet d'un certain nombre de réflexions de Welch (1948), d'où est issu le concept de longueur effective maximale. A la différence de la longueur d'un lac, ligne joignant les deux points de la côte les plus éloignés, pouvant être courbe et traverser des îles, la longueur effective maximale est la ligne droite la plus longue possible ne recoupant ni le continent ni aucune île. Il s'agissait ainsi d'adapter la course du vent à un bassin qui n'a ni l'ampleur ni l'ouverture d'un océan, mais, au contraire, se caractérise par sa petitesse, sa forme plus ou moins tourmentée et sa propension à posséder des obstacles faisant face au vent et coupant les vagues. Par rapport à la longueur, les distances sont ainsi diminuées. Par exemple, alors que la longueur du Léman est de 72,3 km (Forel, 1892), sa longueur effective maximale est de 51,0 km (Touchart, 1994a).

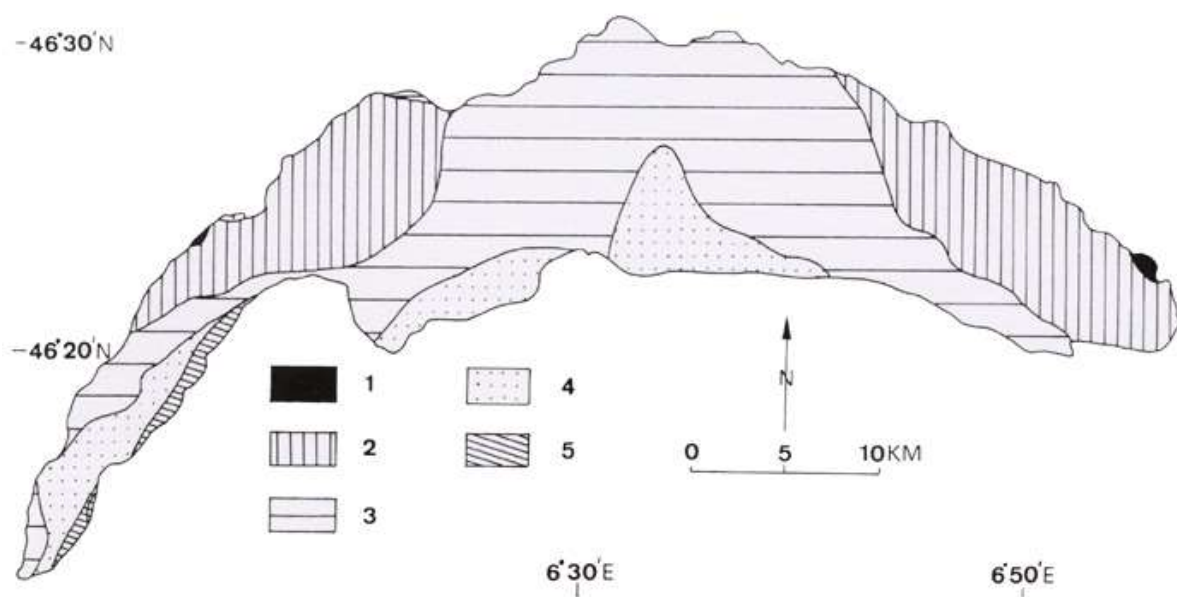


Fig. 43 Carte des longueurs effectives dans le Léman

D'après Touchart (1994a)

Légende : longueurs effectives supérieures à : 1 : 50 km ; 2 : 40 km ; 3 : 30 km ; 4 : 20 km ; 5 :
longueurs effectives inférieures à 20 km.

Cette notion, formalisée par Paul Welch, existait depuis très longtemps en limnologie. Stevenson (1852) avait déjà relié la hauteur maximale possible des vagues d'un lac avec la seule course du vent maximale (*distance from the windward shore*), selon la formule, transformée en unités métriques :

$$h=0,105\sqrt{x}$$

avec h : hauteur maximale des vagues en cm, x course du vent maximale en cm. Cette formule, issue de mesures sur les lochs écossais (à la fois marins et lacustres), est une corrélation empirique, qui n'a pas de fondement mathématique et a été, de ce fait, beaucoup critiquée. Elle possède aussi l'inconvénient majeur, pour de nombreux hydrodynamiciens, d'être simple. Force est pourtant de reconnaître qu'à chaque fois qu'on l'utilise dans un lac, elle continue fidèlement de donner un résultat assez proche des plus hautes vagues effectivement mesurées. La formule de Stevenson donne par exemple 7,3 m pour le Lac Supérieur et 2,3 m pour le Léman. Il est bien évident qu'elle n'est cependant pas exempte de reproches, ceux-là mêmes qu'on peut faire à la longueur effective maximale.

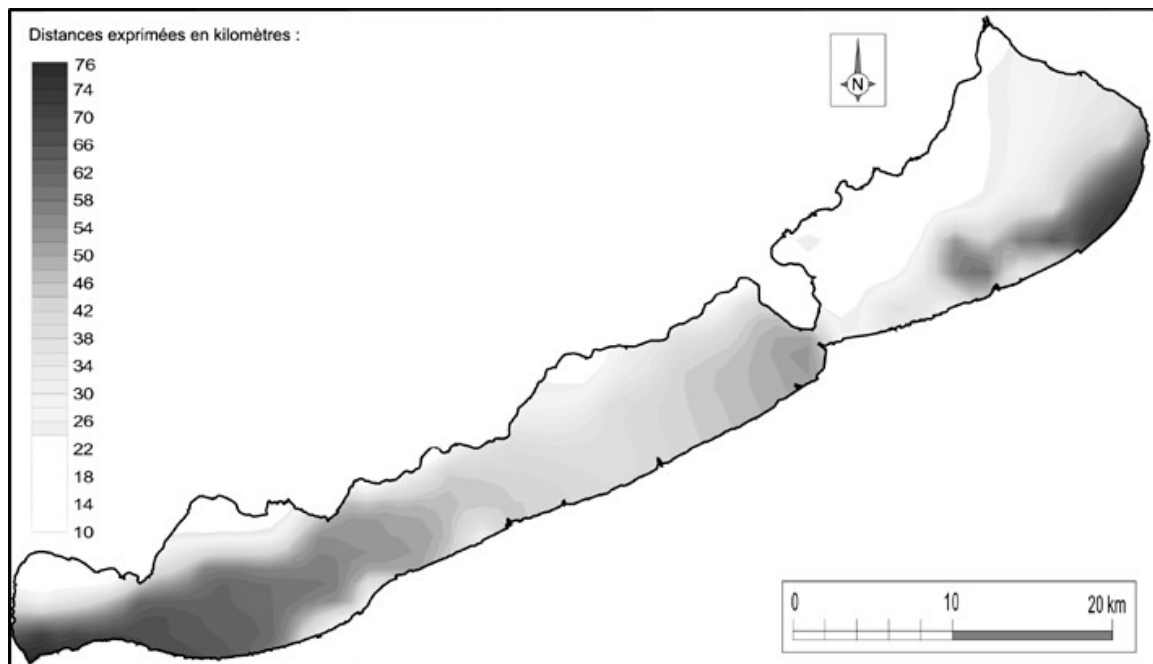


Fig. 44 Carte des longueurs effectives dans le Balaton
D'après Papon (2002)

Si l'on enlève le qualificatif de maximale, la longueur effective peut être définie comme la ligne droite joignant n'importe quel point du lac au point côtier le plus distant sans recouper de terre ferme. Il est alors possible de calculer la longueur effective en tout point et d'en cartographier les isolignes. Dans un lac de forme simple et de développement de trait de côte assez réduit, comme le Léman ou le Balaton, les extrémités littorales dans la direction de l'allongement font toujours apparaître les plus fortes valeurs (fig. 43 et 44). Dans les lacs très digités, comme celui de Vassivière, dont le développement du trait de côte est de 3,85, les fonds de baie en face des détroits s'opposent, par leurs fortes valeurs, aux abris derrière les îles et presqu'îles (fig. 45). En fait, c'est dans les lacs très étirés dans lesquels les vents dominants suivent ledit allongement, comme le Baïkal, que ce genre de carte représente le mieux les régions où se forment les plus grandes vagues (Touchart, 1994a). Dans les lacs de forme plus ramassée survolés par des flux atmosphériques dont la direction prépondérante se trouve plus proche de la largeur que de la longueur, les cartes de longueur effective sont moins pertinentes.

C'est que les lacs possèdent une autre particularité par rapport à l'océan : la grande variabilité temporelle et spatiale des vents. D'une part, la durée des vents générant les vagues est courte. Il n'y a pas d'aire de génération pratiquement permanente, comme en mer. Ces courtes durées minimisent les vagues lacustres. D'autre part, tout vent survolant un plan d'eau continental connaît de fréquents changements d'orientation. Pour mieux coller à cette réalité géographique, les limnologues, utilisant les travaux de l'océanographe Wiegel, ont mis au point la méthode de la course efficace, ou course effective maximale (*maximum effective fetch*). Selon l'Ecole Polytechnique de Lausanne, qui l'a utilisée sur le Léman, elle correspond bien à ce qui se passe en « plan d'eau confiné » (Bruschin & Falvey (1975, p. 225 & 230). Håkanson (1981) l'a appliquée au lac Vänern. Elle prend en compte pour chaque point du lac une déviation de plusieurs dizaines de degrés autour de la direction de la longueur effective. La formule est :

$$f = \frac{\sum(x_i \cos \gamma_i)}{\sum(\cos \gamma_i)}$$

avec f : course effective maximale, γ_i : angle de i degrés fait entre x et la longueur effective au point considéré (pour plus de simplicité, on prend seulement 15 angles. Ces 15 valeurs de i sont -42, -36, -30, -24, -18, -12, -6, 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, et 42°), x_i : longueur de la ligne droite, entre le point

considéré et le point de la côte opposée, tracée à i degrés de la direction de la longueur effective (x_0 est donc égal à la longueur effective)²⁶.

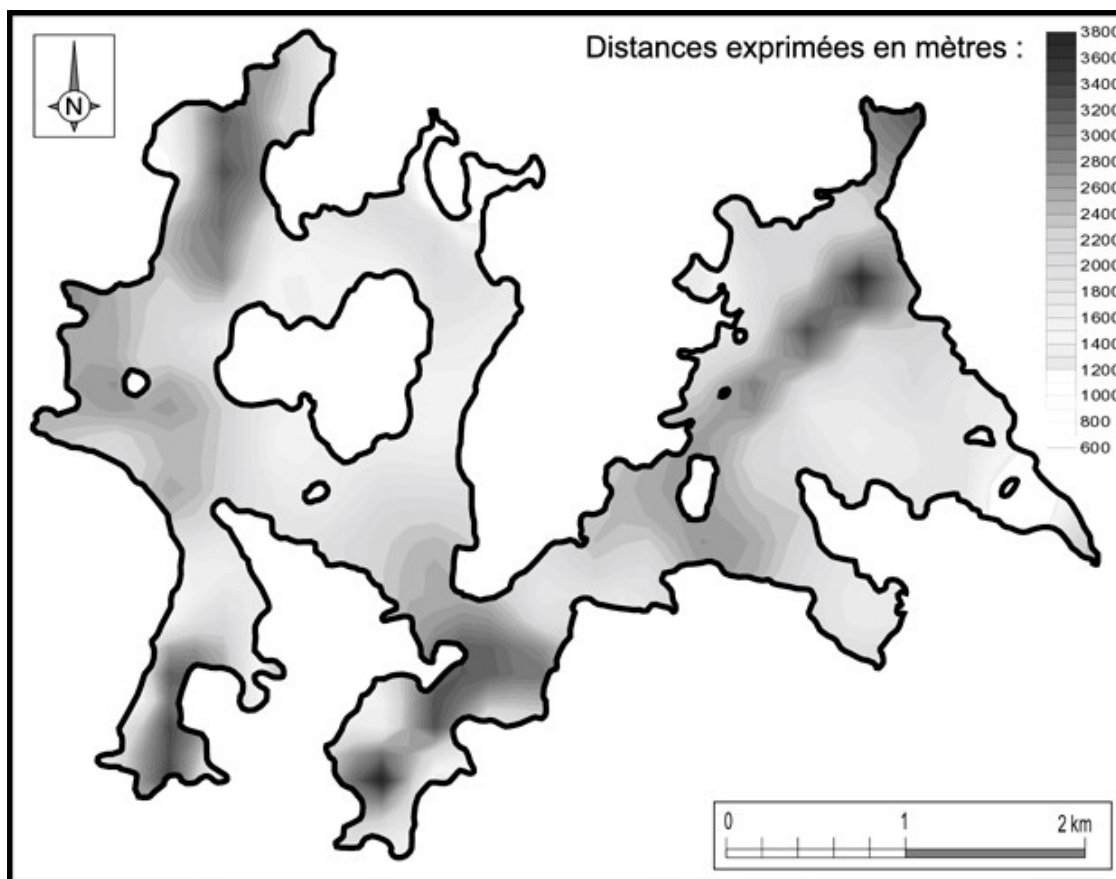


Fig. 45 *Carte des longueurs effectives dans le lac de Vassivière*
D'après Papon (2002)

Les valeurs ainsi obtenues sont nettement plus faibles que celles de la longueur effective maximale. Ainsi, dans le Léman, on ne monte guère à plus de 20 km (Touchart, 1994a). Cependant, dans le cas où la variabilité concerne non seulement le vent dominant mais aussi les vents entre eux, la course effective maximale amplifie encore trop la longueur, la rendant toute théorique. Il se pose en outre un problème géographique majeur : les isolignes de course sont construites par interpolation de points qui ne suivent pas la même logique de direction du vent, puisqu'il s'agit d'une potentialité en tout sens. Chaque point est indépendant de son voisin, alors même que la carte laisse croire à une cohérence spatiale. Ainsi, sur le Léman, le vent des perturbations, le sudois, s'oppose à celui des anticyclones, la bise, tandis que les flux²⁷ d'orage et de föhn, comme le bornan, le joran, le môlan, la vaudaire viennent des vallées de direction oblique aux premiers (Lefranc, 1923, Bouet, 1949). Il faut en fait créer une carte de la course effective pour chacun des flux (Touchart, 1994a).

²⁶ Malgré tout l'intérêt de ce calcul, notons que l'écartement du cône et sa subdivision sont tout à fait conventionnels et généraux. L'idée mériterait d'être améliorée par la recherche de seuils de variation des vents pour chaque lac autour de la direction dominante, en discrétisant les roses des vents.

²⁷ Les riverains du Léman appelant le sudois tout simplement le vent, il vaut mieux éviter ce dernier terme pour les autres et parler de flux.



Fig. 46 Carte du fetch modulé selon la rose des vents dans le Balaton
D'après Papon (2002)

Pour obtenir une carte d'ensemble épousant au mieux la réalité, Papon (2002) a créé la notion de « fetch modulé ». En chaque point de la carte du lac, on applique à la course un coefficient fonction de la durée du vent dans chacune des huit directions (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO). Par exemple, pour le Balaton, les vents de nord-ouest soufflent pendant 26,3 % de l'année. Le coefficient de 0,263 est appliqué à la course kilométrique de cette direction. Le calcul est effectué pour les sept autres directions et l'ensemble est cumulé pour chaque point de la matrice. La carte ainsi obtenue, dans le cas du Balaton (fig. 46), peut être comparée à la carte initiale, théorique (fig. 44). Tout en reflétant le sens privilégié du vent, ici de nord-ouest, ce genre de carte représente beaucoup mieux l'importance relative des vagues au large, au centre des bassins, le brassage de l'eau y étant permanent quelle que soit la direction, à l'inverse des littoraux, tantôt abrités, tantôt exposés.

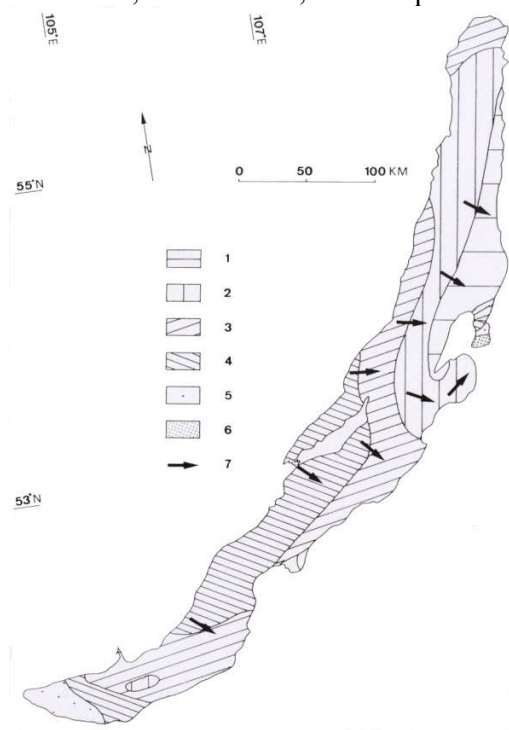


Fig. 47 Carte de la hauteur maximale des vagues du Baïkal
D'après Географический Факультет (1962) et Touchart (1994a)

Légende : 1 à 6 : hauteur maximale des vagues : 1 : supérieure à 5 m ; 2 : supérieure à 4 m ; 3 : supérieure à 3 m ; 4 : supérieure à 2 m ; 5 : supérieure à 1 m ; 6 : inférieure à 1 m.
7 : direction principale des orthogonales de vague.

Le nombre de lacs pour lesquels les hauteurs de vague ont été effectivement mesurées au large sont assez rares. Sur les très grands lacs, de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres carrés de superficie et de plusieurs centaines de kilomètres de course, il semble que les hauteurs maximales puissent dépasser 5 m, par exemple 6,9 m dans le Lac Supérieur (Cornish, 1934), près de 6 m dans le Baïkal (Географический Факультет, 1962). Dans les grands lacs, ceux de quelques milliers de kilomètres carrés, la fourchette se trouve vers 3 à 4 m, par exemple 4 m sur le lac kirguize Issyk (Хейфец, 1978, c. 140) ou 3,5 m sur le lac mongol Koussougol (Государственный комитет, 1989, c. 66). Dans les lacs de taille moyenne, ceux de quelques centaines de kilomètres carrés, les hauteurs maximales tournent en général autour de 2 m, parfois plus. Sur le lac altaïque de Telets, des hauteurs de 4 m auraient été décrites (Halbfaß, 1923, p. 144), Dans le Léman, la hauteur réellement observée au large n'a jamais dépassé 1,5 m (Forel, 1895, p. 237), mais, par déduction d'autres caractères, on estime qu'elle doit pouvoir atteindre 1,8 m. Dans le Petit Lac, où les faibles profondeurs modifient quelque peu les valeurs, des hauteurs de 2,5 m ont été mesurées lors de la tempête du 29 mars 1977 (Bruschin & Schneider, 1979, p. 251).

En zone tempérée, les plus hautes vagues forcées surviennent d'habitude en saison froide, au moment des perturbations les plus creusées et des plus grandes tempêtes. Mais le vent n'est pas seul en cause. En hiver, la température de l'eau est plus froide, si bien que l'eau atteint sa viscosité maximale. Halbfaß (1923, p.144) attribue à ce fait un surplus de hauteur des vagues. Il s'agit là d'un lien entre limnologie physique et dynamique. En été, les vagues les plus hautes sont le plus souvent liées aux orages.

La généralisation des vagues forcées dans les lacs, de ces montagnes d'eau chaotiques et déferlantes, rend la navigation plus périlleuse dans les plans d'eau continentaux qu'il n'y paraît au premier abord, à la lecture des seules hauteurs d'eau. De fait, les accidents ne sont pas rares, pour lesquels les négligences de tout genre peuvent aussi parfois jouer, bien évidemment, un grand rôle. Dans les très grands lacs, comme le Lac Supérieur ou le Michigan, les dangers de navigation doivent être pris très au sérieux. Il en est de même dans le Baïkal et ce n'est pas pour rien que l'amirauté de la Sibérie Orientale et de l'Extrême-Orient eut son siège à Irkoutsk de 1764 à 1839. Ainsi, la navigation en Mer d'Okhotsk était dirigée par la marine lacustre. Le plus terrible accident du Baïkal eut lieu à l'automne 1902, quand le navire à vapeur *Alexandre Nevski*, pris dans une tempête, rompit les câbles qui lui permettaient de tirer plusieurs chalands. Deux des trois chalands s'échouèrent sur les écueils du Cap de la Tête de Jument, provoquant la mort de 172 personnes. Les pêcheurs et les familles du troisième chaland furent sauvés, ce dernier ayant été repoussé sur un banc de sable des Petites Portes d'Olkhon. Même dans les lacs de taille moyenne, les catastrophes de navigation peuvent être dramatiques. Le Léman en a connu de nombreuses, par exemple en 1869, 1906, 1969, 1970²⁸ (Guichonnet, 1988, Hermann, 1993, Cornaz, 1998, Bertola, 2000).

Les cartes des plus hautes vagues seraient d'une grande utilité pour la navigation lacustre. Elles sont malheureusement très rares. Les géographes soviétiques en ont construit (Географический Факультет, 1962, Государственный комитет СССР, 1989). La carte du Baïkal (fig. 47) montre que le bassin septentrional concentre les plus hautes vagues mesurées en plein lac, celles dépassant 4 m. Ailleurs, les valeurs varient de 2 à 4 m. Ces différences entre les bassins reflètent le fait que certaines portions des lacs de très grande taille peuvent être forcées par le vent, cependant que d'autres ne le sont pas, ou ne le sont pas autant au même moment. Des possibilités de transfert des vagues d'un bassin à l'autre existent alors, qui s'accompagnent de la transformation des vagues en houle.

²⁸ Celle d'août 1970 fut causée par une terrible tempête de joran, ce vent de nord-ouest qui descend du Jura. Entre le géographe et le journaliste, la hauteur des vagues a certes pris plus d'un mètre, mais le lac était assurément déchaîné. « Le 7 août 1970, c'est un nouveau drame. Un coup de joran tel qu'on n'en avait pas enregistré depuis quarante ans s'abat sur le Léman avec une brutalité inouïe. En un quart d'heure, la température baisse de douze degrés et un violent orage se déchaîne, avec un vent de plus de cent kilomètres à l'heure. Le capitaine du *Rhône-III*, de la CGN, qui a cassé huit amarres, refuse de prendre le large. En quelques instants, quatre bateaux, dont deux voiliers, ont déjà été couchés par des vagues de près de deux mètres de creux. Les feux d'alerte de la côte suisse clignotent depuis un quart d'heure, lorsqu'à 16h 45 la *Sainte-Odile*, bateau construit en 1936, embarque une lame devant Yvoire et se retourne avec vingt-six passagers » (Guichonnet, 1988, p. 170). « A 500 mètres du port, le *Sainte-Odile* est alors au cœur d'une terrible tempête. Le vent souffle à 130 km/h, les vagues ont 3 mètres de creux. Raymond, le pilote, surpris, veut faire demi-tour ; la vitre de plexiglass vole en éclat ; une vague submerge l'embarcation ; les passagers se portent sur l'autre bord, c'est la catastrophe » (*Le Messenger* du 14/8/1970).

c. La houle, une simplification du spectre réservée aux grands lacs

Une fois les vagues sorties de l'aire de génération, elles se propagent dans des régions où le forçage du vent n'existe pas. Leur hauteur diminue alors, tandis que leur longueur d'onde augmente. De cet amortissement résulte une décroissance de leur cambrure et le déferlement en pleine eau disparaît. Les multiples vitesses des différents trains de vagues d'origine, les unes rattrapant les autres, se simplifient. Les ondes se classent, les crêtes s'ordonnent parallèlement les unes aux autres et perpendiculairement à leur progression, la longueur d'onde et la période deviennent régulières. Les vagues se sont transformées en houle (*swell* ou *free waves*, *Dünung* ou *tote Wellen*, *зыбь* ou *свободные волны* ou encore *инерционные волны*). Autant c'était la hauteur qui était caractéristique de la vague forcée, autant ce sont la longueur (*wave length*, *Wellenlänge*, *длина волны*), la période (*period*, *Periode*, *период*) et la célérité (*propagation velocity*, *Geschwindigkeit*, *скорость перемещения*), toutes trois liées entre elles, qui le sont de la houle.

Grâce à la régularité de la houle, son étude mathématique en tant qu'onde est possible. La longueur d'onde (λ) est la distance horizontale entre deux crêtes. Elle donne la direction de la progression, dite orthogonale de houle. La période (t) est le temps qui s'écoule entre le passage de deux crêtes successives en un point fixe. La célérité (c) est la vitesse de progression de l'onde ; elle est égale au quotient de la longueur d'onde par la période, du moins dans les simplifications utilisées habituellement. En outre :

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} t^2 = 1,56 t^2, \text{ qui équivaut à : } t = 0,8\sqrt{\lambda}$$

Si on pose $c = \frac{\lambda}{t}$, alors $c = 1,25\sqrt{\lambda}$ et $c = 1,56t$. Les valeurs de λ sont en mètres, celles de t en secondes et celles de c en mètres par seconde.

La simple relation qui édicte que la célérité est égale au quotient de la longueur d'onde par la période a des conséquences très importantes. En effet, quand la vague se transforme en houle, sa longueur d'onde augmente, donc sa célérité aussi. L'onde se déplace de plus en plus vite en s'éloignant de son aire de génération : la houle se disperse à partir du lac du vent. Cet accroissement de la célérité s'accompagne de la baisse de la vitesse du vent, d'où un rapport entre les deux de plus en plus grand au fur et à mesure que l'onde progresse. Ce quotient de la vitesse de l'onde par la vitesse du vent est appelé l'âge de la houle (Dietrich, 1963, p. 373).

Quand la houle est assez jeune, elle se rapproche le plus de l'onde définie par G. Stokes en 1847, c'est-à-dire qu'elle possède des cambrures encore élevées. Sa cambrure-limite, au-delà de laquelle il y a déferlement en pleine eau, se produit quand la crête forme un angle intérieur de moins de 120°. Selon les travaux de J.H. Michell de 1893, améliorant la théorie de Stokes, cela arrive quand la hauteur atteint le septième de la longueur d'onde, soit une cambrure de 0,14. Dans la houle de Stokes, chaque molécule d'eau décrit un cercle non fermé au passage de l'onde, de sorte qu'il y a un léger déplacement de la matière dans le sens de progression de la houle. Le diamètre des cercles diminue avec la profondeur. La houle vieillissant, sa cambrure diminue et on peut alors la rapprocher de plus en plus de l'onde définie par F. Gerstner en 1802. La houle de Gerstner a un profil trochoïdal, c'est-à-dire que l'onde progressive suit une courbe assimilable à celle que décrit un point qui se déplace sur un disque roulant sur une droite. Dans ce cas, la houle la plus cambrée correspond à la courbe décrite par un point qui se trouverait sur un bord du disque. La cambrure est alors de 0,31. Un point essentiel de la houle de Gerstner se trouve être dans l'absence absolue de déplacement de toute molécule d'eau. Celle-ci décrit un cercle lors du passage de l'onde, pour se retrouver précisément au même endroit. Le diamètre des cercles diminue avec la profondeur.

Cette longue évolution de la vague forcée à la houle de Stokes et de cette dernière à celle de Gerstner ne peut souvent pas se produire pour des raisons spatiales dans les plans d'eau continentaux, dont la surface est trop réduite. Elle se réalise néanmoins en partie pour des raisons temporelles, même dans les petits plans d'eau, l'onde s'éteignant progressivement après que le vent a cessé. La transformation des vagues en houle et la dégénérescence de celle-ci s'effectue cependant complètement, à la fois pour des causes spatiales et temporelles, dans les plus grands lacs, comme la Caspienne, les Grands Lacs Américains, le Victoria, le Tanganyika, le Baïkal. Dans ce dernier, Галазий (1988, c. 98) estime que la houle perdure une douzaine d'heures après que les grands vents longitudinaux, tels le koulouk et le verkhovik, ont cessé de souffler. Pour les vents transversaux,

l'inertie est de 2 à 3 heures. Dans les grands lacs, il est également possible que des trains de houle de directions différentes se rencontrent, issus de plusieurs aires de génération distinctes. Cela est favorisé dans les lacs formés de plusieurs bassins ou dont plusieurs vallées affluentes canalisent les vents. Dans le Baïkal, la rencontre de deux trains de houle est fréquente dans la région de Tankhoï, où la houle gaufrée (*перекрёстное волнение* ou *квадратная волна*) est célèbre. Dans le Tian Chan kirguize, cet entrecroisement se réalise assez souvent au centre de l'Issyk-Koul, où la houle de l'ouest, due à l'oulan, et celle de l'est, issue du santach, se rencontrent (Хейфец, 1978). Dans le Léman, la houle gaufrée est typique du nord du Haut Lac, où l'on peut observer « les lames de la Vaudaire se quadriller sur le lac avec celles du vent de Genève » (Forel, 1892, p. 325).

Le croisement de plusieurs houles arrive plus souvent encore à proximité des littoraux abrupts, au large des falaises plongeantes, telles celles du Lario, du Wastwater, du Baïkal, du Tanganyika (Touchart, 2000a, p. 142). Le même train initial se dédouble en effet en houle incidente et réfléchi après avoir été renvoyé par la côte escarpée²⁹. L'angle de réflexion étant égal à l'angle d'incidence, une houle gaufrée peut apparaître alors que la houle d'origine était unique. Si les crêtes de vague sont parallèles à l'obstacle, la direction des deux houles est la même, si bien que, selon les longueurs d'onde, les crêtes peuvent s'annuler ou au contraire se cumuler. Il se forme alors en général un clapotis, car les vagues lacustres sont de petite taille. Pour des houles plus importantes, le clapotis se transforme en ressac (*прибойное биение*). A part dans le cas des falaises plongeantes, les côtes lacustres sont précédées de portions littorales de faible profondeur, qui bouleversent les caractéristiques des vagues et de la houle avant le déferlement de celles-ci.

2. LES VAGUES EN EAU PEU PROFONDE

Lorsque la longueur d'onde est supérieure au double de la profondeur du lac, les vagues sont dérangées par le fond et, réciproquement, elles influencent ce dernier. Cela se produit, dans la totalité des plans d'eau, quand l'onde s'approche du littoral. Les vastes lacs très peu profonds, où la course du vent est longue, forment un cas particulier, où les vagues sont susceptibles d'être perturbées sur la totalité du plan d'eau.

a. Les vagues littorales

Tandis que, au large, la célérité de l'onde dépendait de sa longueur, à l'approche de la côte, elle devient fonction de la profondeur. En effet, à partir du moment où la profondeur devient inférieure à la moitié de la longueur d'onde, la vitesse de propagation diminue au même rythme que la racine carrée de la profondeur. Ce changement bouleverse toutes les autres caractéristiques de la vague, à l'exception de la période, qui reste la même. L'avant avançant dès lors moins vite que l'arrière, la longueur d'onde est réduite, la crête devient étroite et dissymétrique, avec un front de plus en plus raide. La hauteur, qui avait diminué lors du passage des vagues forcées à la houle, se remet à augmenter. Cela explique les valeurs plus élevées observées sur le littoral par rapport au plein lac. Par exemple, dans Léman, la hauteur des plus hautes vagues dépasse 2 m dans la baie de Genève (Graf, 1982), alors qu'elle n'atteint pas 1,6 m au large. L'accroissement de la hauteur et la baisse de la longueur provoquent une augmentation de la cambrure. Le mouvement de chaque molécule d'eau change lui aussi. De circulaire au large, il devient elliptique. Le grand axe de chaque ellipse est horizontal et le petit axe, qui est vertical, se réduit à l'approche du fond, pour finalement, sur le fond lui-même, devenir horizontal alternatif. Tous ces changements provoquent d'abord des modifications de la direction des vagues, puis leur déferlement.

Si les crêtes de vagues ne sont pas parallèles aux isobathes, elles tendent à le devenir à partir du moment où le fond influence l'onde. Cette déviation, la réfraction, s'effectue dans les proportions suivantes :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{c}{c_0}$$

avec α : angle entre les crêtes et les isobathes à la profondeur étudiée, α_0 angle entre les crêtes et les isobathes à grande profondeur, célérité à la profondeur étudiée, c_0 célérité à grande profondeur.

²⁹ La réflexion réclame une pente assez forte, mais qui peut tout de même être assez éloignée de la verticale.

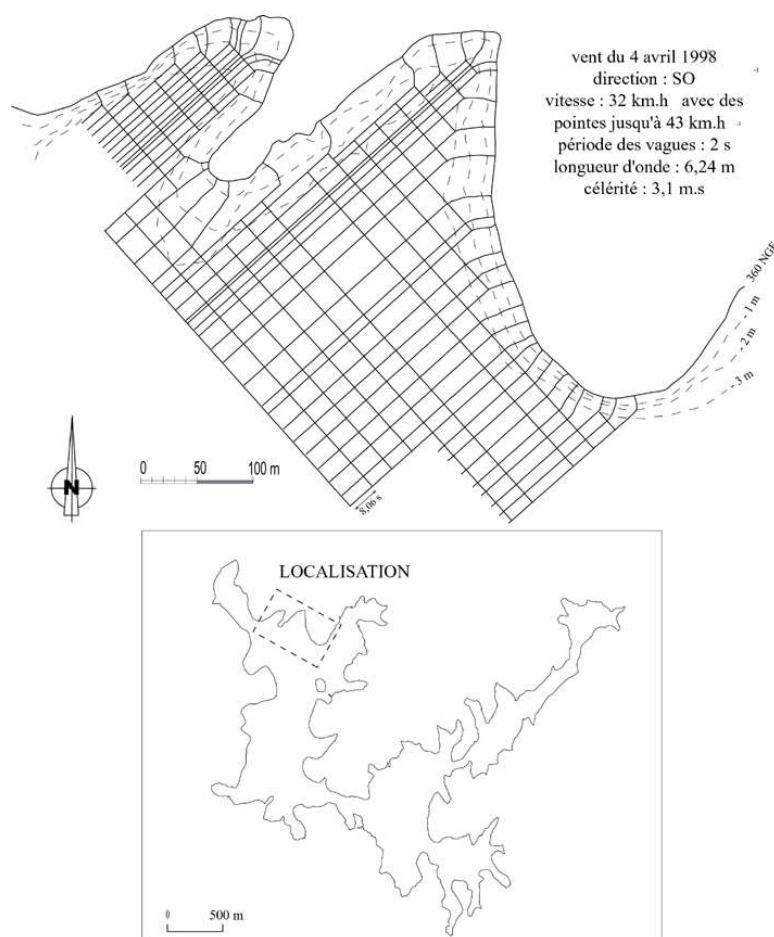


Fig. 48 Plan de vagues de la région de Fréaudour
dans le lac de Saint-Pardoux-en-Limousin le 4 avril 1998
D'après Maleval (1998)

Les orthogonales de vagues, lignes imaginaires perpendiculaires aux crêtes, matérialisent la direction de l'énergie déployée. Du fait de la réfraction, les ravins sous-lacustres, qui forment des isobathes dont la concavité est tournée vers le large, font diverger les orthogonales en direction de la côte, dispersant ainsi l'énergie. A l'inverse, les dorsales sous-lacustres, qui présentent des lignes d'égale profondeur dont la concavité est tournée vers le littoral, font converger les orthogonales en direction de la côte, concentrant ainsi l'énergie. C'est l'explication principale de la simplification du rivage, les caps, poursuivis sous l'eau par des dorsales, étant érodés, tandis que les baies, prolongées par des dépressions immergées, provoquent au contraire le dépôt. Cela conduit à une régularisation littorale, qui peut être prévue par des plans de vagues³⁰. Par exemple, le 4 avril 1998, pour des vents moyens de 8,9 m/s (maximum 11,9 m/s) soufflant du sud-ouest, une longueur d'onde en pleine eau de 6,2 m, une période de 2 s, une célérité de 3,1 m/s (toutes moyennes), les orthogonales de houle du lac de Saint-Pardoux-en-Limousin montrent une nette concentration sur les caps et une divergence dans les baies de la région de Fréaudour (fig. 48). Quand la direction initiale des crêtes est très oblique, voire perpendiculaire aux isobathes, la réfraction n'est pas suffisante pour rétablir la direction et les vagues déferlent bien avant que les crêtes ne soient devenues parallèles aux courbes d'égale

³⁰ Pour construire un plan de vagues, il faut posséder une carte bathymétrique, la direction des crêtes au large et leur période (qui peut être chronométrée à partir de la côte puisque ce paramètre ne varie pas), dont on déduit leur longueur d'onde. On trace deux crêtes de vague au large, juste au-delà de la profondeur correspondant à la moitié de la longueur d'onde. Elles sont parallèles et rectilignes, puisque le fond ne les influence pas. On choisit une distance entre les deux, qui correspond à un certain nombre de secondes. Les orthogonales sont perpendiculaires aux crêtes. A partir du moment où la profondeur est inférieure à la moitié de la longueur, la crête suivante sera tracée à une distance plus courte que celle qui séparait les deux premières crêtes. Le travail est fait pour chaque intersection d'une crête et d'une orthogonale et la nouvelle crête est dessinée en liant chacun de ces nouveaux points. La distance entre deux nouveaux points est calculée en tenant compte de la diminution de la célérité, donnée par des abaques (Lacombe, 1950, 1953).

profondeur. Cette obliquité résiduelle à la côte provoque un courant (*cf. infra* III), la dérive littorale. C'est le cas des vagues de bise dans le Léman à l'embouchure du Redon, comme celles du 19 février 1987, avec un flux du NNE de 6,5 m/s (moyenne sur 24 h), une longueur d'onde en pleine eau de 14 m, une période de 3 s, une célérité de 4,7 m/s (fig. 49).

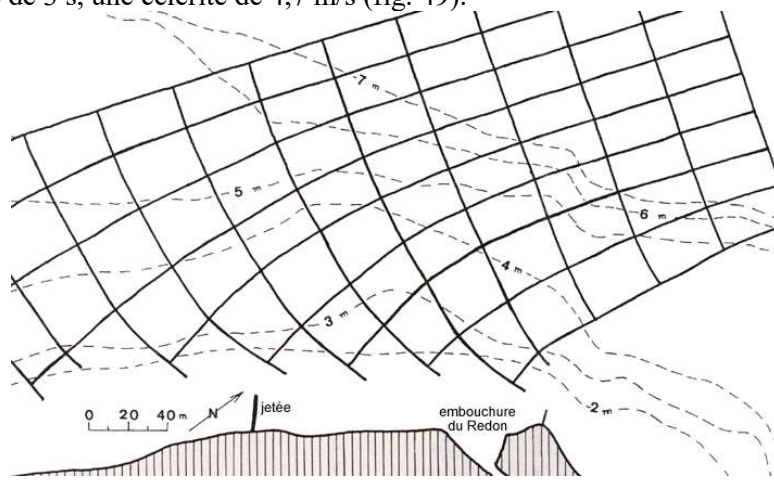


Fig. 49 Plan de vagues dans le Léman à l'embouchure du Redon pour une bise de nord-nord-est
D'après Touchart (1987)

La période est de 3 s. La longueur d'onde et la célérité en pleine eau sont de 14 m et 4,7 m/s

Si le littoral est une île ou si une pointe comprend une anfractuosité concave en arrière d'elle-même, la réfraction est accompagnée d'une diffraction. Celle-ci consiste en un recourbement des orthogonales de houle en arrière de l'obstacle, construisant une sorte de contournement. C'est elle qui explique le recourbement des flèches   crochet, comme celle de Toronto dans le lac Ontario et celle de la Presque Isle dans l'Erié (Johnson, 1919), ainsi que les accumulations en arrière des îles, formant des glaci s insulaires sous-lacustres, comme le Goly Koulougou i dans le Ba ikal, des queues de comète et des tombolos, comme l'Arangatou i dans le Ba ikal (Touchart, 2000a, p. 147). C'est enfin la diffraction qui explique l'existence d'une houle, certes très amoindrie, dans les lagunes lacustres presque fermées, où une passe permet cette déformation. On en connaît dans le golfe de l'Ambassadeur du Ba ikal.

Après avoir souffert ces changements de direction, l'onde meurt d'un dernier coup bas du fond. Quand la cambrure de la vague et la dissymétrie de la crête ont dépassé les valeurs limites, la vague se brise (*the wave breaks, die Welle st rzt über, волна опрокидывается ou волна разбивается*). Ce déferlement (*surf,  berst rzung, нрибой*) se produit en général quand la profondeur est égale   environ 1,3 fois la hauteur de la vague. Les vagues déferlantes (*breakers, волны нрибоя*) offrent deux grandes formes possibles, en fonction de la manière dont le front s'écroule. Dans le déferlement déversant (*spilling breaker*), l'écume appar t au sommet de la crête et s'écoule sur le front. C'est le cas le plus fréquent en lac, où ce sont des vagues forcées, et non la houle, qui arrivent   même le littoral (photo 4). Le déferlement en volute (*plunging breaker*) forme un rouleau, quand la crête plonge en avant du front. Il se produit pour les houles des grands lacs, surtout sur les littoraux   pente régulière.

Une fois que le déferlement a eu lieu, l'eau est projetée en avant et l'écume remonte la pente littorale, formant le jet de rive (*uprush, номок*), d'abord turbulent, puis de plus en plus lent du fait de la pesanteur. L'eau redescend ensuite en une nappe de retrait (*backwash, оммок*), dont le mouvement laminaire suit le sens de la plus grande pente.

Sur les littoraux lacustres battus par les vagues, celles-ci peuvent développer une énergie considérable, dont l'influence géomorphologique est très nette. Elle se manifeste d'autant mieux que la côte est précédée d'une beine assez peu large. En effet, dans le cas contraire, surtout si la pente est très faible, il y a amortissement des vagues par un long frottement sur le fond. C'est d'ailleurs ce qui explique que les vagues de la saison des hautes eaux (*cf. supra* I), qui subissent moins cet affaiblissement, aient une action érosive plus forte. Quand cette période de l'année se cumule avec celle des plus fortes tempêtes, l'effet s'additionne, comme pour les vagues automnales du Ba ikal. L'action abrasive des vagues explique la formation des falaises et des beines (Touchart, 2000a, pp.

142-145). Dans certaines régions du Baïkal où les falaises entaillent les moraines meubles, des blocs erratiques de 2 à 3 m³ sont parfois déplacés, comme cela a été observé à l'est de l'embouchure de la Pérémnaïa et dans la baie de Pongonié (Галазий, 1998, с. 99). Les conséquences sont aussi importantes en géographie appliquée. Au bord du Léman, le remblaiement du chemin de fer est attaqué par les vagues de tempête, ainsi que les ports³¹. Галазий (1998, с. 98) rappelle que des vagues de seulement 1 m de haut et d'une période de 10 s développent une puissance de 19 chevaux-vapeur par mètre de littoral. Certains blocs de béton armé de 3 m de hauteur, destinés à consolider le littoral pour protéger la voie ferrée transsibérienne, ont été arrachés par les tempêtes du Baïkal.



Photo 4 *Déferlement déversant de vagues de bise dans le golfe de Coudrée du Léman*
Cliché L. Touchart, 19 février 1987

Les formes d'accumulation grossière que sont les plages lacustres sont aussi formées par l'action des vagues, qui déposent et modèlent les matériaux qu'elles transportaient. L'irrégularité des profils est due à l'assemblage de plusieurs profils d'équilibre, eux-mêmes issus de trains de vagues de forces différentes. Les plages ne reflètent pas seulement un aspect passif d'abandon de matériel, mais aussi la puissance des vagues de tempêtes des plus grands lacs. Les grèves du Baïkal, dont la crête se trouve fréquemment à 3 ou 4 m au-dessus du niveau du lac (Рогозин, 1993), sont composés de galets atteignant 20 à 25 cm de diamètre : c'est par exemple le cas des plages du Saint-Nez ouvertes sur le large.

b. Les vagues des lacs-étangs

Quand, de leur naissance à leur mort, les vagues subissent l'effet du fond, leur comportement est quelque peu différent de celui d'une houle issue du large et venant déferler sur le littoral. La question principale est celle d'une aire de génération tout entière influencée par le fond. L'allongement de la course du vent en plan d'eau peu profond fait croître la hauteur et la longueur d'onde moins vite qu'en lac profond (Thijsse, 1952). Le fait est particulièrement important dans les lacs largement étendus, mais très peu profonds. Ce sont les lacs pelliculaires (*shallow lakes* de Burgis & Morris,

³¹ « Les grandes vagues de l'ouragan du 20 février 1879 ont renversé en trois points les jetées du port de Lutry, et ont démoli les parois du talus du chemin de fer de Cully à St-Saphorin sur 57 endroits différents » (Forel, 1895, p. 238).

1987, pp. 120-140), comme, en Hongrie, le Balaton et le Fertő (lac de Neusiedl), ou, au Malawi, le Chilwa (ou Chirua). Avec une profondeur moyenne de 3,3 m pour une superficie de 596 km², le Balaton en est l'archétype. Une telle étendue induit une longue course du vent, qui construit des vagues dont la hauteur atteint 2 m (Herodek *et al.*, 1988). L'influence sur le fond, au large, est considérable, du fait de la grande fréquence de la turbidité, de la remise en suspension des sédiments, du relargage de l'eau interstitielle (Luettich *et al.*, 1990). L'eutrophisation par source interne s'en ressent fortement. Le phénomène est accentué dans les vastes baies les plus plates, comme celle de Keszthely du Balaton (Papon, 2001). Dans les très grands lacs, malgré certaines parties très profondes, d'autres peuvent au contraire être constituées d'immenses plates-formes recouvertes d'une nappe d'eau pelliculaire, comme le nord de la Caspienne. Un cumul est alors possible entre les vagues dont l'aire de génération est pelliculaire et les trains de houle issus du large profond.

III. LES COURANTS LACUSTRES, OU LADIERES

La connaissance des courants (*currents*, *Strömungen*, *течения*) est de la plus haute importance. La situation du plancton leur est, par définition, inféodée, de même que la localisation des dépôts sédimentaires les plus fins et le déplacement des substances nutritives, ou, au contraire, toxiques. Les relations avec la stratification thermique sont très étroites. Ils perturbent parfois directement la navigation³². Les déplacements des masses d'eau lacustres ont de nombreux points communs avec les courants marins, dans leurs formes et leurs causes, mais développent aussi quelques particularités propres. Pour insister sur ces dernières, on pourrait nommer les courants lacustres des ladières, reprenant ainsi le terme qui les désigne dans le Léman³³.

A. Les ladières, des mouvements d'eau contenus dans un bassin fermé

La grande originalité des ladières, par rapport aux mouvements d'eau océaniques, réside dans le fait qu'elles évoluent à l'intérieur d'une dépression fermée de petite taille. Celle-ci réduit leur ampleur spatiale et temporelle.

1. LES LADIERES : DES COURANTS DE DIRECTION MULTIPLE

Eu égard à l'océan, même les grands lacs sont contenus dans une cuvette somme toute de faibles dimensions. Les obstacles qui s'opposent à la propagation des courants sont nombreux, ne serait-ce que, dans le cas le plus simple, la côte opposée, toujours assez proche. Les flux sont donc susceptibles d'être fortement contrariés, sur de courtes distances. Les méandres, anneaux, convergences, divergences, cascades, remontées, contre-courants, courants de retour, cellules, segments linéaires contraints et autres complications spatiales sont particulièrement développés dans les lacs.

Du fait de la profondeur assez réduite de la plupart des lacs et de l'importance des hauts fonds, les flux d'eau sont souvent déviés par le frottement sur l'obstacle immergé. Une fois celui-ci dépassé et contourné, le courant tend à reprendre sa direction première, formant ainsi un méandre, lequel peut migrer, s'élargir, se recouper. Dans ce dernier cas, l'anneau, ainsi formé par occlusion, emprisonne parfois une eau différente de celle au milieu de laquelle il se propage, jusqu'à ce qu'il disparaisse par mélange. On en trouve en début d'été dans le Baïkal au large de la Selenga. Ce sont « les îles » (*острова*) d'eau chaude. Certains de ces anneaux traversent tout le bassin méridional du Baïkal, pour venir mourir dans l'Angara (Галазий, 1988, c. 101). La fréquence des îles émergées (topographiques) dans les lacs ajoute à la complexité des courants. Par exemple, au sud-ouest du lac Érié, l'île Pelée provoque une cellule de ladière anticyclonique la contournant (Hutchinson, 1957, p. 292).

Les courants de convergence (*нагоны*) sont en général liés aux courants en cascade (*downwellings* ou *cascadings*, *даунвеллинги* ou *нисходящие течения*), dans le sens où les premiers

³² « Nos ladières du Léman sont cependant très sensibles, et parfois assez fortes pour gêner les manœuvres des bateaux à vapeur et des barques dans certains points d'abordage » (Forel, 1895, p. 285).

³³ Selon Forel (1895, p. 285), les riverains du Léman appellent traditionnellement les courants de ce lac ladières ou lardières.

déterminent les seconds. Les ladières en cascade peuvent cependant exister seules, dans le cas des courants de densité (*cf. infra* B., *cf. aussi supra* chap. II.II.B.2.c.). Les ladières de convergence sont provoquées par la rencontre de courants le long d'un front, la confluence, en un mouvement cyclonique³⁴, de plusieurs flux vers un point, ou, enfin, l'arrivée d'un courant contre la côte. Dans les trois cas, la convergence provoque une surélévation de la surface, de quelques décimètres dans les grands lacs, et, surtout, un mouvement de plongée de l'eau, c'est-à-dire une ladière en cascade. Dans le Baïkal, les ladières de convergence contre la côte, dits courants d'afflux (*нагоны*), sont capables de surélever le niveau de 30 cm et les ladières en cascade qu'elles provoquent aident à l'oxygénation et au réchauffement des couches profondes. Elles sont fréquentes le long du littoral sud-est du grand lac sibérien. Les convergences de deux masses d'eau le long d'un front, quant à elles, mènent à des mélanges turbulents (*cf. chap. II.II.B.3.a.*).

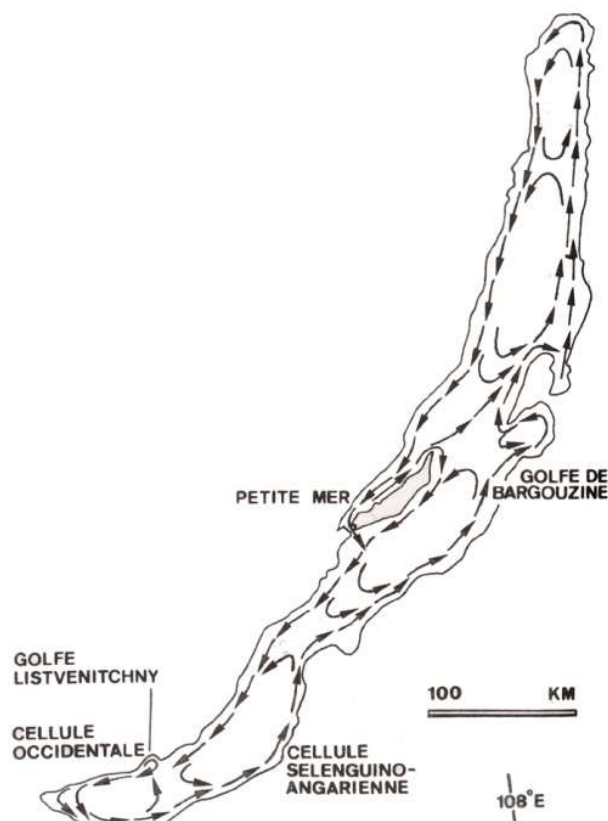


Fig. 50 Carte des courants permanents du Baïkal
D'après Сокольников (1964), Академия наук СССР (1967),
Touchart (1994a, 1996c, 1998)

Les courants de divergence (*сгоны*) sont en général liés aux courants de remontée ou de résurgence (*upwellings*, *Auftriebe*, *апвеллинги* ou *восходящие течения*), dans le sens où ceux-là déterminent ceux-ci. Les ladières de divergence sont provoquées par l'écartement de courants le long d'une ligne, ou à partir d'un point en un mouvement anticyclonique, ou, enfin par le départ de courants depuis la côte. Les remontées sont presque permanentes le long du littoral ouest et nord-ouest du Baïkal, d'où l'eau reflue. Il est à noter que, quand une ladière bute contre un cap, elle peut être fendue en deux et conduire aussi à une divergence.

Le système des courants de convergence couplés aux courants en cascade est lui-même, très souvent, lié au système des courants de divergence couplés aux courants de remontée. En effet, emprisonnée dans la cuvette lacustre, la ladière incidente bute contre une côte, plonge, forme une contre-ladière, laquelle vient elle aussi buter contre la côte opposée, produisant alors une ladière de résurgence. Il se produit ainsi une cellule verticale de courants, voire plusieurs cellules superposées dans le cas d'une stratification bien établie (*cf. infra* B.1.).

³⁴ Dans les lacs de l'hémisphère nord.

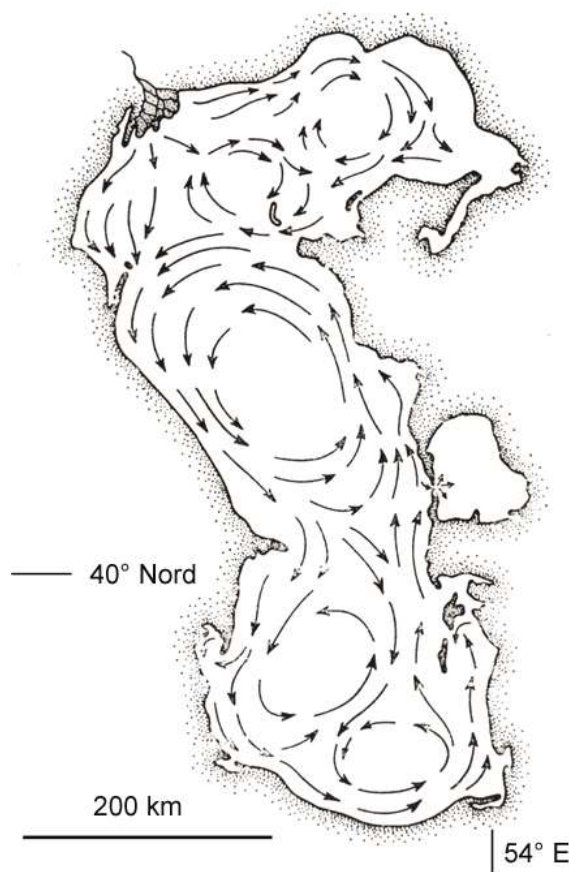


Fig. 51 *Carte des courants permanents de la Caspienne*
D'après Guilcher (1979) reprenant Zenkevitch

La petitesse des cuvettes lacustres impose aussi la formation de cellules de courants dans le plan horizontal. La forme des bassins, quand elle est peu oblongue, contraint les courants à tourner. Dans les plans d'eau multilobés, les cellules (les « tourbillons », *swirls*, des Anglo-saxons) horizontales de ladières se juxtaposent. Si le lac est de grande taille, celles-ci peuvent compter un diamètre de plusieurs dizaines à centaines de kilomètres. Dans le Baïkal, le bassin septentrional contient ainsi deux vastes cellules, le bassin central une seule et le bassin méridional deux, toutes cycloniques (fig. 50). Les grandes baies présentent le même système, notamment le golfe de Bargouzine (Сокольников, 1964, Академия Наук СССР, 1967, Touchart, 1998). Dans la Caspienne, le bassin méridional compte deux cellules cycloniques, le bassin central une seule, tandis que le bassin septentrional comporte deux cellules anticycloniques (fig. 51). Dans les Grands Lacs Américains, les flux juxtaposent dans le même bassin des cellules cycloniques et anticycloniques (Ayers, 1959). Cette association est aussi le fait, au Japon, du Biwa (Mori *et al.*, 1984, Endoh & Okumura, 1993, Endoh *et al.*, 1995, Okumura & Endoh, 1997, Touchart, 1999a). Dans le Bodan, deux vastes cellules circulaires, l'une cyclonique, l'autre anticyclonique, occupent le grand lac, prolongées de petites girations dans les baies de Friedrichshafen et Romanshorn, tandis que les diverticules occidentaux comptent des cellules nettement plus allongées, dans le bras d'Überling, voire des courants linéaires (fig. 52). Le rôle des détroits est en effet considérable dans les lacs, transformant les cellules en segments et accélérant la vitesse des ladières. Le phénomène est remarquable dans la Petite Mer et le détroit des Portes d'Olkhon du Baïkal, de même que, à l'ouest du Léman, dans le Petit Lac.

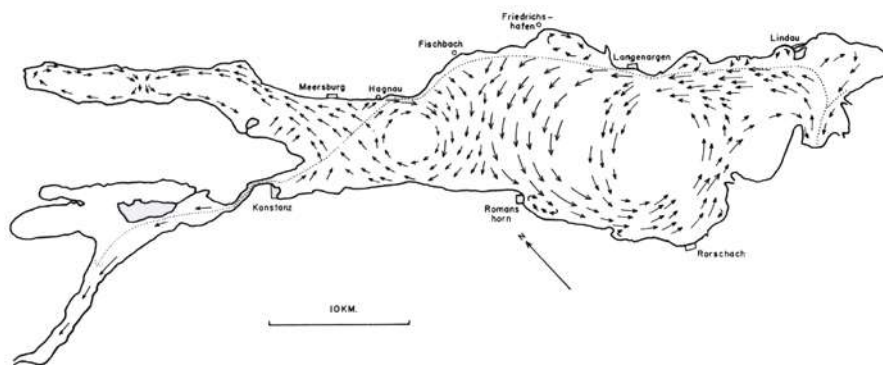


Fig. 52 Carte des courants du Bodan
D'après Wasmund (1927, 1928), Nümann (1938), Hutchinson (1957)

A beaucoup plus grande échelle cartographique, celle de vortex de quelques mètres de diamètre, les cellules de Langmuir juxtaposent, dans un plan horizontal, plusieurs cellules verticales en contre-rotation (fig. 53). Cet agencement, qui cumule cellules verticales et allongement horizontal, ainsi que convergences et divergences, cascades et remontées, d'une manière alternative, est une remarquable manifestation de la complexité des ladières. C'est un phénomène dû au vent (*cf. infra* B), et d'assez courte durée.

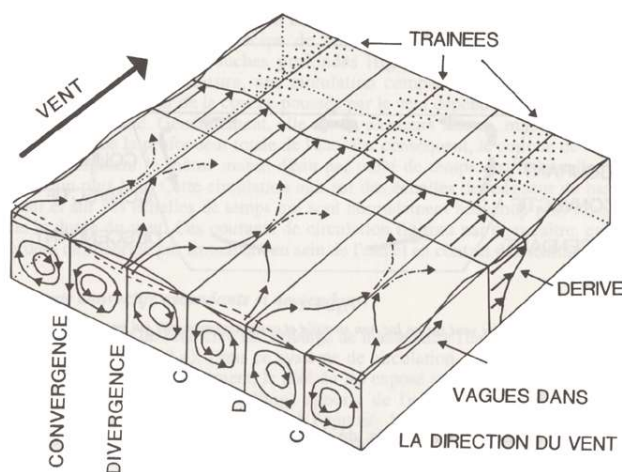


Fig. 53 Schéma de fonctionnement de cellules de Langmuir
D'après Wetzel (1983), Lemmin (1995)

2. LES LADIERES : DES COURANTS DE COURTE DUREE

Outre leur tourment spatial, la seconde grande particularité des courants lacustres se trouve être leur courte durée. Ce trait concerne non seulement les petits lacs, mais même les lacs de taille moyenne à assez importante, comme le Léman (Plauchu, 1971, Bohle-Carbonell, 1986a et b). Les mesures de Saillet & Bohle-Carbonell (1986a, p. 5) ont montré que, dans le Léman, « pour un point donné les courants de direction prédominante regroupent seulement 30 % environ des cas observés ». Graf (1982) a cartographié tantôt des cellules (fig. 54), tantôt des ladières linéaires pour des flux atmosphériques de même direction, celle du nord-est. « Chaque renversement de la direction du vent (de la bise au vent ou l'inverse) provoque un renversement du système de courant » (Lemmin, 1998, p. 111). Pour qu'un courant perdure au-delà de la cause d'impulsion, il faudrait que celle-ci établisse un équilibre demandant au moins une dizaine de jours dans le Léman. Selon Bohle-Carbonell (1986a), cet équilibre n'est jamais réalisé, si bien que les courants du Léman ne sont que des mouvements d'échelle moyenne (« *meso-skalige Bewegungsvorgänge* »).

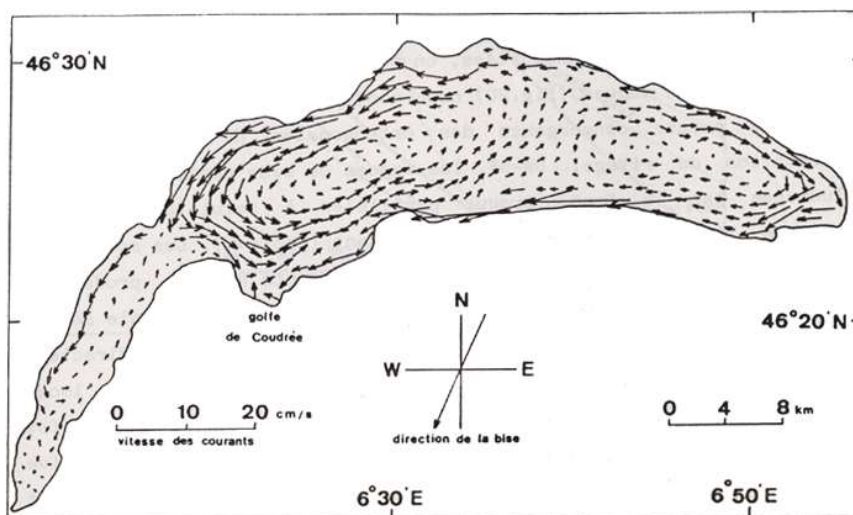


Fig. 54 Carte des courants éphémères du 29 au 31 mars 1977 dans le Léman
D'après Graf (1982)

Même dans les grands lacs, les ladières sont rarement permanentes. Dans les Grands Lacs Américains, les vastes cellules de courants ne sont pas permanentes et certains renversements se produisent (Dussart, 1966, p. 189). Dans le golfe des Mélèzes du Baïkal, il est mesuré 20 à 25 courants de convergence par an venant buter contre la côte et chacun dure en moyenne 44 heures en saison chaude et 40 h en saison froide ; il est mesuré 35 à 40 courants de divergence par an, s'écartant de la côte et chacun dure en moyenne 40 heures en saison chaude et 35 h en saison froide (Галазий, 1988, c. 76). Cependant, les vastes cellules du Baïkal et de la Caspienne, centrées sur les grands bassins, ont un caractère permanent, grâce aux dimensions considérables des lacs considérés et à la relative constance des vents dominants.

B. Les types de ladières : l'importance des forçages externes

L'origine des ladières, par sa grande variété, complique les courants des lacs, dont les traits majeurs restent cependant en général déterminés par les vents. Une fois le mouvement lancé, les flux sont aussi perturbés par des facteurs de déviation et de frottement.

1. L'ORIGINE DU MOUVEMENT : LES CAUSES D'IMPULSION

Malgré la multitude de causes mettant l'eau des lacs en mouvement, quelques-unes d'entre elles dominant largement. Pour ce qui est des ladières à forte composante horizontale, le vent est prépondérant, suivi des ondes. Concernant les mouvements verticaux, les changements de densité ont les effets majeurs. Enfin, l'importance de certains phénomènes est proprement lacustre.

a. Les courants de vent : ladières de dérive et cellules de Langmuir

Les courants de vent, ou de dérive (*drift currents*, дрефовые течения), tiennent la première place dans la plupart des lacs, du moins si l'on s'en tient aux échanges d'eau en plan. Dans le Léman, Saillet et Bohle-Carbonell (1986, p. 4) n'hésitent pas à écrire que « la force principale des courants du Léman est due à la diversité des vents agissant sur la surface du lac. Toute autre force [...] est négligeable ». Dans ce lac, l'épaisseur de la tranche d'eau entraînée par le vent est en général de 10 à 20 m et la vitesse moyenne de la dérive est, en surface, de 5 à 10 cm/s (Saillet & Bohle-Carbonell, 1986). Mais des épaisseurs de 50 m sont possibles et les vitesses maximales atteignent plusieurs décimètres par seconde. Forel (1895) cite des valeurs superficielles de 20 à 30 cm/s, Kreitmann (1931) et Mercanton (1932) 35 cm/s. Dans le Petit Lac, certains courants atteignent leur vitesse maximale en subsurface, pour des valeurs dépassant 70 cm/s (Bétant & Perrenoud, 1932). Dans le Bodan, de taille comparable, les courants de dérive les plus puissants s'éteignent vers 50 m de profondeur. Les vitesses

peuvent dépasser 25 cm/s en surface, pour tomber à moins de 10 cm/s vers 20 à 25 m de profondeur. A 40 m, les valeurs dépassant 1 cm/s sont rares (Elster, 1939).

Dans les lacs de plus grande taille, les épaisseurs des courants de vent peuvent être supérieures, cependant que les vitesses restent du même ordre. Dans les Grands Lacs Américains, il semble que les vitesses des grands courants ne dépassent pas 70 cm/s (Ayers, 1959). Dans le Baïkal, il convient de distinguer les ladières éphémères, qui accompagnent les coups de vent et se mesurent jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur, des grands courants de dérive permanents, qui transportent les eaux sur une tranche de plusieurs centaines de mètres. Des valeurs atteignant 140 cm/s ont pu être mesurées à 10 m, plus de 55 cm/s à 50 m, 30 cm/s à 250 m et 12 cm/s à 675 m (Галазий, 1988, c. 103-104), mais, à ces grandes profondeurs, le relais d'impulsion est pris par des courants de compensation entre les bassins (*cf. infra* d.). Concernant les ladières directement dues au vent, la profondeur de 250 m semble un maximum pour les plans d'eau de la planète, peut-être un peu plus dans les lacs tropicaux, où l'eau est moins dense.

La forme des courants de dérive est expliquée par la direction des vents, cependant que la tranche d'eau emportée (la couche d'Ekman) et la vitesse de cet entraînement dépendent de la force des flux atmosphériques. Dans le Léman, les principaux courants sont ceux dus au flux de nord-est, c'est-à-dire à la bise. Mais le sudois, de sens opposé, étant aussi fréquent au centre du lac, les dérives lémaniques sont temporaires. Dans le Bodan, la plus grande pérennité viendrait de flux assez réguliers, dont l'importance des vents méridionaux issus de la vallée du Rhin, qui alimenteraient la vaste giration cyclonique. Dans les Grands Lacs Américains, les courants dominants proviennent de la prépondérance des grands flux d'ouest. En surface, selon la loi d'Ekman, la direction du courant fait un angle de 45° avec celle du vent, sur la droite du mouvement dans les lacs de l'hémisphère nord, la gauche dans les plans d'eau de l'hémisphère sud. Cela explique que les ladières de remontée les mieux formées soient dues à des vents, certes issus du continent, mais obliques à la côte et non pas perpendiculaires à elle. Ainsi, dans le Baïkal, les vents d'ouest provoquent de remarquables courants de résurgence sur la côte s'allongeant du sud-ouest au nord-est et regardant vers le sud-est.

La vitesse des ladières superficielles correspond à des valeurs allant de 1,5 à 5 % de celle du vent, les lacs polaires étant plus proches de la première borne, les lacs tropicaux de la seconde, puisque les eaux plus chaudes sont entraînées plus facilement. Sans intervention autre que celle du vent, la vitesse du courant de dérive diminue avec la profondeur. Tout dépend alors de la stratification thermique. En l'absence de celle-ci, quelques formules simplifiées permettent d'estimer la profondeur à laquelle s'éteint le courant. Ainsi, en structure homotherme et pour des vitesses de vent supérieures à 5 m/s (Guilcher, 1979, p. 120, Vanney, 1991, p. 81, etc.) :

$$D = \frac{7,6W}{\sqrt{\sin\varphi}}$$

Où : D : profondeur de frottement en m, W : vitesse du vent en m.s⁻¹, Φ : latitude en degré. Cela explique que, dans la pratique, les courants lacustres observés aux latitudes moyennes ne dépassent pas une épaisseur de 250 m, correspondant à des vents de 100 km/h. Pour des vitesses de vent inférieures à 5 ou 6 m.s⁻¹, une autre formule est préconisée (Guilcher, 1979, p. 120), créée par l'Allemand H. Thorade en 1914 (Dussart, 1992, p. 187) et fondée sur le cube de la vitesse du vent :

$$D = \frac{3,67\sqrt{W^3}}{\sqrt{\sin\varphi}}$$

En structure stratifiée, les courants sont perturbés par les surfaces de discontinuité. Dans l'éventualité d'un vent modéré pour lequel la profondeur de frottement est plus faible que celle de la thermocline, ou, dans les lacs salés, la chimiocline, seule une masse d'eau superficielle, partie supérieure de l'épilimnion, ou du mixolimnion, est entraînée par le vent. Le mouvement butant contre la côte au vent, la masse d'eau peu dense s'y épaissit. Le saut thermique, assimilé à un plan de discontinuité, bascule dans le sens du vent (*cf.* chap. II). Un courant de retour d'épilimnion profond se met en place le long (mais au-dessus) de cette barrière, aboutit sur le talus sous le vent et remonte vers la surface. Ainsi, une cellule constituée d'un courant de surface, de cascade, de retour et de remontée se construit à l'intérieur de la couche épilimnique. Le courant de retour le long et au-dessus de la surface de discontinuité entraîne un courant de même sens le long (mais en dessous) de cette même barrière, lequel courant venant buter contre le talus sous le vent, plonge en cascade et provoque un

courant de retour qui coule vers la surface au vent (c'est-à-dire finalement dans le même sens que le courant de surface), bute contre le talus profond au vent et remonte, pour former une seconde cellule. Deux cellules de courant, séparées par une surface de discontinuité, se superposent alors l'une au-dessus de l'autre. Wedderburn, qui fut le premier à former cette théorie, avait en fait travaillé grâce à des expériences en laboratoire. Le Suisse Collet (1925), qui avait beaucoup écrit sur les lacs écossais et séjourné sur place, traduisait la pensée de Wedderburn en parlant de courant de retour primaire pour le flux situé juste au-dessus de la surface de discontinuité et de courant de surface secondaire pour le mouvement d'entraînement situé juste en dessous de la discontinuité. Le flux le plus profond représentait le courant de retour secondaire. Mais, concrètement, dans les lacs, la cellule hypolimnique n'a jamais été indubitablement mesurée. Les mouvements les plus profonds sont plutôt aujourd'hui considérés comme liés aux ondes internes (*cf. infra b.*).

Si l'on tient compte du fait que la stratification des lacs d'eau douce possède en fait souvent deux surfaces de discontinuité, voire plus, la superposition des cellules pourrait, en théorie, se multiplier. Selon Sandström (1908), les expériences en laboratoire montreraient que des fluides de densité différentes, s'entraînant l'un l'autre à travers les pycnoclines, formeraient plusieurs cellules dans le sens vertical, la troisième fonctionnant dans le même sens que la première. Aucune mesure n'a jamais pu les vérifier sur le terrain. Selon Mortimer (1952), seul l'épilimnion connaît une véritable cellule, avec courants de surface, de cascade, de retour et de remontée. Les flux de remontée dominent ailleurs.

A côté de ces cellules dont la superposition verticale reste douteuse, il existe assurément, à une autre échelle, des possibilités de juxtaposition horizontales de cellules de ladière. Ce sont les cellules de Langmuir (*Langmuir circulation*, *спираль Лангмюра* ou *лангмюровы вихри*), liées à l'entraînement par le vent dans des conditions particulières. Elles furent décrites pour la première fois dans le lac George de l'Etat de New York par Langmuir (1938), qui repéra les longues traînées (*streaks* ou *windrows*) de feuilles et de débris matérialisant les lignes de convergences. C'est aussi là que s'accumule le plancton, d'où l'importance de leur étude³⁵. Les cellules de Langmuir se forment pour des vents modérés à assez forts et l'allongement se fait dans la direction du vent. Leur origine serait à chercher dans les interactions non linéaires se développant entre les vagues et le cisaillement produit par les courants (Leibovich, 1983). C'est une transformation de l'énergie véhiculée par les vagues en turbulence à petite échelle. Sur la plupart des lacs, les cellules de Langmuir apparaissent à partir de vitesses de vent de 3 m/s, culminent aux alentours de flux atmosphériques de 5 à 10 m/s, puis disparaissent au-delà de 15 à 18 m/s (Kondratyev & Filatov, 1999). Les vitesses de l'eau sont les plus fortes dans les zones de convergence, où elles atteignent 3 à 5 cm/s, soit environ cent fois moins que celles du vent (Imboden & Wüest, 1995, p. 112). Dans le Ladoga, les cellules de Langmuir semblent se développer au mieux quand le travail du vent se trouve aux alentours de 0,5 dyne par centimètre carré (Filatov *et al.*, 1981, et travaux de Рянжин rapportés par Kondratyev & Filatov, 1999). En fait, la tension du vent nécessaire à l'obtention de cellules de Langmuir doit être d'autant plus élevée que la stratification thermique est puissante. De toute façon, il s'agit d'une circulation épilimnique. L'espacement entre les traînées, qui varie de quelques mètres à, plus rarement, quelques décamètres, semble proportionnel à l'épaisseur de l'épilimnion³⁶, à la vitesse du vent et à la longueur d'onde des vagues. Les cellules de Langmuir sont donc des ladières de dérive très particulières, qui font la transition avec les courants liés aux ondes.

b. Les courants liés à des ondes

³⁵ Malgré quelques recherches à leur sujet en Occident, d'ailleurs plus en océanographie (Welander, 1963, Wellerr & Price, 1988, Faller & Woodcock, 1964, McLeish, 1968) qu'en limnologie (Scott *et al.*, 1969, Thorpe & Hall, 1982, Thorpe, 1984), « les mécanismes qui interviennent dans la genèse des cellules de Langmuir ne sont pas encore entièrement connus » (Lemmin, 1995, p. 68). Les travaux ont été beaucoup plus poussés à l'Est, notamment sur le lac Ladoga avec les travaux de l'Institut de Limnologie de Saint-Petersbourg et, plus particulièrement, de Рянжин. « Malheureusement, ces études restent peu connues des auteurs occidentaux » (Kondratyev & Filatov, 1999, p. 91, en anglais), sauf les articles écrits en anglais par Filatov *et al.* (1981) et Leibovich (1983).

³⁶ Il semble que le diamètre des cellules de Langmuir, soit la moitié de la distance entre les traînées, ne puissent dépasser le quart de l'épaisseur de l'épilimnion (Imboden & Wüest, 1995, p. 112).

A part les courants de marée, si faibles qu'ils sont souvent indécélables en lac, les ladières dues à des ondes sont importantes dans deux contextes, qui leur doivent l'essentiel de leur mouvement : les grands fonds et le littoral. Nous appuierons ainsi notre plan sur cette différence géographique, au lieu de traiter classiquement des courants en fonction des processus qui les créent.

α. Les ladières des grands fonds : des courants de seiche interne

Les courants de seiche interne ont des vitesses de plusieurs centimètres par seconde, soit des valeurs proches de celles des courants de dérive à quelques mètres ou décamètres de profondeur. Le courant d'onde interne a la particularité de former une cellule verticale traversant en quelque sorte la surface de discontinuité (fig. 55), bien qu'il s'agisse en fait de deux demi-cellules oscillant (Mortimer, 1975). Dans le cas d'une stratification thermique, la vitesse du courant est certes supérieure dans l'épilimnion et inférieure dans l'hypolimnion, mais la grande originalité de cette ladière réside dans le fait que son action, loin de se limiter aux couches moyennes ou superficielles, peut atteindre les plus grands fonds. Dans le Windermere, les courants d'onde interne atteignent 6 cm/s dans l'épilimnion et 3 cm/s dans l'hypolimnion (Mortimer, 1952). Dans le Loch Ness, les courants métalimniques de seiche interne peuvent avoir une vitesse de 9 cm/s (Mortimer, 1955).

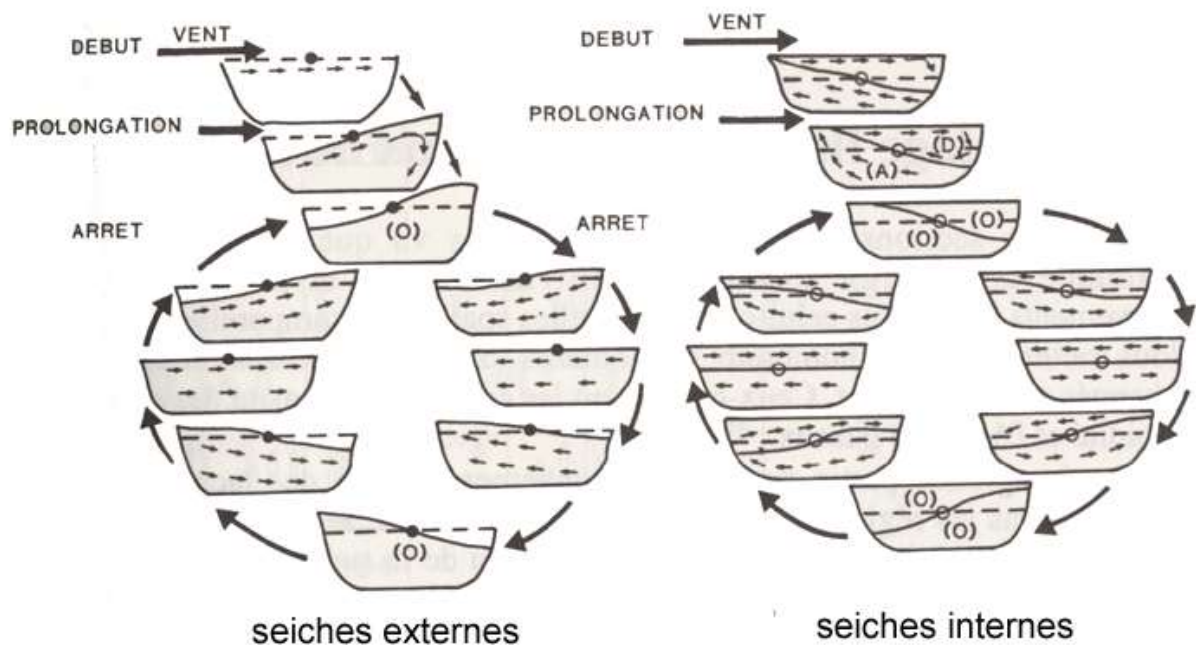


Fig. 55 Schéma des courants de seiches externes et internes
D'après Lemmin (1995)

Les ladières hypolimniques sont presque toujours des courants d'onde interne. C'est même sans doute la principale cause de la turbulence sur les plafonds lacustres (Jiao C. & Kumagai M., 1995). Hutchinson (1957, p. 341 & p. 675) explique ainsi des courants d'origine obscure supputés au fond du Linsley Pond et qui influenceraient la répartition des carbonates dans les sédiments. C'est peut-être aussi le cas au fond du Mendota (McCarter *et al.*, 1952). Ces flux sont alternatifs et d'autant plus réguliers, bien que moins rapides, que l'impulsion initiale a cessé et le mouvement est devenu libre (Lemmin, 1987). Dans le cas d'un Nombre de Richardson supérieur à 0,25, la stabilité de la stratification l'emporte de sorte que les mouvements non turbulents prédominent et, du fait de la faiblesse des frottements, sont de longue durée, parfois plusieurs semaines. A l'inverse, si le Nombre de Richardson est inférieur à 0,25, les courants de seiche interne sont turbulents, mais s'épuisent assez vite (Imboden & Wüest, 1995, p. 107).

β. Les ladières littorales : des courants de seiche externe et de vague

A l'exception des lignes nodales, les seiches engendrent partout des courants alternatifs à la surface des lacs (fig. 55). Cependant, atteignant leur maximum au niveau des ventres, ils concernent particulièrement les littoraux³⁷, d'autant que, pour atteindre des vitesses importantes, il leur faut être accélérés par des détroits ou autres resserrements qui se trouvent à proximité des côtes. Ce sont ces flux et ces reflux, dans leur composante horizontale, qui ont été jadis plus souvent observés par les riverains que la dénivellation verticale. Le retraitement du lac, qui assèche une portion du littoral, en est la partie la plus frappante, qui a donné son nom au phénomène³⁸.

L'accélération des courants de seiche par les rétrécissements topographiques conduit à leur donner leur plus grande force dans les passes naturelles séparant les lacs des lagunes lacustres et autres étangs littoraux plus ou moins fermés par des flèches littorales, ainsi qu'à l'entrée dans les ports construits par l'Homme. Dans le lac Erié, Kreeker (1931) a émis l'hypothèse que les courants de seiche maintenaient les passes entre les lagunes occidentales et le plein lac. Le fort courant de seiche du détroit de Tihany empêche peut-être le bassin oriental d'être séparé du reste du Balaton par l'avancée de la plage méridionale en saillant triangulaire. Les étroits passages d'origine anthropique accélèrent eux aussi les courants de seiche. D'ailleurs, l'idée d'étudier les seiches est venue à l'inventeur de la limnologie en observant les courants alternatifs à la sortie du port de Morges (Forel, 1895, p. 53). Le fonctionnement du plémyramètre est lui-même fondé sur les courants de seiche qu'on canalise (cf. chap. I.I.B.2.a).

Moins spécifiquement lacustres que ceux de seiche, les autres courants littoraux sont ceux de vague, certains parallèles à la côte, d'autres perpendiculaires. Les premiers constituent la dérive littorale (*longshore current*). Malgré la réfraction, les vagues dont la direction initiale formait un angle important avec la côte gardent une obliquité certaine au déferlement. Le jet de rive se fait selon l'angle d'arrivée, tandis que la nappe de retrait suit la pente topographique. De ce mouvement en dents de scie, il résulte un courant parallèle à la côte, susceptible de transporter par charriage sur le fond des matériaux assez grossiers. Dans le Léman, la prédominance des vagues de bise conduit, le long de la côte savoyarde, à une dérive littorale vers l'ouest ou le sud-ouest. C'est le cas dans le golfe de Coudrée, où les cours d'eau affluents, Pamphiot et Redon, forment un coude très net au niveau de leur petit delta, déportés qu'ils sont sur leur gauche par la dérive. Ce coude augmente son angle depuis qu'il est possible de le suivre sur les cartes et les cadastres des XVIII^e, XIX^e et XX^e siècles (Touchart, 1987). On peut aussi, dans cette même région, observer l'accumulation de matériaux grossiers au nord-est des digues perpendiculaires à la côte.

Les ladières de vague perpendiculaires à la côte sont des courants de décharge, qui ramènent vers le large l'eau apportée à la côte par le déferlement. Ils n'existent que quand la dérive littorale est absente. Le grand débat entre le sous-courant de retour et le courant d'arrachement, qui a divisé les océanographes des années 1920 aux années 1950, n'a pas donné lieu à des recherches en limnologie. C'est pourtant de ces ladières que dépend le modelé de la beine d'accumulation, dont, malgré une littérature reprenant souvent les schémas de Forel (1892b), l'existence elle-même est loin d'être avérée dans la plupart des cas (Touchart, 2000a, p. 144). Le sous-courant de retour, ou sous-touage (*undertow*), serait un contre-courant de fond (Quirke, 1925). Il n'a jamais pu être mesuré et identifié en lac. Le courant d'arrachement (*rip-current*, *разрывное течение*) concerne au contraire toute la tranche d'eau, d'où son aspect visible en surface, où il déchire les lignes de déferlement. A la suite des océanographes de la Scripps Institution et de Francis Parker Shepard, les limnologues ont admis que le courant d'arrachement était dominant, voire exclusif, dans les mouvements de retour vers le large. Ils ont été observés au large de certains caps du Baïkal où se rencontrent deux dérives littorales de sens

³⁷ En plein lac, Forel (1895, p. 284) a calculé que la vitesse maximale possible d'un courant de seiche du Léman était de 2,5 cm/s.

³⁸ « L'eau monta d'abord d'environ un pied au-dessus de son niveau, avec une rapidité surprenante, et telle que dans une carpière qui a communication avec le lac par une ouverture assez spacieuse, le courant occasionné par la seiche était si violent que l'eau bondissait d'environ 5 pouces, lorsqu'on lui opposait un obstacle. Au bout d'un quart d'heure, elle descendit avec la même rapidité à un pied au-dessous de la hauteur ordinaire, ce qui faisait une différence de deux pieds entre le flux et le reflux. Un bateau, qui était à l'eau, se trouva entièrement à sec » (le Ministre H. Bastard de Genève en 1788, cité par Forel, 1895, p. 43).

opposés (Галазий, 1988, с. 105) et au droit de jetées du lac Michigan qui coupent la dérive littorale (Craig *et al.*, 1925).

c. Les courants de densité

Du fait des variations de température, et, pour les lacs qui ne sont pas d'eau douce, de salinité, la densité des eaux lacustres se modifie presque constamment (*cf.* chap. II). Dès que les lignes d'égale densité ne sont plus horizontales, elles tendent à le redevenir et ce réajustement provoque des déplacements d'eau. Dans la dimension verticale, c'est le principe même de la convection libre et il a été vu que le mouvement s'effectuait sans doute sous la forme de panaches (*cf.* chap.II.II.B.2.).

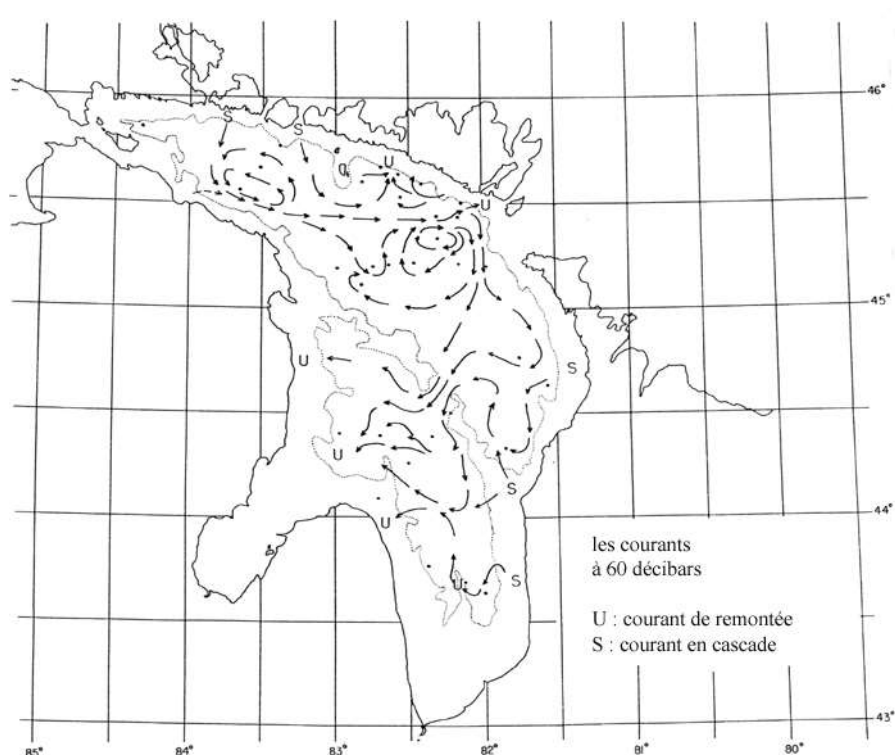


Fig. 56 Carte des courants de densité au fond du lac Huron (niveau 60 décibars)
D'après Ayers *et al.* (1956)

Cette instabilité (*cf.* chap.II.III.) a aussi une dimension horizontale. La vitesse du courant induit entre deux points dépend du gradient de pression existant entre ceux-ci. Les cartes d'isobares, comme pour l'atmosphère et les vents, permettent de repérer les directions et vitesses des courants. Cependant, deux difficultés existent. Par rapport aux cartes réalisées pour l'atmosphère, le travail en plan d'eau pose le problème du niveau de référence. Plus il est choisi près de la surface, qui correspond à l'endroit le plus intéressant à cartographier, moins il est stable. Dans les océans, la résolution vient de la sélection d'un niveau très profond, vers 2000 m (Guilcher, 1979, p. 123). Mais, en lac, l'épaisseur relativement faible empêche une telle assurance. « Tout en admettant la subjectivité de la méthode » (Ayers *et al.*, 1956, p. 31, en anglais) en lac, il est parfois possible de tracer ainsi des cartes des courants de fond (fig. 56). Enfin, les ladières de densité ne s'écoulent pas perpendiculairement aux isobares ainsi déterminées (*cf. infra* 2.).

d. Les courants hydrographiques

L'une des grandes originalités des ladières par rapport aux courants marins se trouve être l'importance prise par les mouvements d'eau hydrographiques, d'une part ceux dus aux points de contact avec le réseau fluvial, d'autre part ceux dus au passage d'une cuvette bathymétrique à une autre.

α. Les ladières dues au réseau fluvial

L'entrée des tributaires dans les lacs provoque au large des deltas une zone de confrontation entre les eaux fluviales et lacustres, dont le résultat dépend des écarts de température (Carmack *et al.*, 1979) et de charge dissoute et en suspension des deux eaux (Vollenweider, 1956), c'est-à-dire de leur différence de densité (*cf.* chap.II.I.B.3.a. et chap.II.II.A.2.a). Sur un plan proprement limno-dynamique, le mouvement de l'eau est d'abord celui du courant fluvial, qui s'avance dans le lac à une vitesse décroissant vers le large. Sur une certaine distance, toute la tranche d'eau est fluviale. Au-delà d'une profondeur limite, l'eau fluviale se positionne dans la dimension verticale en fonction de sa densité et dans le plan horizontal en fonction de l'hydrodynamique lacustre (photo 4A).

La localisation verticale souffre trois possibilités. Si l'eau fluviale est moins dense que toutes les strates du lac, elle s'étale à la surface du plan d'eau. Ces flux superficiels (*overflows*) concernent avant tout les cours d'eau chauds et peu chargés pénétrant dans des lacs salés ou saumâtres, comme, en Afrique de l'Est, l'Omo à son entrée dans le lac Turkana (Yuretich, 1969). Dans les lacs d'eau douce de la zone tempérée dont le bassin n'est pas montagnard³⁹, le printemps est favorable à une telle disposition. C'est dans le cas des flux superficiels que l'eau fluviale est le plus rapidement mélangée avec l'eau lacustre, par l'intermédiaire des vagues et des courants, bien que des pastilles d'eau fluviale puissent être reconnaissables à d'assez grandes distances des deltas, comme les « îles » d'eau de Selenga dans le bassin méridional du Baïkal (*cf. supra* III.A.1). Notons que les flux superficiels peuvent aussi être dus à des entrées d'eaux anthropiques. C'est le cas des centrales nucléaires dont le refroidissement s'effectue à l'eau lacustre. Rejetée chaude, celle-ci flotte à la surface du plan d'eau, comme cela a été suivi dans le lac Ontario (Lam & Durham, 1984).

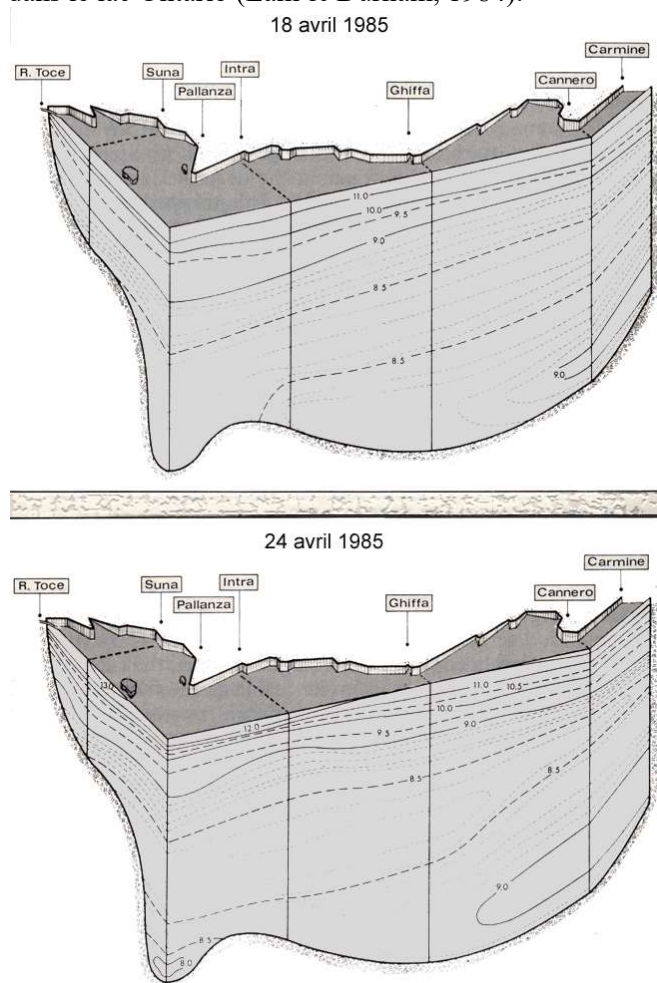


Fig. 57 Bloc-diagramme des températures de l'eau du Lac Majeur montrant l'entrée de la rivière Toce
D'après Barbanti & Ambrosetti (1989)

³⁹ Et non pas dans n'importe quel lac, comme il est trop souvent dit (par exemple Markofsky, 1979, p. 100).

Une deuxième possibilité est celle d'une eau fluviale plus dense que les strates superficielles, mais moins que les couches profondes. Au-delà de la profondeur limite, elle s'intercale au niveau intermédiaire correspondant à sa densité. L'eau du Rhin est ainsi parfois détectée dans les couches médianes du Bodan par sa conductivité et sa température (Hutchinson, p. 295). L'eau du Rhône, suivie par conductivité (Dussart, 1948), traçage isotopique (Meybeck *et al.*, 1970) et turbidité (Dominik *et al.*, 1983), se retrouve parfois dans les couches intermédiaires lémaniques du Haut Lac. Dans le Lac Majeur, la Toce voit, au printemps et en été, ses eaux chaudes et chargées souvent s'intercaler et se répandre au niveau du métalimnion (Damiani, 1972). Ces flux intermédiaires (*interflows*) sont à l'origine de l'inégalité de la sédimentation fine par poudrage et de l'importance de celle-ci sur certains talus dominant la plaine centrale des lacs (Giovanoli, 1990).

La troisième possibilité est celle d'une eau plus dense que toutes les strates lacustres, si bien qu'elle s'écoule sur le fond du lac. Elle peut être très chargée et les tributaires des grands lacs alpins en sont l'exemple type (Collet, 1925). Lesdits « courants de turbidité » ne sont en fait pas des courants, mais des flux gravitaires, dans le sens où ces entraînements de matériaux sont soumis à la pesanteur (Vanne, 1991, p. 37). Dit d'une autre manière, les trajets des flux de turbidité sont contrôlés par la topographie du fond, qu'ils contribuent d'ailleurs à construire. C'est donc plus en limnologie géomorphologique que dynamique qu'ils doivent être étudiés, liés qu'ils sont avec les formes de modelé des ravins sous-lacustres (Touchart, 1999b, 2000a, Карабанов, Фиалков, 1987). Mais la masse d'eau fluviale peut aussi être peu chargée et former un véritable courant profond (fig. 57).

Il est bien évident que, en fonction des saisons, une même rivière peut avoir des comportements différents, s'étalant tantôt en surface, s'enfonçant tantôt en profondeur. Dans le cas des lacs monomictiques chauds, les courants superficiels liés aux tributaires dominant au printemps et en été, les courants intermédiaires en automne et profonds en hiver (Wunderlich, 1971). Plusieurs comportements simultanés sont même possibles. Ainsi, les courants intermédiaires et les flux de turbidité progressant au fond coexistent parfois en même temps. Ces derniers n'étant en effet pas des courants au sens strict, ils ont besoin d'une impulsion, fréquemment donnée par l'arrivée des cours d'eau, puis se chargent seuls en matériel au cours de leur progression. Le flux progresse donc ensuite en fonction du fond du lac lui-même, tandis que les courants intermédiaires, plus lents et plus longs, sont déviés en pleine eau selon d'autres procès. Il peut aussi se cumuler un courant de surface et un autre profond, comme cela a été observé dans le Léman au large du delta de la Dranse lors de la crue du 22 septembre 1968 (Hubert *et al.*, 1969), ou dans le Lac Majeur lors de la crue du 7 août 1978 (Ambrosetti *et al.*, 1980).

Toutes ces combinaisons verticales se croisent avec des composantes horizontales, dont certaines sont dues à des phénomènes extérieurs (*cf.* 2.), d'autres à un ajustement s'appuyant sur les courants existant déjà dans le lac. C'est ainsi que les courants de dérive intègrent l'eau des affluents (fig. 58). Dans le Biwa, la cellule nord est liée à l'entrée de l'Ane et, dans le Bodan, le Rhin provoque un courant linéaire avant de se rallier à la grosse cellule cyclonique du lac (Nümann, 1938). De même, l'entrée de la Nogu et de l'Inaozawa provoquent les courants les plus rapides du lac Kizaki, qui sont repris par la grande cellule contra-horaire de dérive (Arai, 2001b).

Certes moins que les tributaires, l'émissaire est susceptible de provoquer aussi des ladières. Au-delà du débordement des lacs naturels par dessus la contre-pente qui les ferme et des courants superficiels qui l'accompagnent, la construction des lacs de barrage artificiels a compliqué les possibilités courantologiques. Les prises de fond induisent en effet des ladières particulières, dont certaines sont liées aux seiches internes provoquées par l'ouverture de vannes profondes.

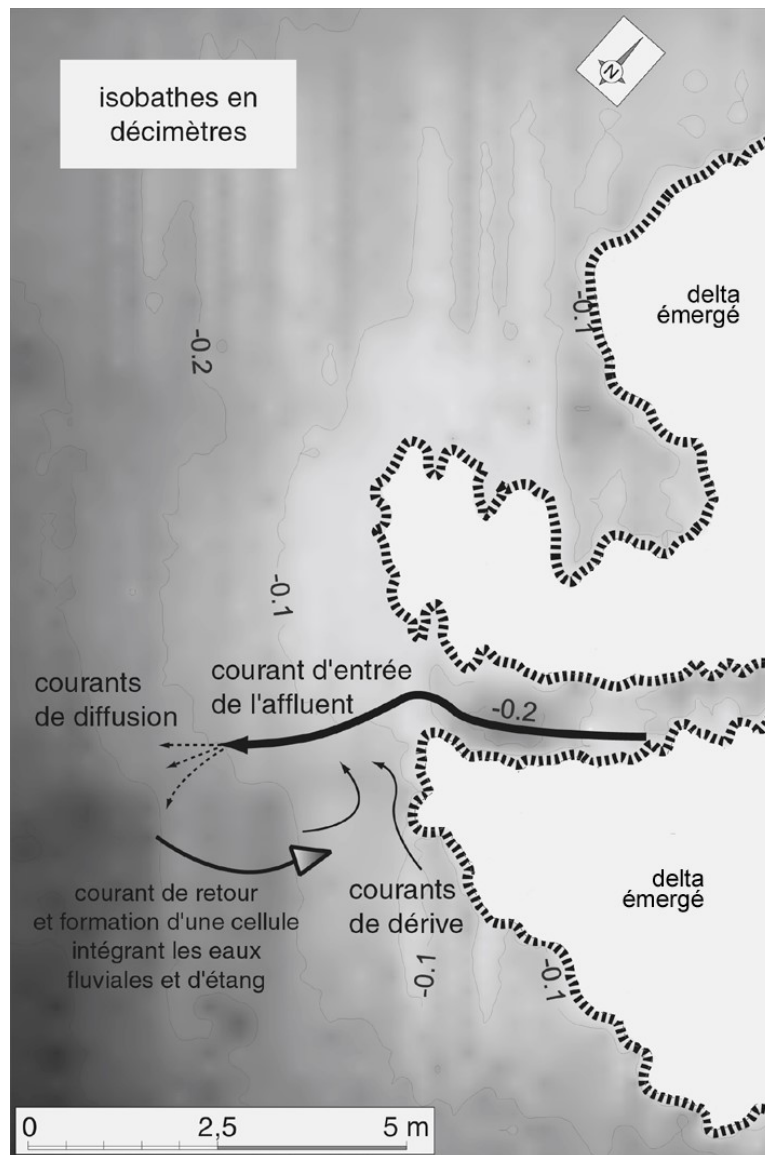


Fig. 58 Carte des ladières au large du delta de l'étang du Theil (Limousin) le 9 juillet 2001 : une confrontation entre les courants fluviaux et de dérive d'après Graffouillère (2001), modifié

β. Les ladières dues aux seuils sous-lacustres

Dans les lacs constitués de plusieurs bassins séparés par des seuils, des courants équilibrent les bilans d'eau d'une cuvette à l'autre. Ce sont les ladières de décharge. Dans le Baïkal, Галазий (1988, c. 104) estime que les échanges d'eau entre les bassins méridional et central sont de 80 à 90 mètres cubes par an. Les ladières de décharge les plus importantes concernent les lacs dont les cuvettes possèdent un bilan hydrique assez différent. Ce cas est le plus fréquent en milieu aride à semi-aride. Le Balkhach en est le prototype (Létolle et Touchart, 1998). Le bassin occidental, alimenté par l'Ili, est d'eau douce, avec des valeurs de 0,7 à 1,2 g/l, tandis que le bassin oriental renferme de l'eau saumâtre, à 3,3 g/l. Une importante ladière de surface, estimée par Раткович *u comp.* (1987, c. 45) à 95 mètres cubes par seconde, permet à l'eau douce de s'exporter dans le bassin oriental à travers le détroit d'Ouzoun-Aral. Sous la couche de saut du détroit, un courant profond, moins important, autorise une petite partie de l'eau saumâtre à gagner le fond du bassin occidental. Au total, c'est le bassin occidental, bénéficiaire, qui se déverse principalement dans le bassin oriental, déficitaire. Mais la contre-ladière n'existe pas dans tous les lacs. Ainsi, à l'est de la Caspienne, le Kara Bogaz possède un

bilan très déficitaire, avec une énorme évaporation. La salinité, dépassant 200 g/l, est plus de seize fois supérieure à celle du plein lac. La Caspienne se déverse donc dans le golfe. Le chenal se termine par une chute de 3 m de haut, interdisant tout courant de retour. C'était du moins le fonctionnement naturel avant le barrage de 1980 séparant la Gorge Noire de la Caspienne (Létolle et Touchart, 1998).

2. LES FACTEURS MODIFIANT LA DIRECTION ET LA VITESSE DES COURANTS

Les facteurs qui changent la direction et la vitesse des ladières n'interviennent pas lors de la création du mouvement, mais modifient largement celui-ci. En lac, les facteurs contraints prennent une importance plus grande, alors qu'en mer, les forces libres, comme celle de Coriolis, prédominent nettement.

a. La force de Coriolis

La force de Coriolis correspond à l'effet centrifuge de la rotation de la Terre sur les courants. Elle est nulle dans les lacs équatoriaux. De son fait, les ladières sont déviés sur la droite de leur mouvement dans les lacs de l'hémisphère nord et la gauche dans ceux de l'hémisphère sud.

Pour ce qui est des courants de dérive en lac profond, la direction superficielle de la ladière fait un angle de 45° avec celle du vent et cet angle croît avec la profondeur. Le mouvement d'eau forcé par le vent est peu à peu détourné de sa direction superficielle, selon le principe de la spirale définie par Ekman en 1905. A la profondeur à laquelle il s'éteint, le courant s'écoule à 180° de sa direction de surface, soit 135° sur la gauche de la direction du vent dans les lacs de l'hémisphère nord. Si on moyenne les vecteurs de vitesse, la ladière dans toute son épaisseur se déplace à angle droit de la direction du vent, sur la droite de son mouvement dans les lacs de l'hémisphère nord. Cela explique que les courants de remontée et autres ladières de résurgence (*upwellings*) soient les plus importants pour des vents parallèles à la côte, du moins dans les lacs à falaise plongeante et talus sous-lacustre abrupt. Ailleurs, ce n'est pas tout à fait le cas, dans le sens où la déviation est d'autant plus faible que la profondeur du lac est petite par rapport à celle où devrait disparaître le courant. Quand cette dernière est 5 à 10 fois plus grande que l'épaisseur de la tranche d'eau, les directions de la ladière et du vent sont presque les mêmes. Or cela peut être assez souvent le cas des littoraux lacustres.

Concernant les courants de densité, la force de Coriolis les empêche de se diriger simplement des points hauts vers les points bas de la topographie isobarique. Les ladières dues aux ajustements résultant des variations de température et, pour les lacs salés, de substances dissoutes, s'écoulent en fait, au large, parallèlement aux isopycnes. Ces courants sont donc perpendiculaires au gradient. Dans l'hémisphère boréal, un observateur posté dans le sens du courant a les eaux les moins denses à sa droite. Dans les lacs d'eau douce de l'hémisphère nord, au moins pendant une longue saison chaude sinon toute l'année, la ladière de densité laisse les eaux froides sur sa gauche.

Pour ce qui est des courants d'entrée des tributaires fluviaux, leurs modalités d'évolution à l'intérieur du lac sont avant tout commandées par la force de Coriolis (Murthy *et al.*, 1986). Ne serait-ce qu'en surface, la déviation sur la droite des panaches superficiels (*plumes* des Anglo-saxons) est très visible dans les lacs de l'hémisphère nord. Ce même détournement a été mesuré dans les courants intermédiaires (Hutchinson, p. 295). Selon Giovanoli (1990), cette dissymétrie se retrouve dans le modelé des deltas immergés, les particules transportées par les « interflux » se déposant essentiellement sur la droite des prodeltas. Même les flux de turbidité, s'écoulant sur le fond, sont sensibles à la force de Coriolis. La dissymétrie des levées construites délimitant les ravins sous-lacustres leur est due. Les modèles numériques de terrain du delta du Rhône dans le Léman permettent de suivre les déviations des trajectoires des flux de turbidité (Touchart, 1999b).

b. Les frottements

Les ladières sont perturbées par deux types de frottements, internes et externes. Les frottements internes expliquent, en sus de la force de Coriolis, la forme de la spirale d'Ekman. Tout en déviant, le courant voit sa vitesse diminuer avec la profondeur. Il finit par s'éteindre, pour cette raison, à la profondeur dite de frottement, proportionnelle à la vitesse du vent et inversement proportionnelle à

la latitude (*cf.* formules *supra* 1.a.). Les frottements internes à la masse d'eau se produisent aussi dans le sens horizontal.

Les frottements externes sont ceux dus à la cuvette lacustre. Leur importance est telle en limnologie que nous l'avons érigée en différence majeure entre le courant océanique et la ladière (*cf. supra* A.). Il ne s'agit pas de revenir sur les complications directionnelles que cela implique. Mais il faut ajouter les variations fréquentes de vitesse des ladières qui leur sont dues, en général dans le sens du ralentissement par frottement. Les nombreux détroits lacustres peuvent en revanche accélérer les courants. Le frottement du courant sur le fond est susceptible de s'accompagner d'une certaine turbulence, ainsi plus forte à proximité du fond qu'en pleine eau (Imboden & Wüest, 1995, p. 119).

Conclusion

Les lacs et les étangs connaissent des mouvements d'eau de plusieurs types. Les variations générales de niveau de l'ensemble du plan d'eau, à longue échelle de temps ou à celle du marnage annuel, sont dues au bilan hydrologique. Les ondes font osciller la surface de l'eau, et parfois les plans de discontinuité profonds, selon des rythmes temporels différents, construisant marées, seiches et vagues possédant des caractères originaux, distincts de ceux de l'océan. Les courants lacustres, ou ladières, sont des mouvements d'eau à composante horizontale généralement dominante, moins cependant qu'en milieu marin, du fait de la petitesse de la cuvette lacustre et de l'importance des flux de plongée et de remontée.

S'il existe plusieurs types de stratifications thermiques en limnologie physique et maintes sortes de mouvements d'eau en limnologie dynamique, il convient de regrouper les paramètres et d'élever la classification au rang des lacs eux-mêmes.



Photo 4A *La bataillière, plongée des eaux froides et turbides du Rhône valaisan sous les eaux moins denses du Léman*

D'après une carte-postale Cellard

BIBLIOGRAPHIE

- Ackermann W.C., White G.F. & Worthington G.B., Ed, 1973, *Man-Made lakes : their problems and environmental effects*. Washington D.C., American Geophysical Union, Geophysical Monograph 17, 847 p.
- Acot P., 1999, « François-Alphonse Forel dans l'histoire de l'écologie scientifique » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p.: 19-26.
- Agassiz A., 1876, « Hydrographic sketch of Lake Titicaca » *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 11(24) : 283-292.
- Aladin N.V. & Plotnikov I.S., 1993, « Large saline lakes of former USSR : a summary review » *Hydrobiologia*, 267 : 1-12.
- Amblard C. & Pinel-Alloul B., 1995, « Variations saisonnières et interannuelles du plancton » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 411-440.
- Ambrosetti W. & Barbanti L., 1999, « Deep water warming in lakes : an indicator of climatic change » *Journal of Limnology*, 58(1) : 1-9.
- Ambrosetti W. & Barbanti L., 2000, « Riscaldamento delle acque profonde nei laghi italiani : un indicatore di cambiamenti climatici » *Acqua & Aria*, 4 : 65-72.
- Ambrosetti W. & Barbanti L., 2001, « Temperature, heat content, mixing and stability in Lake Orta : a pluriannual investigation » *Journal of Limnology*, 60(1) : 60-68.
- Ambrosetti W., Barbanti L., Bernardi R. de & Libera V., 1980, « Alcune riposte ad un evento meteorologico eccezionale : il nubifragio del 7 Agosto 1978 nel bacino del Lago Maggiore » *Atti 3° Congresso AIOL* : 389-406.
- Ambrosetti W., Barbanti L. & Pompilio L., 1996, « Morphometry and thermal stratification in Italian lakes. 3. Dynamics of the deepening of thermocline » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 54 : 43-50.
- Ammianus Marcellinus, 385, *Rerum gestarum libri*, Libri XIV-XVI. Traduction Galletier E. : Ammien Marcellin, 1968, *Histoire*. Livres XIV-XVI, Paris, Les Belles Lettres, 297 p.
- Amoros C. & Petts G.E., Dir., 1993, *Hydrosystèmes fluviaux*. Paris, Masson, 300 p.
- Amoros C. & Wade P.M., 1993, « Successions écologiques » in Amoros & Petts, dir. : 201-231.
- Anderson E.R. & Pritchard D.W., 1951, *Physical limnology of Lake Mead*. San Diego, California, US Navy Electronics Laboratory, Report 258, Problem NEL 2J1, 152 p.
- Anderson W.L., Robertson D.M. & Magnuson J.J., 2001, « Evidence of recent warming and El-Niño related variations in ice break-up of Wisconsin lakes » *Limnology and Oceanography*, 41 : 815-821.
- Angeli N., Pont D. & Pourriot R., 1995, « Hétérogénéité spatiale et migration du plancton » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 411-440.
- Angelier E., 2000, *Ecologie des eaux courantes*. Paris, Techniques et Documentation, 199 p.
- Angot A., 1905, « La température en France » *Annales de géographie*, 14 : 296-309.
- Anonyme, 1878, « A new deep-sea thermometer » *Nature*, 18(July 25) : 348-350.
- Anonyme, 1881, « Le Dr Asper communiqué quelques recherches sur la profondeur à laquelle pénètrent dans l'eau les rayons lumineux » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 6 : 318.
- Anthony M. & Drummond G., 1973, « Reservoir water quality control » in Ackermann W.C., White G.F. & Worthington G.B., Ed, *Man-Made lakes : their problems and environmental effects*. Washington D.C., American Geophysical Union, Geophysical Monograph 17, 847 p. : 549-551.
- Arai T., 1973, « Thermal structure of the artificial reservoir » in Ackermann W.C., White G.F. & Worthington G.B., Ed, *Man-Made lakes : their problems and environmental effects*. Washington D.C., American Geophysical Union, Geophysical Monograph 17, 847 p. : 536-538.
- Arai T., 1984, « Kisui ko no junkan to seiso » *Chigiku*, 6(8) : 470-474.
- Arai T., 2001a, « The hydro-climatological significance of long-term ice records of Lake Suwa, Japan » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2757-2760.
- Arai T., 2001b, « Water motion » in Saijo Y. & Hayashi H., Ed, *Lake Kizaki, limnology and ecology of a Japanese lake*. Leiden, Backhuys, 427 p. 74-78.
- Arai T. & Hayashi H., 2001, « Water temperature » in Saijo Y. & Hayashi H., Ed, *Lake Kizaki, limnology and ecology of a Japanese lake*. Leiden, Backhuys, 427 p. 70-73.
- Arakawa H., 1954, « On five centuries of freezing dates of Lake Suwa (36°N, 138°E) in the Central Japan » *Kenkyu jihou*, 6-5 : 143-146.
- Arbouille D. & Vernet J.-P., 1989, « Les sédiments, l'eau et la pollution » *Thema*, 8 : 9-13.
- Ardillier F., 1997, *L'eau ressource pour le développement d'un espace rural, l'exemple du bassin de la Gartempe*. Limoges, Pulim, 591 p.
- Arx W.S. von, 1962, *An introduction to physical oceanography*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 422 p.
- Assel R. & Herche L., 2001, « Coherence of long-term lake ice records » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2789-2792.
- Association des Intérêts de Conches, 1988, *Conches, un quartier, une école*. Chênes-Bougeries, Editions Chênoises, 68 p.
- Atkins W.R.G., Clarke G.L., Pettersson H.H., Utterback C.L. & Ångström A., 1938, « Measurement of a submarine daylight » *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 13 : 37-57.
- Axelrod A., 1978, *Contribution à l'étude géophysique de la région des lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat*. Lausanne, Univ., Fac. des Sciences, thèse, 93 p.
- Ayers J.C., Andersson D.V., Chandler D.C. & Lauff G.H., 1956, *Currents and water masses of Lake Huron*. Maple, Ontario Department of lands and forests, Ann Arbor, University of Michigan, 101 p. + annexes.
- Balabanian O. & Bouet G., 1989, *L'eau et la maîtrise de l'eau en Limousin*. Treignac, éd. Les Monédières, 301 p.
- Balabanian O. & Bouet G., 1994, « La nature limousine » in *Le guide du Limousin*. Lyon, La Manufacture, 305 p. : 12-28.
- Barraqué B., Bley D., Boëtsch G., Masali M. & Rabino Masso E., dir., 1995, *L'Homme et le Lac, usages et représentations de l'espace lacustre*. VI e journées de la Société d'Ecologie Humaine, 13-15 juin 1994, Cadenabbia-Griante (Côme, Italie), 192 p.
- Bailly A., 1995, « Une vision tourmentée de la Riviera lémanique » *Annales de Géographie*, 104(583) : 329-330.
- Barbanti L., 1970, « L'évaporation dale superfici lacustri : tecniche di studio » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 26 : 97-119.
- Barbanti L. & Ambrosetti W., 1987, « Energia termica e stabilità meccanica nel Lago Maggiore » *Atti 7° Congresso AIOL*, 54 : 119-132.
- Barbanti L. & Ambrosetti W., 1989, « The physical limnology of Lago Maggiore : a review » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 54 : 31-42.
- Barbanti L. & Carollo A., 1967, « Analisi della diffusione turbolenta e dei processi circolatori nel Lago Maggiore con l'impiego di un tracciante fluorescente (Rodamina B) » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 21 : 37-87.
- Barbanti L., Pompilio L. & Ambrosetti W., 1996, « Morphometry and thermal stratification in Italian lakes. 2. The "Depth Ratio" as a predictive index of thermal structures » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 46 : 41-68.

- Barla C., 1998, « Ces plans d'eau qui confisquent vos rivières » *Le pêcheur de France*, 174 : 60-61.
- Barroin G., 1995, « Cycle et bilan de l'oxygène » in Pourriot M. & Meybeck M., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 705-726.
- Barroin G., 1999, *Limnologie appliquée au traitement des lacs et des plans d'eau*. Lyon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 215 p.
- Bartout P., 2000, *Passé et présent des étangs du sud-ouest de la Haute-Vienne*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise en géographie, 242 p.
- Bayly I.A.E. & Williams W.D., 1973, *Inland waters and their ecology*. Victoria, Longman Australia, 316 p.
- Beadle L.C., 1974, *The inland waters of tropical Africa, an introduction to tropical limnology*. London, Longman, 365 p.
- Beard L.R. & Willey R.G., 1970, « An approach to reservoir temperature analysis » *Water Resource Research*, 6 : 1335-1345.
- Bèche H.-T., 1819, « Sur la profondeur et la température du lac de Genève » *Bibliothèque Universelle de Sciences et Art de Genève*, 12 : 118-126.
- Becquerel A. & Breschet, 1836, « Recherches expérimentales physico-physiologiques sur la température des tissus et des liquides animaux » *Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences*, séance du lundi 26 décembre : 771-781. Paragraphe « Procédé électro-chimique pour déterminer la température de la terre et des lacs à diverses profondeurs » : 778-781.
- Beletsky D., Filatov N. & Ibraev R., 1994, « Hydrodynamics of Lakes Ladoga and Onega » *Water pollution Research Journal Canada*, 29(2-3) : 365-385.
- Benedetti-Crouzet E. & Dussart B., 1979, *Les retenues d'eau*. Sarlat, IBD & Agence Financière de bassin Seine-Normandie, 246 p.
- Bénévent E., 1926, *Le climat des Alpes françaises*. Paris, Mémorial de la météorologie nationale n°14, 435 p.
- Berg C.O., 1963, « Middle Atlantic states » in Frey D.G., Ed, *Limnology in North America*. Madison, University of Wisconsin Press : 191-237.
- Berg K., 1950, « The content of limnology demonstrated by F.-A. Forel and August Thienemann on the shore of Lake Geneva » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, Congress in Belgium, 11 : 41-57.
- Bergsten F., 1926, « The seiches of Lake Vetter » *Geografiska Annaler*, 8 : 1-73.
- Bernard-Allée P., 1994, « Climat et ressources en eau » in Bernard-Allée P., André M.-F. & Pallier G., *Atlas du Limousin*. Limoges, Pulim, 166 p.: 12-15.
- Bernardi R. de, Guissani G. & Grimaldi E., 1984, « Lago Maggiore » in Taub F.B., Ed, *Lakes and Reservoirs*. Amsterdam, Elsevier, Ecosystems of the world n° 23, 643 p. : 247-266.
- Bernhardt H., 1967, « Aeration of Wahnbach Reservoir without changing the temperature profile » *Journal of American Water Works Association*, 59 : 943-964.
- Berthois L. & Froidefond J.-M., 1983, *Traité de bathymétrie*. Univ. Bordeaux I, Mémoires de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, 158 p.
- Bertola C., 1998, « Introduction. François-Alphonse Forel (1841-1912) » in Forel F.-A., 1892, réimpression 1998, *Le Léman, monographie limnologique*. Genève, Slatkine, tome I, 543 p. : 16 p. non paginées.
- Bertola C., 1999, « François-Alphonse Forel (1841-1912) » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p.: 3-17.
- Bertola C., 2000, « Dans le silence des épaves » *L'Alpe*, 9 : 19-34.
- Bessière C. & Londe P., 1992, « Barrages » in *Encyclopaedia Universalis*. Paris, t. 3, 1053 p. : 838-849.
- Bétant A. & Perrenoud G., 1932, « Etudes sur la partie occidentale du lac de Genève. I. Courants et températures » *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève*, 41(2) : 225-293.
- Béthémont J., 1999, *Les grands fleuves entre nature et société*. Paris, A. Colin, col. U, 255 p.
- Bettoni P., 1900, *Studi limnografici sulle sasse del lago di Garda, comm. Dell Ateneo di Brescia*. Cité par Halbfass, 1923.
- Billon B., Guiscafré J., Herbaud J. & Oberlin G., 1974, *Le bassin du fleuve Chari*. Paris, Orstom, coll. "monographies hydrologiques", 450 p.
- Birembaut A., 1992, « Histoire de la thermodynamique » in *Encyclopaedia Universalis*. Paris, Corpus 22, 1005 p. : 537-541.
- Birge E.A., 1897, « Plankton studies on Lake Mendota. II. The crustacea of the plankton from July, 1894, to December, 1896 » *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*, Madison, 11 : 274-448.
- Birge E.A., 1910a, « An unregarded factor in lake temperatures » *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*, Madison, 16 : 989-1004.
- Birge E.A., 1910b, « On the evidence for temperature seiches » *Transactions of the Wisconsin Academy of sciences, Arts and Letters*, Madison, 16 : 1005-1016.
- Birge E.A., 1916, « The work of the wind in warming a lake » *Transactions of the Wisconsin Academy of sciences, Arts and Letters*, Madison, 18 : 341-391.
- Birge E.A. & Juday C., 1931, « A third report on solar radiation and inland lakes » *Transactions of the Wisconsin Academy of sciences, Arts and Letters*, Madison, 26 : 383-425.
- Birkett C.M., 1995, « The contribution of Topex / Poseidon radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands » *Water Resource Research*, 34(5) : 1223-1235.
- Birkett C.M., 1998, « The contribution of Topex / Poseidon to the global monitoring of climatically sensitive lakes » *Journal of Geophysical Research*, 100(C12) : 25179-25204.
- Birkett C.M. & Mason I.M., 1995, « A new global lakes database for a remote sensing program studying climatically sensitive lakes » *Journal of Great Lakes Research*, 21(3) : 307-318.
- Biot P., 1968, *Précis de Géographie Physique Générale*. Paris, A. Colin, 340 p.
- Blanc H., 1912, « Le Professeur Docteur François-Alphonse Forel » *Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 95(1) : 110-148.
- Blavoux B., 1978, *Etude du cycle de l'eau au moyen de l'¹⁸O et du tritium. Possibilités et limites de la méthode des isotopes du milieu en hydrologie de la zone tempérée*. Paris, thèse d'Etat, 333 p.
- Blüthgen J., 1966, *Allgemeine Klimageographie*. Berlin, Walter de Gruyter, 2^{de} Aufl., 720 p.
- Bohle M. & Perrinjaquet C., 1984 « Technique de mouillage d'instrument de mesure dans le Léman » *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 84(4) : 45-49.
- Bohle-Carbonnel M., 1986a, *Hydrodynamik des Genfer Sees, Gleichgewichte und charakterisierende Größen*. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale, Laboratoire d'Hydraulique, thèse n° 611, vol. I, 235 p., vol. II, 132 p.
- Bohle-Carbonnel M., 1986b, « Currents in Lake Geneva » *Limnology and Oceanography*, 31(6) : 1255-1266.
- Bohle-Carbonnel M. & Van Senden D., 1990, « On internal seiches and noisy current field-theoretical concepts versus observations » in Tilzer M.M. & Serruya C., Ed, *Larges lakes: ecological structure and function*. Berlin, Springer, 691 p. : 81-106.
- Bolgrien D.W., Granin N.G. & Levin L., 1995, « Surface temperature dynamics of Lake Baikal observed from AVHRR images » *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(2) : 211-216.
- Bolke E.L. & Waddel K.M., 1975, « Chemical quality and temperature of water in Flaming Gorge Reservoir, Wyoming and Utah, and the effects of the reservoir on the Green River » *US Geological Survey Water Supply Paper*, 2039A
- Boltshauser J., 1860, « Le lac d'Annecy » *Revue Savoissienne*, 1(1) : 2-4 & 1 (2) : 9-11.

- Bonython C.W. & Mason B., 1953, « The Filling and Drying of Lake Eyre » *The Geographical Journal*, 119 : 321-330.
- Boon P.J., 1988, « The impact of river regulation on invertebrate communities in the U.K. » *Regulated Rivers : Research and Management*, 2 : 389-409.
- Bouchardeau A. & Lefèvre R., 1957, *Monographie du lac Tchad*. Paris, Orstom, 112 p.
- Bouet M., 1949, « La vaudaire du Bas Valais et du lac Léman » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 64 : 253-274.
- Boulton A.J. & Brock M.A., 2001, *Australian freshwater ecology : processes and management*. Adelaide, Gleneagles, 1999, SIL 2001, Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology, 300 p.
- Bourcart F.-E., 1906, *Les lacs alpins suisses, étude chimique et physique*. Genève, Georg, 130 p.
- Bourget E. & Fortin M.J., 1995, « A commentary on current approaches in the aquatic sciences » in Balvay G., Ed, "Space partition within aquatic ecosystems", Proceedings of the Second International Congress of Limnology and Oceanography held in Evian, May 25-28, 1993, 444 p., *Hydrobiologia*, 300/301: 1-16.
- Bouteloup J., 1960, *Vagues, marées, courants marins*. Paris, PUF, Que-sais-je 438, 128 p.
- Boys P. du, 1891, « Essai théorique sur les seiches » *Archives des Sciences physiques et Naturelles de Genève*, 25 : 628-795.
- Brajou P., 1997, *Valorisation des richesses naturelles et axes de développement en Xaintrie Blanche*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise en géographie, 134 p. + 6 annexes.
- Bravard J.-P., 1987, *Le Rhône du Léman à Lyon*. Lyon, La Manufacture, 451 p.
- Bravard J.-P., Coord., *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques, gestion des excès et de la pénurie*. Paris, Sedes, 288 p.
- Bravard J.-P. & Petit F., 1997, *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Paris, A. Colin, col. U, 222 p.
- Bravard J.-P. & Petts G.E., 1993, « Interférences avec les interventions humaines » in Amoros & Petts, dir., *Hydrosystèmes fluviaux*. Paris, Masson, 300 p. : 233-253.
- Bretschneider C.L., 1952, « The generation and decay of wind waves in deep water » *Transactions of the American Geophysical Union*, 33 : 381-389.
- Brett J.R., 1956, « Some Principles in the Thermal Requirements of Fishes » *The Quarterly Review of Biology*, 31 : 75-87.
- Bridel Ph., 1814, « Essai sur le lac Léman » in *Le Conservateur suisse ou Recueil complet des étrennes helvétiques*. Lausanne, Louis Knab, tome V : 5-93.
- Brönsted J.N. & Wesenberg-Lund C., 1911, « Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer nebst Bemerkungen über ihre Bedeutung für unsere Auffassung der Temporalvariationen » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 4 : 251-290 & 437-492.
- Brooker M.P., 1981, « The impact of impoundments on the downstream fisheries and general ecology of rivers » *Advances in Applied Biology*, 6: 91-152.
- Brown G.W., 1969, « Predicting temperatures of small streams » *Water Resource Research*, 5(1) : 68-75.
- Bruschin J. & Falvey H., 1975, « Vagues de vent sur un plan d'eau confiné. Considérations générales et application au Léman (Petit-Lac) » *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 101(14) : 225-232.
- Bruschin J. & Schneider L., 1978, « Caractéristiques des vagues dans les lacs profonds. Vagues de bise sur le Léman (Petit-Lac) – Campagne de mesures 1974-1978 » *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 104(19) : 269-276.
- Bruschin J. & Schneider L., 1979, « Wind-waves in the bay of Geneva » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developments in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 245-254.
- Bruyant C., 1903, « Les seiches du lac Pavin » *Revue d'Auvergne*, 20 : 81-97.
- Bryan J.G., 1964, « Physical control of water quality » *British Waterworks Association Journal*, 46 : 546-564.
- Bryson R.A. & Kuhn P.M., 1952, *On certain oscillatory motions of lakes*. Report to the University of Wisconsin Lake Investigations Committee n°5, 10 p. Cité par Hutchinson, 1957.
- Buchan A., 1871, « Remarks on the deep-water temperature of Lochs Lomond, Katrine, and Tay » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 7 : 791-795.
- Buchanan J.Y., 1879, « On the freezing of lakes » *Nature*, 19(March 6) : 412-414.
- Buchanan J.Y., 1886, « On the distribution of temperature in Loch Lomond during the autumn of 1885 » *Proceedings of the Royal society of Edinburgh*, 13 : 403-428.
- Buffle J.-P., 1948, « André Delebecque (1861-1947) » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 1(1) : 177-183.
- Buffle J.-P., 1952, « André Delebecque (1861-1947) » *Annales de la Station Centrale d'Hydrobiologie Appliquée*, 4 : 199-201.
- Bukata R.P., Bennett J.E. & Bruton J.E., 1978, « Landsat-1 observation of an internal standing wave pattern in Lake Superior » *Canadian Journal of Spectroscopy*, 23(2) : 57-65.
- Bukata R.P., Haras W.S. & Bruton J.E., 1975, « The application of ERTS-1 digital data to water transport phenomena in the Pointe Pelee – Rondeau area » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 19 : 168-178.
- Bulson P.S., 1967, « Theory and design of bubble breakwaters » *Dock and Harbour Authorities*, 48(560) : 47-54.
- Burgis M. & Morris P., 1987, *The Natural History of Lakes*. Cambridge University Press, 218 p.
- Burns C.W., 2000, « Towards tomorrow : taking SIL into the 21st century » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(1) : 1-5.
- Burrows R.F., 1967, « Water temperature requirements for maximum productivity of salmon » in Eldridge E.F., Ed, *Water temperature, influences, effects and controls*. Portland, US Department on the Interior Federal Water Pollution Control Administration, Proceedings of the 12th Pacific Northwest Symposium on water pollution research, 157 p. : 29-34.
- Cailliez V. & Perarnaud V., 1993, « Evolution du climat en Limousin depuis 1880 » *La Météorologie*, mars,
- Caldwell D.R., Brubaker J.M. & Neal V.T., 1978, « Thermal microstructure on a lake slope » *Limnology and Oceanography*, 23 : 372-374.
- Caloi P., 1947, « Notevoli onde interne (sesse termiche) nel lago di Garda » *Ricerca scientifica*, 17(1) : 3-7.
- Caloi P., 1948, « Le sesse del lago di Garda » *Annali Geofis.*, 1(1) : 24-51 & 1(2) : 175-200. Cité par Dussart, 1966.
- Calow P. & Petts, 1992, *The rivers handbook : hydrological and ecological principles*. London, Blackwell Scientific Publ., vol.1, 526 p.
- Capart A., 1955, « L'échouage dans les lacs du Congo Belge » *Bulletin agricole du Congo belge*, Bruxelles, 46(5) : 1075-1104.
- Carbonnel J.-P. & Guisacfré J., 1965, *Grand Lac du Cambodge, sédimentologie et hydrologie, 1962-1963*. Paris, Orstom, Museum, CRG, 401 p.
- Carmack E.C., Gray C.B., Pharo C.H. & Daley R.J., 1979, « Importance of lake-river interaction on seasonal patterns in the general circulation of Kamloops Lake, British Columbia » *Limnology and Oceanography*, 24 : 634-644.
- Carmouze J.-P., 1983, « Hydrochemical regulation of the lake » in Carmouze J.-P., Durand J.-R. & Lévêque C., Ed, *Lake Chad, Ecology and Productivity of a Shallow Tropical Ecosystem*. The Hague, Dr W. Junk Publishers, 575 p. : 83-123.
- Carmouze J.-P., Arce C. & Quintilla J., 1983, « Régulation hydrochimique du lac Titicaca et hydrochimie de ses tributaires » *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 14 : 329-348.
- Carmouze J.-P., Chantraine J.-M. & Lemoalle J., 1983, « Water temperature » in Carmouze J.-P., Durand J.-R. & Lévêque C., Ed, *Lake Chad, Ecology and Productivity of a Shallow Tropical Ecosystem*. The Hague, Dr W. Junk Publishers, 575 p. : 67-72.

- Carozzi A.V., Crettaz B. & Ripoll D., Resp., 1998, *Les plis du temps, mythe, science et H.-B. de Saussure*. Genève, Payot Amoudruz, 367 p.
- Carper G.L. & Bachman A.G., 1984, « Wind resuspension in a small prairie lake » *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41 : 1763-1767.
- Casado C., Garcia de Jalon D., Del Olmo C.M., Barcelo E. & Menes F., 1989, « The effect of an irrigation and hydroelectric reservoir on its downstream communities » *Regulated Rivers : Research and Management*, 4 : 275-284.
- Cemagref, groupement de Bordeaux, 1987, *Etude de l'impact des étangs en Limousin, rapport de synthèse des résultats obtenus à l'issue de la première campagne d'observations et de mesures*. Agence de bassin Loire Bretagne, Conseil supérieur de la pêche délégation régionale Auvergne-Limousin, Service régional de l'aménagement des eaux du Limousin, étude n° 33, 50 p. + annexes.
- Cemagref, groupement de Bordeaux, 1989, *Etude de l'impact des étangs en Limousin, rapport de synthèse des résultats obtenus à l'issue de la seconde campagne d'observations et de mesures*. Agence de bassin Loire Bretagne, Conseil supérieur de la pêche délégation régionale Auvergne-Limousin, Service régional de l'aménagement des eaux du Limousin, étude n° 48, 24 p.
- Chevey P., 1935, « Le Grand Lac du Cambodge » *Bulletin Economique de l'Indochine* : 519-526.
- Cholnoky E. von, 1897, *Erforschung des Plattensees*. I.III „Limnologie“.
- Christison R., 1872, « Address at opening session of the Royal Society of Edinburgh, November 27, 1871 » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 7 : 531-574.
- Chrystal G., 1904, « Some results in the mathematical theory of seiches » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 25 : 328-337.
- Chrystal G., 1905a, « Some further results in the mathematical theory of seiches » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 25 : 637-647.
- Chrystal G., 1905b, « On the hydrodynamical theory of seiches, with a bibliographical sketch » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 41 : 599-649.
- Chrystal G., 1908a, « An investigation of the seiches of Loch Earn by the Scottish Lake Survey » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 46 : 455-517.
- Chrystal G., 1908b, « Seiches in the lakes of Scotland » *Proceedings of the Royal Institute G.B.*, 18 : 657-676.
- Chrystal G., 1910, « Seiches and other oscillations of lake surfaces, observed by the Scottish Lake Survey » in Murray J. & Pullar L., *Bathymetric survey of the Scottish fresh-water lochs*. Edinburgh, Challenger Office, vol. 1, 785 p.: 29-90.
- Chrystal G., & MacLagan-Wedderburn E., 1905, « Calculation of the periods and nodes of Lake Earn and Treig, from the bathymetric data of the Scottish Lake Survey » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 41 : 823-850.
- Ciaglic' V., 1962, « Quelques observations sur le régime thermique et le régime de la prise et de la débâcle des eaux du lac de barrage de Izvorul Muntelui-Bicaz (Roumanie) » *Anal. Stiint. Univ. A.I. I. Cuza, Sect. II*, 8 : 125-134. Cité par Benedetti-Crouzet & Dussart, 1979.
- Ciaglic' V., 1965, « Some data concerning the Izvorul Muntelui-Bicaz reservoir – influences upon the hydrological conditions of Bistrita River » *Com. Geogr. Soc. Sti. Nat. Romana*, III : 113-122. Cité par Benedetti-Crouzet & Dussart, 1979.
- Ciaglic' V., 1968, « Le régime thermique du lac de barrage artificiel Izvorul Muntelui-Bicaz » *Lucr. Stat. « Stejarul »*, 1 : 137-171. Cité par Benedetti-Crouzet & Dussart, 1979.
- Claval P., 1998, *Histoire de la Géographie française*. Paris, Nathan Université, 544 p.
- Cluis D., 1972, « Relationship between stream water temperature and ambient air temperature, a simple autoregressive model for mean daily stream water temperature fluctuations » *Nordic Hydrology*, 3(2) : 65-71.
- Coakley J.P. & Karrow P.F., 1994, « Reconstruction of Post-Iroquois Shoreline Evolution in Western Lake Ontario » *Canadian Journal of Earth Science*, 31 : 1618-1629.
- Coastgis'99, 2000, *Geomatics and coastal environment*. Brest, Ifremer, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Actes du colloque "géomatique et environnement littoral", Brest, 9-11 septembre 1999, 318 p.
- Cohen A.S. & Thouin C., 1987, « Nearshore Carbonate Deposits in Lake Tanganyika » *Geology*, 15 : 414-418.
- Cohendet F., 1993, *Le saumon de l'Allier, son histoire, sa vie, son devenir*. Paris, Aidsa, 795 p.
- Colby B.R. & Scott C.H., 1965, « Effects of water temperature on the discharge of bed material. A study of the theoretical and observed effects of changes in water temperature on the transportation of bed material » *US Geological Survey Professional Paper*, 462G : 1-25.
- Cole G.A., 1983, *Textbook of Limnology*. Illinois, Waveland, 3^e ed., 401 p.
- Colladon D., 1875, « Terrasses lacustres du Léman et constitution de la terrasse d'alluvion sur laquelle est construite la ville de Genève » *Bulletin de la Société géologique de France*, 3 (N°S.) : 661-668.
- Collet L.W., 1925, *Les lacs, leur mode de formation, leurs eaux, leur destin, éléments d'hydro-géologie*. Paris, G. Doin, 320 p.
- Collings M.R., 1969, « Temperature analysis of a stream » *US Geological Survey professional Paper*, 650-B : 174-179.
- Collings M.R., 1973, « Generalization of stream-temperature data in Washington » *US Geological Survey Water Supply Paper*, 2029B : 1-45.
- Combrouze P., 2000, « Lacs et étangs » in Fortin F. & Boeufgras J., Coord., *Le Limousin côté nature*. Saint-Gence, Espaces Naturels du Limousin, 216 p. : 34-36.
- Conseil Régional du Limousin & Conseil Régional de Poitou-Charentes, 1991, *Schéma d'aménagement et de gestion des eaux du bassin de la Vienne*. 231 p.
- Cooke G.D., Welch E.B., Peterson S.A. & Newroth P.R., 1993, *Restoration and management of lakes and reservoirs*. Boca Raton, Lewis, 2nd ed, 548 p.
- Cooley P. & Harris S.L., 1954, « The prevention of stratification in reservoirs » *J. Inst. Water Eng.*, 8 : 517-537. Cité par Imberger & Patterson, 1990.
- Coq M., 1976, « Les climats du Limousin, contribution à l'étude biogéographique du Massif Central de la France » *Noroi*, 23(89) : 95-108.
- Cornaz G., 1998, *Les barques du Léman*. Genève, Slatkine, 207 p.
- Cornish V., 1934, *Ocean waves and kindred geophysical phenomena*. Cambridge University Press, 164 p.
- Cosandey C. & Robinson M., 2000, *Hydrologie continentale*. Paris, A. Colin, col. U, 360 p.
- Coulter G.W. & Spigel R.H., 1991, « Hydrodynamics » in Coulter G.W., Ed, *Lake Tanganyika and its Life*. London, Oxford University Press, 354 p. : 49-75.
- Craig W., Brant I., Hite M.P. & Davis W.M., 1925, « The 'undertow' » *Science*, 62 : 30-33.
- Crisp D.T., 1981, « A desk study of the relationship between temperature and hatching time for eggs of five species of salmonid fishes » *Freshwater Biology*, 11 : 361-368.
- Crisp D.T., 1987, « Thermal "resetting" of streams by reservoir releases with special reference to effects on salmonid fishes » in Craig J.F. & Kemper J.B., Ed, *Regulated streams : advances in ecology*. New York, Plenum Press: 163-182.
- Crisp D.T., 1988, « Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and "swim-up" times for salmonid embryos » *Freshwater Biology*, 19 : 41-48.
- Crisp D.T., 1989, « Some impacts of human activities on trout *Salmo trutta* populations » *Freshwater Biology*, 21 : 21-23.

- Croset P., 1954, « Le piedmont des Dranses du Chablais » *Revue de Géographie Alpine*, 42(3) : 521-556.
- Cummins K.W., 1979, « The natural stream ecosystem » in Ward J.V. & Stanford J.A., Ed, *The ecology of regulated streams*. New York, Plenum Press, 397 p.
- Cunnington W.A., 1920, « The fauna of the African Lakes : a study in comparative limnology with special reference to Lake Tanganyika » *Proceedings of the Zoological Society of London*, 3 : 507-622.
- Cushman R.M., 1985, « Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities » *North American Journal of Fisheries Management*, 5 : 330-339.
- Coulter G.W. & Spigel R.H., 1991, « Hydrodynamics » in Coulter G.W., Ed, *Lake Tanganyika and its life*. London, Oxford University Press, 354 p. : 49-75.
- Dajoz R., 1985, *Précis d'écologie*. Paris, Dunod, 5^e éd., 505 p.
- Damiani V., 1972, « Studio di un ambiente fluvio-lacustre sulla base di una analisi granulometrica dei sedimenti : Fiume Toce e bacino Isola Boromea » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 29 : 37-95.
- Davis J.M., 1980, « Destratification of reservoirs, a design approach for perforated-pipe compressed-air system » *Water Services*, 84 : 497-504.
- Davis W.M., 1882, « On the Classification of Lakes Basins » *Proceedings of the Boston Society of Natural History*, 21, part III : 315-381.
- Davis W.M., 1887, « The Classification of Lakes » *Science*, 10(241) : 142-143.
- Davis W.M., 1920, « A Roxen Lake in Canada » *Scottish Geographical Magazine*, 41 : 65-74.
- Davis W.M., 1933, « The Lakes of California » *California Journal of Mines and Geology*, 29 : 175-236.
- DDAF Haute-Vienne, 1989, *Schéma de vocation piscicole de la Haute-Vienne*. Saint-Yrieix, Fabrègue, 71 p.
- Deevey E.S., 1957, « Limnologic studies in Middle America, with a chapter on Aztec limnology » *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 39 : 213-328.
- Defant A., 1908, « Über die stehenden Seespiegelschwankungen (Seiches) in Riva am Gardasee » *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 117, 6 (2a) : 697-780.
- Defant A., 1932, « Beiträge zur theoretischen Limnologie » *Beitr. Freien Atmos. (Bjerknes-Festband)*, 29 : 143-150. Cité par Hutchinson, 1957.
- Dejoux C., 1994, « Le Lac Titicaca » *La Recherche*, 25(263) : 276-284.
- Dejoux C. & Iltis A., Ed., 1992, *Lake Titicaca, a Synthesis of Limnological Knowledge*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, Monographiae Biologicae vol. 68, 573 p.
- Delebecque A., 1893, « Sur les lacs des Sept-Laux (Isère) et de la Girotte (Savoie) » *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 116 : 700-703.
- Delebecque A., 1898, *Les lacs français*. Paris, Chamerot & Renouard, 436 p.
- Deluc J.-A., 1772, *Le baromètre et le thermomètre*. Prospectus pour la souscription de l'ouvrage édité aux frais de l'auteur, fac-similé de 1937. Genève, Bibliothèque Publique et Universitaire, 16 p.
- Delvert J., 1961, *Le paysan cambodgien*. Paris, Mouton, 740 p.
- Delvert J., 1983, *L'Asie tropicale*. Paris, Sedes, 149 p.
- Demoll R., 1922, « Temperaturwellen (Seiches) und Planktonwellen », *Archiv für Hydrobiologie*, 13 : 313-320.
- Denardou L.M., 1987, *Etang de la Pouge, construction de la digue*. DDAF Haute-Vienne, Syndicat Intercommunal d'AEP Vienne-Briançon-Gorre, 9 p.
- Denègre J. & Salgé F., 1996, *Les systèmes d'information géographique*. Paris, PUF, Que-sais-je n° 3122, 128 p.
- Descamps H. & Naiman R.J., 1989, « L'écologie des fleuves », *La Recherche*, 20(208) : 310-319.
- Dess Management environnemental et qualité des eaux, 1997, *Etude de l'influence du soutien d'étiage sur la température de la Dordogne*. Université du Limoges et Etablissement Public Interdépartemental de la Dordogne, rapport interne, 22 p.
- Devroey M.E., 1938a, « Le Tanganyika » *Bulletin de l'Institut Royal de la Colonisation Belge*, 9(2) : 444-462.
- Devroey M.E., 1938b, « Le problème de la Lukuga, exutoire du lac Tanganyika » *Mémoires de l'Institut Royal de la Colonisation Belge*, 1(3) : 130 p.
- Didier M., 1990, *Utilité et valeur de l'information géographique*. Paris, Economica, 256 p.
- Dienert F. & Guillerd A., 1913, « Etude du projet d'adduction des eaux du lac Léman » in Dienert F. et collaborateurs, *Etude des projets d'adduction d'eau présentés en vue de l'alimentation de Paris*. Paris, Imprimerie Municipale, 482 p. : 89-204.
- Dietrich G., 1963, *General Oceanography, an introduction*. New York, J. Wiley & Sons, Interscience, 588 p.
- Dingman S.L., Weeks W.F. & Yen Y.C., 1968, « The effects of thermal pollution on river ice conditions » *Water Resource research*, 4 : 349-362.
- Doodson A.T., Carey R.M. & Baldwin R., 1920, « Theoretical determination of the longitudinal seiches of Lake Geneva » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 52 : 629-642.
- Diren Limousin, 1994, *Etude d'impact de l'exploitation piscicole de trois étangs*. Limoges, Diren Limousin, Aun, Seica piscicole du Limousin, 22 p. + annexes.
- Diren Limousin, 1997, *Demande de débit*. Référence AC/MJP n° 000559, 18 décembre 1997, non publié, 1 p.
- Dominik J., Burrus D. & Vernet J.-P., 1983, « A preliminary investigation of the Rhône river plume in eastern lake Geneva » *Journal of Sedimentary Petrology*, 53(1) : 159-163.
- Dortch M.S., 1979, *Artificial destratification of reservoirs*. Vicksburg, US Army Engineer Waterways Experiment Station, technical Report E-79-1, 59 p., cite par Henderson-Sellers, 1982.
- Dubois J., 1996, *Les vignobles vaudois, passé, présent et avenir*. Yens-sur-Morges, Cabédita, col. « Archives vivantes », 331 p.
- Dubois J.-T., 1959, « Les concrétions déposées par les eaux du Lac Tanganyika sur ses rives rocheuses » *Bulletin du Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux*, Liège, 96 : 2-4.
- Dufour C., 1859, « Résumé des observations météorologiques faites à Morges de 1850 à 1854 » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 199 :
- Dufour L., 1873, « Recherches sur la réflexion de la chaleur solaire à la surface du lac Léman » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 12(69) : 88-90.
- Durand M.-D., 1993, *Le passé des étangs creusois*. Univ. Limoges, mémoire de DEA en géographie, 134 p.
- Dussart B., 1948, « Recherches hydrographiques sur le lac Léman » *Annales de la Station Centrale d'Hydrobiologie appliquée*, 4 : 187-206.
- Dussart B., 1953, *Températures et mouvements des eaux dans les lacs. Introduction à l'étude d'un milieu*. Paris, thèse, 155 p.
- Dussart B., 1954, « Températures et mouvements des eaux dans les lacs. Introduction à l'étude d'un milieu » *Annales de la Station Centrale d'Hydrobiologie appliquée*, 5 : 1-128.
- Dussart B., 1957, « Le sondage par ultra-sons et l'étude des lacs. Note préliminaire » *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*, 1(2) : 99-102.
- Dussart B., 1958, « L'organisation actuelle des recherches limnologiques dans les grands lacs américains et européens » *Bulletin Français de Pisciculture*, 188 : 104-107.
- Dussart B., 1960, « Tendances actuelles de la limnologie (exemples pris en Savoie) » *Société Savoisienne*, 85^e Congrès : 249-255.

- Dussart B., 1962, « Problèmes sédimentologiques au Cambodge dans la région des Grands Lacs » *Cahiers du Pacifique*, 4 : 3-36.
- Dussart B., 1966, *Limnologie, l'étude des eaux continentales*. Paris, Gauthier Villars, 678 p., rééd. 1992, Boubée, 681 p.
- Dussart B. & Touchart L., 1998, « André Delebecque et le centenaire de la limnologie française » *Annales de Géographie*, 107(602) : 446-453.
- Dutoit P., Blanc H., Molin M. de, Mercanton P.-L., 1913, « Discours prononcés à la cérémonie commémorative et à l'inauguration du monument de F.-A. Forel à l'Aula du palais de Rumine à Lausanne le 29 novembre 1913 » *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 49 : 291-346.
- Eckel O., 1950, « Über die numerische und graphische Ermittlung der Stabilität von Gewässern nach W. Schmidt » *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 12 : 38-46.
- Eckel O., 1951, « Über die interdiurne Veränderlichkeit der Fluss – und Seeoberflächen – Temperaturen » *Wetter und Leben*, 3 : 203-212.
- Egerton F.N., 1962, « The scientific contributions of François-Alphonse Forel, the founder of limnology » *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 24 : 181-189.
- Eklund H., 1965, « Stability of lakes near the temperature of maximum density » *Science*, 149 : 632-633.
- El-Jabi N., El-Kouradhi G. & Caissie D., 1995, « Modélisation stochastique de la température de l'eau en rivière » *Revue des Sciences de l'Eau*, 8(1) : 77-95.
- Elliott G.H. & Elliot J.A., 1969, « Small-scale model of the thermal bar » *Proceedings 12th Conference Great Lakes Research*, Ann Arbor, International Association of Great Lakes research : 553-557.
- Elster H.J., 1939, « Beobachtungen über das Verhalten der Schichtgrenzen nebst einigen Bemerkungen über die Austauschverhältnisse im Bodensee (Obersee) » *Archiv für Hydrobiologie*, 35 : 286-346.
- Elster H.-J., 1974, « History of limnology » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, Jubilee Symposium 50 years of limnological research, Stuttgart, 20 : 7-30.
- Emden, 1905, « Der Energiegehalt der Seiches » *Ber. Naturf. Ges.*, St-Gallen. Cité par Halbfäß, 1923.
- Emsalem R., 1981, « Les régimes pluviométriques du Limousin » *Trames, études géographiques*, Limoges, 3 : 83-137.
- Endoh S. & Okumura Y., 1993, « Gyre systems in Lake Biwa derived from recent current measurements » *Japanese Journal of Limnology*, 54 : 191-197.
- Endoh S. Watanabe M., Nagata H., Maruo F., Kawai T., Iguchi C. & Okumura Y., 1993, « Wind fields over Lake Biwa and their effect on water circulation » *Japanese Journal of Limnology*, 56 : 269-278.
- Endrös A., 1903, *Seeschwankungen (Seiches) beobachtet am Chiemsee*. Dissertation der K. Technischen Hochschule in München, Traunstein, 117 S. Cité par Endrös, 1906b.
- Endrös A., 1904, « Seiches kleiner Wasserbecken » *Petermanns Mitteilungen*, 50(12) : 294-295.
- Endrös A., 1905, « Die Seiches des Waginger-Tachingersees » *Sitzungsberichte der bayerischen Akademie der Wissenschaft zu München, Mathematisch-physische Klasse*, 35 : 447-476.
- Endrös A., 1906a, « Die Seiches des Waginger-Tachingersees » *Petermanns Mitteilungen*, 52 : 94-95.
- Endrös A., 1906b, « Die Seeschwankungen (Seiches) des Chiemsees » *Sitzungsberichte der bayerischen Akademie der Wissenschaft zu München, Mathematisch-physische Klasse*, 36 : 297-350.
- Endrös A., 1906c, « Die Seeschwankungen (Seiches) des Chiemsees » *Petermanns Mitteilungen*, 52 : 252-258.
- Endrös A., 1908, « Vergleichende Zusammenstellung der Hauptseichesperioden der bis jetzt untersuchten Seen mit Anwendung auf verwandte Probleme » *Petermanns Mitteilungen*, 54 : 39-47.
- Endrös A., 1913, « Der Simsee und seine Seeschwankungen » *Progr. Gymn. Freising*. Cité par Halbfäß, 1923.
- Epidor, 1997, *Etude de l'influence du soutien d'étiage sur la température de la Dordogne*. Doc. Interne, DESS « Management environnemental et qualité des eaux », 9 p. + annexes.
- Escourrou G., 1982, *Le climat de la France*. Paris, PUF, Que sais-je n° 1967, 128 p.
- Estienne P., 1956, *Recherches sur le climat du Massif Central français*. Paris, Secrétariat général à l'aviation civile et commerciale, Mémorial de la météorologie nationale n° 43, 242 p.
- Estienne P. & Godard A., 1970, *Climatologie*. Paris, Armand Colin, col. U, 368 p.
- Eugster H.P. & Hardie L.A., 1978, « Saline lakes » in Lerman A., Ed, 1978, *Lakes, chemistry, geology, physics*. Berlin, Springer, 363 p. : 237-293.
- European Environment Agency, 1994, *European rivers and lakes, assessment of their environmental state*. Copenhagen, Danish Ministry of Environment and Energy, 122 p.
- Exner F.M., 1908a, « Über eigentümliche Temperaturschwankungen von eintägiger Periode im Wolfgangsee » *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 117, 6 (2a) : 9-26.
- Exner F.M., 1908b, « Ergebnisse einiger Temperaturregistrierungen im Wolfgangsee » *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 117, 6 (2a) : 1295-1315.
- Exner F.M., 1910, « Zur Frage der Temperaturseiches » *Petermann's Mitteilungen*, 56 : 139. Cité par Mortimer, 1952.
- Exner F.M., 1928, « Über Temperaturseiches im Lunzer See » *Annalen der Hydrographie*, 14-. & 142-. Cité par Mortimer, 1952.
- Faivret E., 1991, *Bassin de la Gartempe*. Ministère de l'Environnement, Direction de l'eau, Service de la pêche et des milieux aquatiques, Conseil Général de la Creuse, Schéma départemental de vocation piscicole et halieutique de la Creuse, 60 p. + annexes.
- Faller A.J. & Woodcock A.H., 1964, « The spacing of windrows of Sargassum in the ocean » *Journal of Marine Research*, 122 : 22-29.
- Farmer D., Gemmrich J. & Polonichko V., 1998, « Velocity, temperature and spatial structure of Langmuir circulation » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 87-100.
- Farrow D.E., 1995, « An asymptotic model for the hydrodynamics of the thermal bar » *Journal of Fluid Mechanics*, 289 : 120-140.
- Fast A.W., 1973, « Effects of artificial destratification on primary production and zoobenthos of El Capitan Reservoir, California » *Water Resource Research*, 9 : 607-623.
- Fatio de Duillier J.-C., 1730 « Remarques faites par Mr. J.C. Fatio de Duillier, sur l'Histoire naturelle des environs du lac de Genève » in Spon J., *Histoire de Genève par Mr. Spon rectifiée et augmentée par d'amples notes avec les actes et autres pièces servant de preuves à cette Histoire*. Genève, Fabri & Barrillot, tome second, 518 p. : 449-470.
- Faure H., 2001, *Les effets de l'effacement du barrage de Maisons-Rouges sur la remontée des poisons migrateurs*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 126 p. + annexes.
- Fedorov Y.A., Grinenko V.A., Krouse H.R. & Nikanorov A.M., 1992, « Use of hydrochemical and isotopic criteria for the evaluation of the influence of technogenic sulphur on surface waters » in *Isotope techniques in Water Resources Development 1991*. Vienna, International Atomic Energy Agency, Proceedings of international symposium, 11-15 march 1991: 477-494.
- Fel A., 1962, *Les hautes terres du Massif Central*. Clermont-Ferrand, thèse d'Etat, 340 p.
- Filatov N.N., Ryanzhin S.V. & Zaitsev L.V., 1981, « Investigation of turbulence and Langmuir circulations in Lake Ladoga » *Journal of Great Lakes Research*, 7(1) : 1-6.

- Findenegg I., 1935, « Limnologische Untersuchungen im Kärntner Seengebiet. Ein Beitrag zur Kenntnis des Stoffhaushaltes in Alpenseen » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 32 : 369-423.
- Findenegg I., 1937, « Holomiktische und meromiktische Seen » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 35 : 586-610.
- Fischer H.G., List R.C.Y., Koh J., Imberger J. & Brooks N.H., Ed, *Mixing in inland and coastal waters*. New York, Academic Press, 485 p.
- Fischer-Foster C. & Brunner C., 1849, « Recherches sur la température du lac de Thoun » *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève*, 12 : 255-276.
- Fitzgerald D., 1895, « The temperatures of lakes » *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 34 : 67-109 (67-114 avec la discussion).
- Fol H. & Sarasin E., 1887, « Pénétration de la lumière du jour dans les eaux du lac de Genève » *Mémoires de la Société de Physique de Genève*, 29(13). Cité par Forel (1895) p. 441.
- Forel F., 1991, « François-Alphonse Forel : 1841-1912 » in Vernet J.-P., Ed, *Hommage à F.-A. Forel*. Morges, 3^e Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française, 303 p. : 4-9.
- Forel F.-A., 1874, « Nouvelle méthode de sondages thermométriques » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 13 : 38-46.
- Forel F.-A., 1876, « Le limnimètre enregistreur de Morges » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 56 : 305-.
- Forel F.-A., 1880a, « Températures lacustres. Recherches sur la température du lac Léman et d'autres lacs d'eau douce », *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 3 : 501- 515.
- Forel F.-A., 1880b, « Températures lacustres. Recherches sur la température du lac Léman et d'autres lacs d'eau douce. Deuxième série », *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 4 : 89- 106.
- Forel F.-A., 1886, *Le lac Léman, précis scientifique*. Bâle, H. Georg, 76 p.
- Forel F.-A., 1892a, « Thermique des lacs d'eau douce » *Verhandlungen der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft*, 75 : 5-8.
- Forel F.-A., 1892b, *Le Léman, monographie limnologique*. Lausanne, F. Rouge, T. I, 543 p.
- Forel F.-A., 1895, *Le Léman, monographie limnologique*. Lausanne F. Rouge, T.2, 651 p.
- Forel F.-A., 1901a, *Handbuch der Seenkunde, allgemeine Limnologie*. Stuttgart, J. Engelhorn, 249 p.
- Forel F.-A., 1901b, « Etude thermique des lacs du nord de l'Europe » *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 12 : 35-55.
- Forel F.-C., 1941, « François-Alphonse Forel de Morges: 1841-1912 » in Grosse schweizer Forscher. Zurich, Atlantis Verlag : 288-289.
- Forster A.E., 1898, « Simonys Arbeiten » *Geographische Abhandlungen herausgegeben von Prof. Dr. Albrecht Penck in Wien*, 6(3) : 74-88.
- Franceschetti B., 1981, *Les fleuves*. Novara & Paris, Istituto Geographico de Agostini & Atlas, 119 p.
- Frécaut R., 1979, « les bilans hydrologiques des lacs » *Annales de Géographie*, 485 : 1-15.
- Free G., Allot N., Kennelly C. & Day S., 2001, « Colour in Irish lakes » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2620-2623.
- Freshfield D.W., 1924, *Horace-Bénédict de Saussure*. Genève, réimpr. Slatkine, 1989, 434 p.
- Fujiwara S., 1949, « Suwako no kouri omiwatari no hanashi » *Tenmon to kishou*, 15(2) : 42-46.
- Fujiwara S., 1954, « Omiwatari to kokuten to houkyou no kankei ni tsuite » *Kenkyu jihou*, 6-5 : 123-126.
- Fujiwara S. & Arakawa H., 1954, « Suwako keppyo kijitsu narabini omiwatari kijitsu hyo » *Kenkyu jihou*, 6-5 : 127-137.
- Füllerborn F., 1900, « Untersuchungen im Nyassasee und den Seen im Nordlichen Nyassaland » *Verhandlungen Gesellschaft für Erdkunde Berlin*, 17 : 332.
- Gachon L., 1946, « Les variétés régionales du climat dans le Massif Central et le vrai Massif Central climatique » *Etudes Rhodaniennes*, 21 : 33-54.
- Gagnebin E., 1933, « Les terrains quaternaires des environs de Thonon » *Eclogae*, 26(2) : 187-200.
- Gagnebin E., 1937, « Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, Lausanne, 59(243) : 335-416.
- Galliot M., 1999, *A la Saint-Médard, histoire de la Météorologie à Limoges et en Haute-Vienne*. Limoges, Atelier Graphique, 125 p.
- Ganor H.P. & Katz A., 1989, « The geochemical evolution of halite structures in hypersaline lakes : the Dead Sea, Israel » *Limnology and Oceanography*, 34(7) : 1214-1223.
- Garcia de Jalon D., Montes C., Barcelo E., Casado C. & Menes F., 1988, « Effects of hydroelectric scheme on fluvial ecosystems within the Spanish Pyrenees » *Regulated Rivers : Research and Management*, 2 : 479-491.
- Garibaldi L., Mezzanotte V., Brizzion M.C., Rogora M. & Mosello R., 1999, « The trophic evolution of Lake Iseo as related to its holomixis » *Journal of Limnology*, 58(1) : 10-19.
- Garrigou-Lagrange P., 1890, *Essai sur la climatologie du Limousin*. Limoges, éd, 344 p.
- Gășteșcu P. & Driga B., 1983, « Lacurile », in Badea L., Gășteșcu P. & Velcea V., Coord., *Geografia României. I. Geografia fizică. București, Editura Academiei Republicii Socialiste România*, 662 p. : 351-367.
- Gaudin J.-P., 1993, *Le milieu du monde*. Montpellier, Reclus, collection « Géographie », 105 p.
- Gaudin J.-P., 1995, « Montreux, sur la Riviera du Léman, un lac saisi par le tourisme » in Barraqué B., Bley D., Boëtisch G., Masali M. & Rabino Masso E., dir., 1995, *L'Homme et le Lac, usages et représentations de l'espace lacustre*. VI^e journées de la Société d'Ecologie Humaine, 13-15 juin 1994, Cadenabbia-Griante (Côme, Italie), 192 p. : 173-178.
- Gaujous D., 1995, *La pollution des milieux aquatiques, aide mémoire*. Paris, Techniques et Documentation, 220 p.
- Gerdaux D., 1995, « Croissance et dynamique démographique des populations de poissons » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 389-402.
- Gerritsen J., 1982, « Behavioral response of *Daphnia* to rate of temperature change : possible enhancement of vertical migration » *Limnology and Oceanography*, 27 : 254-261.
- Gignoux M. & Barbier R., 1955, *Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques*. Paris, Masson, 343 p.
- Gilbert A., Gras R.A. & Raoult D., 1986, « Numerical computation of natural river temperatures » in BHRA & The fluid Engineering Centre, Ed, *International Conference on Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment*. Proc. Symp., 10-13 June 1986, Boumemouth, BHRA & The fluid Engineering Centre, Cranfield, M1 : 457-471.
- Giovanoli F., 1990, « Horizontal transport and sedimentation by interflows and turbidity currents in Lake Geneva » in Tilzer M.M. & Serruya C., Ed, *Large lakes: ecological structure and function*. Berlin, Springer, 691 p. : 175-195.
- Girard M.C. & Girard C.M., 1989, *Télédétection appliquée, zones tempérées et tropicales*. Paris, Masson, 260 p.
- Gisclard F., 1985, *Etude de la situation actuelle de l'aquaculture d'étangs du Limousin*. Limoges, SRAE Limousin, 45 p.
- Gisclard F., 1990, *Expérimentation de grossissement de saumoneaux de repeuplement dans un étang limousin*. Limoges, Service régional de l'aménagement des eaux, Direction régionale de l'agriculture et de la forêt du Limousin, Ahun, Scia piscicole du Limousin, 13 p. + annexes.
- Godard A. & Tabeaud M., 1993, *Les climats, mécanismes et répartition*. Paris, Armand Colin, col. « Cours », 192 p.
- Golay E., 1998, « Un paratonnerre pour l'arbre de la liberté » in Carozzi A.V., Crettaz B. & Ripoll D., Resp., *Les plis du temps, mythe, science et H.-B. de Saussure*. Genève, Payot Amoudruz, 367 p. : 155-199.
- Goldman C.R. & Horne A.J., 1983, *Limnology*. New York, Mc Graw Hill, 464 p.
- Golterman H.L., 1975, *Physiological limnology*. Amsterdam, Elsevier, 363 p.

- Gophen M., 1979, « Bathymetrical distribution and diurnal migrations of zooplankton in Lake Kinneret (Israel) with particular emphasis on *Mesocyclops leukarti* (Claus) » *Hydrobiologia*, 64: 199-208.
- Gorceix Ch., 1922a, « Répartition des températures dans le lac du Bourget » *Revue de Géographie Alpine*, 10 : 417-427.
- Gorceix Ch., 1922b, « Sonde thermo-électrique à grand rendement pour les lacs » *Bulletin Direction Recherches et Inventions* : 731-752.
- Graf W.H., 1982, *Hydrodynamics of the Lake Geneva*. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale, 44 p.
- Graf W.H., 1983, « Hydrodynamics of the Lake Geneva » *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 45(1) : 62-100.
- Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, 1979, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p.
- Graf W.H., Perrinjaquet C., Bauer S.W., Prost J.P. & Girod H., 1979, « Measuring on Lake Geneva (le Léman) » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 123-147.
- Graffouillère M., 2000, *Etude limnologique et hydrologique de trois étangs de la région de Cieux*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise en géographie, 91 p.
- Graffouillère M., 2001, *Les deltas d'étang, une étude limnologique à différentes échelles*. Univ. Limoges, mémoire de DEA en géographie, 96 p.
- Gras R. & Gilbert A., 1987, *Régime thermique de la Durance entre Espinasse et Tallard, influence des débits*. Chatou, EDF, Direction des Etudes et Recherches, Rapport E 36-87-n°11, 25 p. + 58 p. annexes.
- Gray B.M., 1974, « Early Japanese winter temperature » *Weather*, 29 : 103-107.
- Guichonnet P., 1988, *Le guide du Léman*. Lyon, La Manufacture, 342 p.
- Guieysse L. & Sabathe P., 1964, *Acoustique sous-marine*. Paris, Dunod, 251 p.
- Guilcher A., 1979, *Précis d'hydrologie marine et continentale*. Paris, Masson, 2^e éd., 344p.
- Håkanson L., 1981, *A Manual of Lake Morphometry*. Berlin, Springer, 78 p.
- Håkanson L. & Jansson M., 1983, *Principles of Lake Sedimentology*. Berlin, Springer, 316 p.
- Halbfaß W., 1902, « Über Seespiegelschwankungen im Madüsee » *Z. Gewässerkr.*, 5 :15-. Cité par Halbfaß, 1922.
- Halbfaß W., 1903, « Über Seespiegelschwankungen im Madüsee » *Z. Gewässerkr.*, 6 :65-. Cité par Halbfaß, 1922.
- Halbfaß W., 1909, « Zur frage der Temperaturseiches » *Petermann's Mitteilungen*, 55. Cité par Mortimer, 1952.
- Halbfaß W., 1910a, « Zur frage der Temperaturseiches. II » *Petermann's Mitteilungen*, 56 : 139. Cité par Mortimer, 1952.
- Halbfaß W., 1910b, « Gibt es im Madüsee Temperaturseiches ? » *Internationale Revue der gesamten Hydrographie*, Supplement 1, 3 : 1-40.
- Halbfaß W., 1922, « Die Seen der Erde » *Petermann's Mitteilungen*, Ergänzungsheft, 185 : 1-169.
- Halbfaß W., 1923, *Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde*. Berlin, Bornträger, 354 p.
- Hamberg A., 1911, « Dichteunterschiede und Temperaturverteilung hauptsächlich der Binnenseen » *Petermann's Geographische Mitteilungen*, II(6) : 306-312.
- Hamelin L.-E., 1999, « Y a-t-il assez de géographie dans la définition du fleuve ? » in *Géographie et liberté, mélanges Paul Claval*. Paris, L'Harmattan : 163-172.
- Harper P.-P., 1995, « Croissance et dynamique des populations d'invertébrés benthiques » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 368-388.
- Harris R.A., 1909, « Tides in lakes and wells » in *Manual of tides*. Report Superintendent of the Coast and Geodetic Survey : 483-487, cité par Hutchinson, 1957.
- Hasler A.D., 1947, « Eutrophication of lakes by domestic drainage » *Ecology*, 28 : 383-395.
- Hayford J.F., 1922, *Effects of winds and of barometric pressures on the Great Lakes*. Washington, Carnegie Institute, publ. n° 317, 133 p. Cité par Hutchinson, 1957.
- Hearne V., 1705, « Memoriabilia nonnulla lacus Vetteri » *Philosophical Transactions*, 24 : 1938-1946. Cité par Hutchinson, 1957.
- Heggenes J. & Traaen T., 1988, « Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species » *Journal of Fish Biology*, 32 : 717-727.
- Henderson-Sellers B., 1982, « Reservoir destratification techniques and models » in American Society of Civil Engineers, *Proceedings Applying Research to Hydraulic Practice Conference*. Mississipi : 697-706. Cité par Imberger & Patterson, 1990.
- Henderson-Sellers B., 1984, *Engineering limnology*. Boston, Pitman. 356 p.
- Herdendorf C.E., 1990, « Distribution of the world's large lakes » in Tilzer M.M. & Serruya C., ed., *Large lakes, ecological structure and function*. Berlin, Springer, 691 p. : 3-38.
- Hermann M.-T., 1993, *Le Chablais d'autrefois*. La Fontaine de Siloé, 200 p.
- Herodek S., Laskó L. & Virág Á., 1988, *Lake Balaton, research and management*. Budapest, Ilec, 110 p.
- Hitchman M.-L., 1978, *Measurement of dissolved oxygen*. New York, J. Wiley & Sons, "Chemical Analysis", vol. 49, 255 p.
- Hivernaud A., 1976, *Petite histoire de Cieux, Haute-Vienne : de l'Age de Pierre à la fin du XIX^e siècle*. Nice, chez l'auteur, 148 p.
- Hoak D.R., 1961, « The thermal pollution problem » *Journal of Water Pollution Control Federation*, 33 : 1267-1276.
- Hobbie J.E., 1984, « The Polar Limnology » in Taub F.B., Ed, *Lakes and Reservoirs*. Amsterdam, Elsevier, Ecosystems of the world n° 23, 643 p. : 63-105.
- Hopkins C.L., 1971, « The annual temperature regime of a small stream in New Zeland » *Hydrobiologia*, 37 : 397-408.
- Horiuchi S., 1982, « Nihon no koshu no tokushitsu to sore wo meguru shomondai » *Chiri, Kokon Shoin*, 27(5) : 1-22.
- Horn W., 1979, « 'Lake of Zuerich 1978' – A physical limnological experiment » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 65-75.
- Horn W., Mortimer C.H. & Schwab D.J., 1986, « Wind-induced internal seiches in Lake Zurich observed and modeled » *Limnology and Oceanography*, 31 : 1232-1254.
- Horne A.J. & Goldman C.R., 1994, *Limnology*. New York, McGraw-Hill, 2nd ed., 576 p.
- Hostetler S.W., 1995, « Hydrological and thermal response of lakes to climate : description and modelling » in Lerman A., Imboden D. & Gat J., Ed., *Physics and Chemistry of Lakes*. Berlin, Springer, 334 p. : 63-82.
- Hubert P., Marin E., Meybeck M., Olive P. & Siwertz E., 1969, « Aspects hydrologique, géochimique et sédimentologique de la crue du 22 septembre 1968 » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 22(3) : 581-604.
- Hudry M., Châtel J., Bérnard A. & Favre A., 1989, *Découvrir l'histoire de Savoie*. Albertville, Centre de la Culture Savoyarde, 240 p.
- Huet M., 1952, *Traité de pisciculture*. Bruxelles, éd. La Vie Rustique, 369 p.
- Hussy C., Dir., 1991, *Atlas du bassin genevois et de la région lémanique*. Genève, Association de l'Encyclopédie, 143 p.
- Hutchinson G.E., 1937, « A contribution to the limnology of arid regions primarily founded on observations made in the Lahontan Basin » *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 33 : 47-132.
- Hutchinson G.E., 1957, *A Treatise on Limnology*. New York, John Wiley & Sons, vol. I, « Geography, physics and chemistry », 1015 p.
- Hutchinson G.E., 1967, *A Treatise on Limnology*. New York, John Wiley & Sons, vol. II, « An introduction to lake biology and limnoplankton », 1115 p.

- Hutchinson G.E., 1975, *A Treatise on Limnology*. New York, John Wiley & Sons, vol. III, « Limnological botany », 660 p.
- Hutchinson G.E. & Löffler H., 1956, « The thermal classification of lakes » *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, 42 : 84-86.
- Hutchinson J.W. & Wu T., 1990, *Advances in applied mechanics*. San Diego, Academic Press, vol. 27, 495 p.
- Hutter K., Ed, 1984, *Hydrodynamics of lakes*. Berlin, Springer, 332 p.
- Hutter K., Bauer G., Wang Y. & Gütting P., 1998, « Forced motion response in enclosed lakes » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 137-166.
- Hynes H.B.N., 1970, *The ecology of running waters*. Liverpool, University Press, 555 p.
- Ichikawa M., Horiuchi S., Takayama S. & Kayane I., 1980, « Inland water and water resources in Japan » in Association of Japanese Geographers, Ed, *Geography of Japan*. Tokyo, Teikoku-Shoin, 440 p. : 73-98.
- Illies J., 1955, « Der biologische Aspekt der limnologischen Fließgewässer » *Archiv für Hydrobiologie, Suppl.*, 22 : 337-346.
- Illies J., 1961, « Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 46 : 205-213.
- Illies J. & Botosaneanu L., 1963, « Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes considérées surtout du point de vue faunistique » *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 12 : 1-57.
- Imberger J., 1979, « Mixing in reservoirs » in Fischer H.G., List R.C.Y., Koh J., Imberger J. & Brooks N.H., Ed, *Mixing in inland and coastal waters*. New York, Academic Press, 485 p. : 148-228.
- Imberger J., 1985, « The diurnal mixed layer » *Limnology and Oceanography*, 30(4) : 737-770.
- Imberger J., Ed, 1998, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p.
- Imberger J., 1998a, « Preface » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : IX-X.
- Imberger J., 1998b, « Flux paths in a stratified lake : a review » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 1-18.
- Imberger J. & Patterson J.C., 1990, « Physical limnology » in Hutchinson J.W. & Wu T., *Advances in applied mechanics*. San Diego, Academic Press, vol. 27, 495 p. : 303-475.
- Imboden D.M., 1990, « Mixing and transport in lakes : mechanisms and ecological relevance » in Tilzer M.M. & Serruya C., ed., *Large lakes, ecological structure and function*. Berlin, Springer, 691 p. : 47-80.
- Imboden D.M. & Wüest A., 1995, « Mixing mechanisms in lakes » in Lerman A., Imboden D. & Gat J., Ed, *Physics and chemistry of lakes*. Berlin, Springer, 334 p. : 83-138.
- Isely L., 1901, *Histoire des sciences mathématiques dans la Suisse française*. Neuchâtel, Imprimerie Nouvelle, 215 p.
- Ishiguro N., 1998, *Les qualités de l'eau de trois lacs eurasiatiques et leur environnement humain*. Univ. Limoges, mémoire de DEA de géographie, 65 p. + 40 p. d'annexes.
- Ishiguro N. & Touchart L., 2001, « Sur la trace des dieux de la banquise du lac Suwa » *La Géographie, Acta Geographica*, 173(125-1500) : 27-34.
- Ishiguro N., Kajiwaru M., Fujita T., Akiba Y. & Touchart L., 2001, « Heterogeneity of the Omiwatari records of Lake Suwa as the data-base for winter temperature estimation ». Melbourne, Australia, 28th Congress SIL, 4-10 February 2001, 1 poster.
- Ivanoff A., 1972, *Introduction à l'océanographie, propriétés physiques et chimiques des eaux de mer*. Paris, Vuibert, tome I, 208 p.
- Jallabert J., 1741, « Seiches ou flux et reflux du lac de Genève » *Histoire de l'Académie Royale des Sciences pour l'année 1741* : 26-. Cité par Saussure, 1779.
- James H.R. & Birge E.A., 1938, « A laboratory study of the absorption of light by lake waters » *Transactions of the Wisconsin Academy of sciences, Arts and Letters*, Madison, 31 : 1-154.
- Jaske R.T. & Goebel J.B., 1967, « Effects of dam construction on temperatures of Columbia river » *Journal of American Water Works Association*, 59 : 935-942.
- Jatteau P., 2000, « Maîtrise des rejets » in Petit J., coord., *Environnement et aquaculture*. Tome I « Aspects techniques et économiques ». Paris, INRA éditions, 217 p. : 165-174.
- Jaulin E., 1950, « Le barrage de la Girotte » *La Houille Blanche*, 5 : 555-573.
- Jeffreys H., 1923, « The free oscillations of water in an elliptical lake » *Proceedings of the London mathematical Society*, ser. 2, 23 : 455-476.
- Jeffreys H., 1928, « The more rapid longitudinal seiches of a narrow lake » *Mon. Not. R. astr. Soc. Geophys. Suppl.*, 1, 23 : 495-500. Cité par Hutchinson, 1957.
- Jiao C. & Kumagai M., 1995, « Large amplitude nonlinear internal surge in Lake Biwa » *Japanese Journal of Limnology*, 56(4) : 279-289.
- Jiménez F., 1995, « Les âmes du lac, imaginaire cinématographique et organisation mythique de l'espace lacustre » in Barraqué B., Bley D., Boëtsch G., Masali M. & Rabino Masso E., dir., *L'Homme et le Lac, usages et représentations de l'espace lacustre*. VI^e journées de la Société d'Ecologie Humaine, 13-15 juin 1994, Cadenabbia-Griante (Côme, Italie), 192 p. : 37-51.
- Johnson D.W., 1919, *Shore Processes and Shoreline Development*. New York, J. Wiley & sons, 584 p.
- Jumars P.A., 1990, « W(h)ither limnology ? » *Limnology and Oceanography*, 35(5):1216-1218.
- Kalecsinsky A.V., 1901, « Über die ungarischen Warmen und Heissen Kochsalzseen als natürliche Wärme-accumulatoren sowie über die Herstellung von Warmen Salzseen und Wärme-accumulatoren » *Földt. Közl.*, 31 : 409-431.
- Kamp-Nielsen L., 1975, « Seasonal variation in sediment-water exchange of nutrient ions in Lake Esrom » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 19 : 1057-1065.
- Kanari S., 1984, « The long-period internal waves in Lake Biwa » *Limnology and Oceanography*, 20 : 544-553.
- Kempf M. & Petit J., 2000, « Impact des piscicultures sur l'environnement » in Petit J., Coord., *Environnement et aquaculture*. Tome I : « aspects techniques et économiques ». Paris, INRA, 218 p. : 125-163.
- Kennedy R.H. & Gaugush R.F., 1988, « Assessment of water quality in Corps of Engineers reservoirs » *Lake and Reservoir Management*, 4(2) : 253-260.
- Kishino M. & Hayashi H., 2001, « Optical environment » in Saijo Y. & Hayashi H., Ed, *Lake Kizaki, limnology and ecology of a Japanese lake*. Leiden, Backhuys, 427 p. : 63-69.
- Klaproth H.I., 1825, « Description du lac Baïkal » *Nouvelles Annales des voyages, de la géographie et de l'histoire*, 27 : 289-308.
- Knoppert P.L., Rook J.J., Hofker T. & Oskam G., 1970, « Destratification experiments at Rotterdam » *Journal of American Water Works Association*, 62 : 448-454.
- Kobayashi D., Kodama Y., Ishii Y., Tanaka Y. & Suzuki K., 1995, « Diurnal variations in streamflow and water quality during the summer dry season » *Hydrological Processes*, 9(7) : 833-841.
- Koberg G.E. & Ford M.E., 1965, « Elimination of thermal stratification in reservoirs and the resulting benefits, with special emphasis on study of Lake Wohlford, California » *United States Geological Survey Water Supply Paper*, 1809M : 1-28.

- Kondratyev K.Ya. & Filatov N.N., 1999, *Limnology and remote sensing. A contemporary approach*. Berlin, Springer, & Chichester, Praxis, 406 p.
- Krambeck H.J., Milstein A. & Zoran M., 1994, « Physical limnology of reservoirs in Israel used for crop irrigation and fish farming » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 25 : 1373-1378.
- Krecker F.H., 1931, « Vertical oscillations or seiches in lakes as a factor in the aquatic environment » *Ecology*, 12 : 156-163.
- Kreitmman L., 1931, « Etude des courants du lac Léman » *Les Etudes Rhodaniennes*, 7(2) : 109-130.
- Kreitmman L., 1935, « Contribution à l'étude expérimentale des courants lacustres » *Revue des Eaux et Forêts*, 11 : 704-712.
- Kuusisto E. & Elo A.-R. 2001, « Lake and river ice variables as climate indicators in Northern Europe » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2761-2764.
- Labroue L., Capblanc J. & Dauta A., 1995, « Cycle des nutriments : l'azote et le phosphore » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 727-764.
- Lackey R.T., 1972, « A technique for eliminating thermal stratification in lakes » *Water Resource Bulletin*, 8 : 46-49.
- Lacombe H., 1950, « Les plans de vagues » *Bulletin du Comité Central d'Océanographie et d'Etude des Côtes*, 2 : 180-187.
- Lacombe H., 1953, « Méthode de tracé direct des orthogonales de houle » *Bulletin du Comité Central d'Océanographie et d'Etude des Côtes*, 5 : 80-98.
- Lair N. & Sargos D., 1993, « A 10 years study in the middle course of the River Loire. Patterns of changes in hydrological, physical and chemical variables at the sites of nuclear power plants, in relation to the algal biomass » *Hydroécologie Appliquée*, 5 : 1-27.
- Lam D.C.L. & Durham R.W., 1984, « Finite element analysis of a radioactive tritium patch and a waste heat plume observed near the Pickering Nuclear Power generating Station, Lake Ontario » *Journal of Great Lakes Research* : 635-651.
- Lambert A. & Giovanoli F., 1988, « Records of riverborne turbidity currents and indications of slope failures in the Rhône delta of lake Geneva » *Limnology and Oceanography*, 33(3) : 458-468.
- Lampert W. & Sommer U., 1997, *Limnology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, 382 p.
- Langmuir I., 1938, « Surface motion of water induced by wind » *Science*, 187 : 119-123.
- Lan Vu Dinh T., 1985, *Lacs du parc national des Pyrénées, premiers éléments en vue d'une typologie*. Tarbes, Parc National des Pyrénées, 95 p.
- Large A.R.G., Wade P.M., Pautou G. & Amoros, 1993, « Producteurs et productions primaires » in Amoros & Petts, dir., *Hydrosystèmes fluviaux*. Paris, Masson, 300 p. : 107-124.
- Larinier M., 1985, *Performances de nage des poissons et conditions hydrauliques dans les ouvrages permettant le franchissement des obstacles à la migration*. Cemagref, Dqep, octobre, 10 p. Cité par Cohendet F., 1993, *Le saumon de l'Allier, son histoire, sa vie, son devenir*. Paris, Aidsa, 795 p.
- Lavenu A., 1981, « Origine et évolution néotectonique du lac Titicaca » *Revue d'Hydrobiologie tropicale*, 14(4) : 289-297.
- Lavis M.E. & Smith K., 1972, « Reservoir storage and the thermal regime of rivers, with special reference to the River Lune, Yorkshire » *The Science of the Total Environment*, 1 : 81-90.
- Le Breton D., 1995, *La température des eaux courantes, modélisation appliquée à un cours d'eau socialisé du sud-ouest de l'Angleterre*. Univ. Poitiers & Exeter, mémoire de maîtrise de géographie, 166 p.
- Le Conte J., 1884, « Physical studies on lake Tahoe. III. (Concluded) » *Overland Monthly*, 3 : 41-46.
- Lefranc G., 1923, *Les vents du Léman*. Thonon, P. Pélessier, 46 p.
- Léger L., 1936, « La thermique des lacs de haute montagne et les problèmes biologiques et économiques qu'elle soulève » *Procès-verbaux de la Société dauphinoise d'Etudes biologiques*, 15(271) : 83-94.
- Lehmkuhl D.M., 1972, « Changes in thermal regime as a cause of reduction of benthic fauna downstream of a reservoir » *Journal of Fisheries Research Board Canada*, 29 : 1329-1332.
- Leibovich S., 1983, « The form and dynamics of Langmuir circulations » *Annals Revue of Fluid Mechanics*, 115 : 391-427.
- Lemarchand J.-P. & Galliot M., 1992, *Y'a plus d'saisons ! ? la mémoire du climat limousin*. Guéret, éd. Verso, 32 p.
- Lemmin U., 1987, « The structure and dynamics of internal waves in Baldeggersee » *Limnology and Oceanography*, 32 : 43-61.
- Lemmin U., 1995, « Limnologie physique » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 60-114.
- Lemmin U., 1998, « Courantologie lémanique » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 51(1) : 103-120.
- Lemmin U., Fer I. & Perrinjaquet C., 1999, « Courantologie lémanique : le refroidissement hivernal » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed, *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, 16-18 septembre 1998, Genève, Slatkine, 922 p. : 53-70.
- Lemmin U., Jiang R. & Thorpe S.A., 1998, « Finescale dynamics of stratified waters near a sloping boundary of a lake » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 461-474.
- Lemmin U. & Mortimer C.H., 1986, « Tests of an extension to internal seiches of Defant's procedure for determination of seiche characteristics in real lakes » *Limnology and Oceanography*, 31 : 1207-1231.
- Lenk M. & Saenger N., 2000, « Exchange processes in the river bed and their influence on temperature variations » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(1) : 427-430.
- Lerman A., Ed, 1978, *Lakes, chemistry, geology, physics*. Berlin, Springer, 363 p.
- Lerman A., Imboden D. & Gat J., Ed, 1995, *Physics and chemistry of lakes*. Berlin, Springer, 334 p.
- Létolle R., 1998, « Les expéditions de Bekovitch-Tcherkassy en Turkestan (1714-1717) et le début de l'infiltration russe en Asie centrale » *Cahiers d'Asie Centrale*, 5-6 : 259-284.
- Létolle R. & Mainguet M., 1993, *Aral*. Paris, Springer France, 357 p.
- Létolle R. & Touchart L., 1998, *Grands lacs d'Asie*. Paris, L'Harmattan, col. « Ecologie et agronomie appliquées », 232 p.
- Leurechon J., 1624, *Récréation mathématique*. Pont-à-Mousson. Cité par Birembaut, 1992.
- Lévy B., Matos R. & Raffestin S., 1999, « L'image du Léman à travers la paralittérature et la promotion touristique aux XIX^e et XX^e siècles. Le cas genevois » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p. : 811-827.
- Lewis W.M. Jr, 1973, « The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes » *Limnology and Oceanography*, 18 : 200-217.
- Lewis W.M. Jr., 1983, « A revised classification of lakes based on mixing » *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40 : 1779-1787.
- L'Harpe A. de, 1999, « Lacs, montagnes et représentations. Entre horizontalités et verticalités. Le Léman, lac alpin » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p. : 799-810.
- Likens G.E., 2001, « A long-term record of ice cover for Mirror Lake, New Hampshire : effects of global warming ? » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2765-2769.
- Lind O.T., 1985, *Handbook of Common Methods in Limnology*. Dubuque, Iowa, Kendall-Hunt Publishing Company, 2nd ed, 199 p.

- Livingston D.M., 2001, « Large-scale forcing detected in historical observations of lake ice break-up » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2775-2783.
- Löffler H., 1957, « Die klimatischen Typen des holomiktischen Sees » *Mitteilungen der geographischen Gesellschaft Wien*, 99 : 35-44.
- Lorenzen M.W. & Mitchell R., 1975, « An evaluation of artificial destratification for control of algal bloom » *Journal of American Water Works Association*, 67 : 373-376.
- Loup J., 1950, « La pêche dans le lac du Bourget » *Revue de Géographie Alpine*, 38(1) : 157-175.
- Loup J., 1967, « Les lacs à l'honneur » *Revue de Géographie Alpine*, 55(1) : 215-219.
- Loup J., 1971, « Influence d'un grand lac sur les températures de l'air de ses littoraux : exemple le lac Léman » in Gualtierotti R. & Solimene U., *Lacustrine climatology*. Como, Proceedings of the International Congress, 1019 p. : 270-278.
- Loup J., 1974, *Les eaux terrestres*. Paris, Masson, 174 p.
- Loup J., 1981, « La sauvegarde d'un lac : le lac du Bourget » in *Eau et climats, mélanges géographiques offerts en hommage à Charles-Pierre Péguy*. Grenoble, CNRS, 598 p. : 313-324.
- Loup J., 1986, « Les lacs subalpins de Paladru au Léman » in CNDP, *Les lacs préalpins*. Grenoble, CRDP, 111 p. : 3-15.
- Loup J. & Billet J., 1971, « L'influence d'une nappe d'eau lacustre sur les températures de l'air et ses rivages. Exemple du lac Léman et du lac Majeur » *Revue de Géographie Alpine*, 59(4) : 457-471.
- Luettich, R., Harleman D. & Somlyódy L., 1990, « Dynamic behaviour of suspended sediment concentrations in a shallow lake perturbed by episodic wind events » *Limnology and Oceanography*, 35(5) : 1050-1067.
- MacIntyre S. & Romero J.R., 2000, « Predicting upwelling, boundary mixing, and nutrient fluxes in lakes » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(1) : 246-250.
- Mackichan K.A., 1967, « Diurnal Temperature Variations of three Nebraska Streams » *US Geological Survey Professional Paper*, 575-B : 233-234.
- Mackie G.L., Rooke J.B. & Gerrath J.F., 1983, « Effects of changes in discharge level on temperature and oxygen regimes in a new reservoir and downstream » *Hydrobiologia*, 101 : 179-188.
- Makkawew W.M., 1936, « III. Bemerkungen über die Theorie der langen internen Wellen » *V. hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten*. Finland, Juni 1936, Bericht 15. Helsinki, Helsingfors, Valtioneuvoston Kirjapaino : 12-19.
- Magnin A., 1893, « Contribution à la limnologie française: les lacs de Jura » *Annales de Géographie*, 2(9) : 20-41.
- Magnin A., 1894, « Contribution à la limnologie française: les lacs de Jura (suite) » *Annales de Géographie*, 3 : 213-226.
- Magnin A., 1895, *Les lacs du Jura*. Lyon, H. Georg, 96 p.
- Magnuson J.J., Wynne R.H., Benson B.J. & Robertson D.M., 2001, « Lake and river ice as a powerful indicator of past and present climates » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2749-2756.
- Magrini P., 1905, « I recenti studi sulle sesse nei laghi Italiani » *Riv. Geogr. Ital.*, 12. Cité par Halbfass, 1923.
- Malatre K & Gosse Ph., 1995, « Is it possible to influence water temperature and quality in the River Seine upstream of Paris in summer by managing the upstream reservoirs ? » *Water Science and Technology*, 31(8) : 67-77.
- Maleval V., 1998, *Aspects du fonctionnement physique d'un reservoir hydrique : le lac de Saint-Pardoux*. Univ. Limoges, mémoire de DEA en géographie, 64 p. + annexes.
- Maleval V., 1999, « L'évolution des rivages des lacs de barrages artificiels. L'exemple du lac de Saint-Pardoux en Limousin, France » *Noréis*, 46(183) : 453-464.
- Mandych A.F. & Shilkrot G.S., 1995, « Ladoga and Onega Lakes » in Mandych A.F., Ed, *Enclosed Seas and Large Lakes of Eastern Europe and Middle Asia*. Amsterdam, SPB Academic Publishing, 273 p. : 231-273.
- Margalef R., 1975, « Typology of reservoirs » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 19 : 1841-1848.
- Margalef R., 1983, *Limnologia*. Barcelona, Omega, 1 010 p.
- Markofsky M., 1979, « Density induced transport processes in lakes and reservoirs » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 99-109.
- Markofsky M. & Harleman D.R.F., 1971, *A predictive model for thermal stratification and water quality reservoirs*. Boston, MIT Hydrodynamics Laboratory, Technical Report n° 134, 283 p.
- Marquette J., 1673, publié 1862, *Découverte de quelques pays et nations de l'Amérique septentrionale*. Non consulté.
- Marquis J., 1998, « Cinq mille trous d'eau minent la Haute-Vienne » *Le Pêcheur de France*, 177 : 90-91.
- Marsh C.W., 1897, « On the limnetic crustacea of Green Lake » *Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters*, Madison, 11 : 179-224.
- Martignier D. & de Crousaz A., 1867, « Léman » in *Dictionnaire historique, géographique et statistique du Canton de Vaud*. Lausanne, L. Corbaz et Compagnie : 538-544.
- Martinez P., 1998, *Les températures de l'eau de la Dordogne, tronçon entre Argentat et Tuilières, 10 juillet 1996 – 31 juillet 1997*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 201 p. + 51 p. d'annexes.
- Martonne E. de, 1929, *Traité de Géographie Physique*. Paris, A. Colin, tome I, 4^e édition, 496 p.
- Martonne E. de & Aufrère L., 1928, « L'extension des régions privées d'écoulement vers l'océan » *Annales de Géographie*, 37 : 1-24.
- Marzolf G.R., 1984, « Reservoirs in the Great Plains of North America » in Taub F.B., Ed, *Lakes and Reservoirs*. Amsterdam, Elsevier, col. « Ecosystems of the World » n° 23, 643 p. : 291-302.
- Mathavan S., 1990, « Effect of temperature on the bio-energetics of the larvae of *Brachytemis contaminata* (Fabricius) and *Orthetrum sabina* (Drury) (Anisoptera : Libellulidae) » *Odonatologica*, 19 : 153-165.
- Mats V.D., 1993, « The Structure and Development of the Baikal Rift Depression » *Earth-Science Reviews*, 34 : 81-118.
- Mazumder A., Taylor W.D., McQueen D.J. & Leans D.R.S., 1990, « Effects of fish and plankton on lake temperature and mixing depth » *Science*, 247 : 312-315.
- McCarron E.F. & Keighton W.B., 1967, « Effects of released reservoir water on the quality of the Lehigh River, Pennsylvania » *United States Geological Survey Water Supply Paper*, 1879H, 48 p.
- McCarron E.F. & Keighton W.B., 1969, « Water quality and discharge of streams in the Lehigh River, Pennsylvania » *United States Geological Survey Water Supply Paper*, 575D : 262-266.
- McCarter J.A., Hayes F.E., Jodney F.E. & Cameron M.L., 1952, « Movement of materials in the hypolimnion of a lake as studied by the addition of radioactive phosphorus » *Canadian Journal of Zoology*, 30 : 128-133.
- McLeish W., 1968, « On the mechanisms of wind-slick generation » *Deep Sea Research*, 15 : 461-469.
- McManus J. & Duck R.W., 1993, Ed, *Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs*. Chichester, J. Wiley & Sons, 278 p.
- Mercanton P.-L., 1932, « Etude de la circulation des eaux du Léman » *Mémoires de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 4(27) : 225-271.
- Mercanton P.-L., 1948, « Marées du lac Léman » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 64(271) : 73-75.
- Mercanton P.-L., 1949, « Encore les marées du Léman » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 64(274) : 295-296.

- Mercanton P.-L., 1955, « Les marées du Léman, nouvelles données » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 66(289) : 161-164.
- Merian J.-R., 1828, « Über die Bewegung tropfbarer Flüssigkeit in Gefässen », in Mühl K. van der, 1885, *Mathematische Annalen*, 27 : 575-600.
- Merzi N., Graf W.M. & Perrinjaquet C., 1985, « Vagues dues au vent de sud-ouest sur le Petit Lac (Léman) » *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 85(26) : 479-482.
- Messerli F.-M., 1956, *Cinq grands savants morgiens : Jean Morax, Victor Morax, Alexandre Yersin, Auguste Forel, François-Alphonse Forel*. Lausanne, Risold, 29 p.
- Météorologie Nationale & Conseil Régional du Limousin, 1989, *Atlas agroclimatique du Limousin*. Ed. Météorologie Nationale, 95 p.
- Meybeck M., 1995a, « Les lacs et leur bassin » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 6-59.
- Meybeck M., 1995b, « Global Distribution of Lakes » in Lerman A., Imboden D. & Gat J., Ed., *Physics and Chemistry of Lakes*. Berlin, Springer, 334 p. : 1-35.
- Meybeck M., Blanc P., Moulherac A.E. & Corvi C., 1991, « Chemical evidence of water movements in the deepest part of Lake Lemman » *Aquatic Sciences*, 53/4 : 273-289.
- Meybeck M., Hubert P., Martin J.-M. & Olive P., 1970, « Etude par le tritium du mélange des eaux en milieu lacustre et estuarien, application au lac de Genève et à la Gironde » *Isotopes Hydrology IAEA* : 523-541.
- Meybeck M. & Pourriot R., 1991, « Introduction : les lacs comme modèle d'océan » *Océanis*, 17(5) : 511-515.
- Milstein A., Krambeck H.J. & Zoran M., 1992, « Effects of wind and depth on stratification in reservoirs for fish culture and field irrigation » *Limnologia*, 22(4) : 375-384.
- Milstein A., Krambeck H.J. & Zoran M., 2000, « Stratification interference practice and modelling as a management tool in fish culture reservoirs » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(1) : 200-205.
- Miossec A., 1998, « Quelques aspects et conséquences de l'élévation du niveau de la Mer Caspienne » *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 75(1) : 31-37.
- Mischalski J. & Lemmin U., 1995, « Dynamics of vertical mixing in the hypolimnion of a deep lakethe Lake of Geneva » *Limnology and Oceanography*, 40 : 809-816.
- Miyaji N., 1931, *Suwashi dai 2 kan kanmatsu furoku*. Suwa, Shinano Kyoiku Kai, 346 p.
- Moatar F., 1997, *Modélisations statistiques et déterministes des paramètres physico-chimiques utilisés en surveillance des eaux de rivières : application à la validation des séries de mesures en continu (cas de la Loire moyenne)*. Grenoble, thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique, 290 p.
- Monod R., 1976, « La vie du lac » in Amberger G. *et al.*, *Le Léman, un lac à découvrir*. Paris, Vilo, 233 p. : 63-86.
- Monod R., Blanc P. & Corvi C., 1984, « Le régime thermique du Léman » in Commission Internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, *Le Léman, synthèse 1957-1982*. Lausanne, 650 p. : 75-88.
- Mori S., Saijo Y., Mizuno T., 1984, « Limnology of Japanese lakes and ponds » in Taub F.B., Ed, *Lakes and reservoirs*. Amsterdam, Elsevier, col "Ecosystems of the world" n° 23, 643 p. : 303-329.
- Morlot A., 1854, « Sur les terrasses diluviennes du Lac Léman » *Bulletin de la Société Vaudoise de Sciences Naturelles*, 14(77) : 653-664.
- Mortimer C.H., 1942, « The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes » *Journal of Ecology*, 29 : 280-329 & 30 : 147-201.
- Mortimer C.H., 1951, « Discussion » in Berg K., « The content of limnology demonstrated by F.-A. Forel and August Thienemann on the shore of Lake Geneva. Some historical remarks » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 11, Congress in Belgium, Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung : 41-57 : 57.
- Mortimer C.H., 1952, with an appendix by Longuet-Higgins M.S., « Water movements in lakes during summer stratification, evidence from the distribution of temperature in Windermere » *Transactions of the Royal Society of London*, 236B, 355-404.
- Mortimer C.H., 1953a, « The resonant response temperature measurement in limnology » *Mitteilungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 1, 25 p.
- Mortimer C.H., 1953b, « A review of stratified lakes to wind » *Schweizerische Zeitschrift der Hydrologie*, 15 : 94-151.
- Mortimer C.H., 1955, « Some effects of the earth's rotation on water movement in stratified lakes » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 12 : 66-77.
- Mortimer C.H., 1974, « Lake hydrodynamics » *Mitteilungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 20 : 124-197.
- Mortimer C.H., 1975, « Substantive corrections to SIL communications numbers 6 and 20 » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 19 : 60-72.
- Mortimer C.H., 1981, « The Oxygen content of air-saturated freshwaters over ranges of temperature and atmospheric pressure of limnological interest » *Mitteilungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 22 : 23 p.
- Mortimer C.H. & Moore W.H., 1953, « The use of thermistors for the measurement of lake temperatures » *Mitteilungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 2, 42 p.
- Mortom F.I., 1983, « Operational estimates of lakes evaporation » *Journal of Hydrology*, 66 : 77-100.
- Mottaz E., 1914-1921, « Forel » in *Dictionnaire historique, géographique et statistique du canton de Vaud*. Lausanne.
- Müllner J., 1896, « Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun » *Geographische Abhandlungen herausgegeben von Prof. Dr. Albrecht Penck in Wien*, 6(1) : 1-115.
- Munk W.H. & Anderson E.R., 1948, « Notes on a theory of the thermocline » *Journal of Marine Research*, 7 : 276-295.
- Münnich M., 1993, On the influence of bottom topography on the vertical structure of internal seiches. Zurich, ETH Dissert. N° 10 434. Cité par Imboden & Wüest, 1995.
- Münnich M., Wüest A. & Imboden D.M., 1992, « Observations of the second vertical mode of the internal seiche in an alpine lake » *Limnology and Oceanography*, 37 : 1705-1719.
- Murray J., 1888, « On the effects of winds on the distribution of temperature in the sea- and freshwater lochs of the west of Scotland » *Scottish Geographical Magazine*, 4 : 345-365.
- Murray J. & Pullar L., 1910 *Bathymetric survey of the Scottish fresh-water lochs*. Edinburgh, Chalenger Office, vol. I, 785 p.
- Murthy C.R., 1973, « A comparison of Lagrangian and Eulerian current measurements in coastal waters of Lake Ontario » *Proceedings of the 16th Conference, Great Lakes Research* : 1034-1037.
- Nakamura S. & Honda K., 1911, « Seiches in some lakes of Japan » *J. Coll. Sci. Tokyo*, 28(5) : 1-95. Cité par Hutchinson.
- Nakao K., 1971, « Study on the stability of water levels in lakes and swamps » *Hokkaido daigaku Chibutsu kenkyu Hokoku*, 25 : 25-87.
- Naumenko M. 1994, « Some aspects of the thermal regime of large lakes : Lake Ladoga and Onega » *Water Pollution Research Journal Canada*, 29(2-3) : 423-439.
- Neumann G., 1949, « Die Entstehung der Wasserwellen durch Wind » *Deutsche hydrographische Zeitung*, 2. Cité par Dietrich, 1963.
- Neumann G., 1952, « On the complex nature of ocean waves and the growth of the sea under the action of wind » in *Gravity waves Circ. US Bur. Stand.*, 521 : 61-68. Cité par Hutchinson, 1957.

- Neumann G., 1953, « An ocean wave spectra and a new method of forecasting wind generated sea » *Beach Erosion Board, Technical Memor.*, 43. Cité par Guilcher, 1979.
- Neumann J., 1953, « Energy balance and evaporation from sweet water lakes of the Jordan Rift » *Bull. etin of the Research Council of Israel*, 2 : 337-357.
- Neuwirth F., 1979, « Experiences from the estimation of evaporation from a shallow lake » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed. *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 313-323.
- Neveu-Lemaire M., 1906, *Les lacs des Hauts Plateaux de l'Amérique du Sud*. Paris, Imprimerie Nationale, Librairie H. le Soudier, 197 p.
- Nichols W.R., 1880, « On the temperature of fresh-water ponds and lakes » *Proceedings of the Boston Society of Natural History*, 21: 53-82.
- Nicod J., 1978, « Les eaux et l'aménagement des poljs du karst dinarique » *Méditerranée*, 1-2 : 85-103.
- Nicod J., 1989, « Du nouveau sur l'édification des barrages de travertins de Plitvice (Croatie) » *Méditerranée revue géographique des Pays Méditerranéens*, 68(2-3) : 85-86.
- Nicod J., 1997, « Barrages en terrains karstiques, problèmes géomorphologiques et géotechniques dans le domaine méditerranéen » in Tabeau M., Pech P. & Simon L., éd., *Géo-Méditer, Géographie physique et Méditerranée, Hommage à G. Beaudet & E. Moissenet*. Paris, Presses Universitaires de la Sorbonne : 185-200.
- Nicod J., 1999, « Phénomènes karstiques et mouvements de terrain récents dans le département du Var, problèmes d'impact » in *Risques naturels*. Paris, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, 120^e Congrès des Sociétés savantes, Aix-en-Provence, 1995 : 115-130.
- Nicod J. & Rossi G., 1979, « Données nouvelles sur l'hydrologie du lac Victoria » *Annales de Géographie*, 488 : 459-466.
- Nishizama T. & Yamabe K., 1970, « Change in downstream temperature caused by the construction of reservoirs » *Tokyo University Science Reports*, Section C, 10 : 137-148.
- Nümann V., 1938, « Die Verbreitung des Rheinwassers im Bodensee » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 36 : 501-530.
- Okuda S., Kurata R., Nagaoka M., & Sawamura K., 1991, *Sora kara miru nihon no kosho*. Tokyo, Maruzen, 240 p.
- Okumura Y. & Endoh S., 1997, « Continuous current measurements in Lake Biwa. III. Results of long-term observation over one year » *Japanese Journal of Limnology*, 58(3) : 293-303.
- Oliva-Teles A. & Rodrigues A., 1993, « The effect of high temperatures and dietary protein on metabolic utilization of diets by rainbow trout » in Kaushik S. & Luquet P., *Fish Nutrition in Practice*. Proceedings of the IVth International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, Biarritz (France), june 24-27, 1991. Paris, INRA, col. « Les colloques » n° 61, 972 p. : 301-305.
- Olive P., 1971, « F.-A. Forel (1841-1912), promoteur de la limnologie moderne » *Bulletin de l'Association Romande pour la Protection des Eaux*, 46 : 18-24.
- Olszewski P., 1953, « The thermal conditions of mountain lakes » *Bull Acad polon Sci Lett, série A* : 239-290. Cité par Dussart, 1992.
- Oppenheimer C., 1997, « Remote sensing of the colour and temperature of volcanic lakes » *International Journal of remote Sensing*, 18(1) : 5-37.
- Oren A. & Gavrieli I., 2002, « The Dead Sea, recent changes in the limnology of a hypersaline terminal desert lake » *Sil News*, 35(January) : 1-5.
- Osgood R.A. & Stiegler J.E., 1990, « The effects of artificial circulation on a hypereutrophic lake » *Water Resource Bulletin*, 26 : 209-217.
- Paffen K., 1966, « Die täglichen Temperaturschwankungen als geographisches Klimacharakteristikum » *Erdkunde*, 20 : 252-265.
- Paffen K., 1967, « Das Verhältnis der Tages- zur Jahreszeitlichen Temperaturschwankung » *Erdkunde*, 21 : 94-111.
- Pagny P., 1988, *Climats et cours d'eau de France*. Paris, Masson, col. Géographie, 248 p.
- Papon P., 2001, *Sédiments et eutrophisation en plan d'eau peu profond : la baie de Keszthely du Balaton*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise en géographie, 96 p.
- Papon P., 2002, *Le fonctionnement des plans d'eau superficiels : les problèmes de vulnérabilité et de gestion au Balaton et en Limousin*. Univ. Limoges, mémoire de DEA en géographie, 103 p.
- Pardé M., 1925, *Le régime du Rhône, étude hydrologique*. Lyon, Etudes Rhodaniennes, tome I, 887 p., tome II, 440 p.
- Pardé M., 1962, « La crue exceptionnelle d'octobre 1960 dans l'ouest du Massif central » *Annales de Géographie*, 71 : 36-63.
- Pardé M. & Frécaut R., 1967, « Hydrologie fluviale, les glaces fluviales en milieu tempéré océanique et continental » *Revue géographique de l'Est*, : 461-476.
- Parker F.L. & Krenkel P.A., 1970, *Physical and engineering aspects of thermal pollution*. London, Butterworths, 100 p.
- Paschalski J., 1964, « Circulation types of lakes » *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, Warszawa, 12(3) : 383-408.
- Passowicz K., 1938, « Ein meromiktischer See im Suwalki-Gebiet » *Arch. Hydrob. Ryb.*, 9 : 210-214. cité par Paschalski.
- Patterson J.C. & Imberger J., 1989, « Simulation of bubble plume destratification systems in reservoirs » *Aquatic Sciences*, 51 : 3-18.
- Patterson J.C., Hamblin P.F. & Imberger J., 1984, « Classification and dynamics simulation of the vertical density structure of lakes » *Limnology and Oceanography*, 29(4) : 845-861.
- Payne A.L., 1986, *The Ecology of Tropical Lakes and Rivers*. New York, J. Wiley & sons, 301 p.
- Pech P. & Régnault H., 1992, *Géographie physique*. Paris, PUF, col. 1^{er} cycle, 434 p.
- Pédélaborde P., 1982, *Introduction à l'étude scientifique du climat*. Paris, Sedes, 353 p.
- Péguy Ch. P., 1970, *Précis de climatologie*. Paris, Masson, 2^e éd., 468 p.
- Péguy Ch. P., 1989, *Jeux et enjeux du climat*. Paris, Masson, 256 p.
- Peiry J.-L. & Marcezy A., 2000, « Les barrages et réservoirs hydroélectriques des Alpes françaises et leurs impacts sur les cours d'eau » in Bravard J.-P., Coord., *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques, gestion des excès et de la pénurie*. Paris, Sedes, 288 p.: 190-209 p.
- Penaz M., Kubicek F., Marvan P. & Zelinka M., 1968, « Influence of the Vir River Valley Reservoir on the hydrobiological and ichthyological conditions in the River Svratka » *Acta Sci. Nat. Brno*, 2 : 1-60. Cité par Roux & Cobb, 1993
- Penck A., 1882, *Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung*. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 483 p. : 325-432.
- Penck A., 1894, *Morphologie der Erdoberfläche*. Stuttgart, Engelhorn, vol. II, 696 p. : 233-327.
- Penck A., 1898, « Friedrich Simony, Leben und Wirken eines Alpenforschers » *Geographische Abhandlungen herausgegeben von Prof. Dr. Albrecht Penck in Wien*, 6(3) : 1-72.
- Periáñez M., 1995, « Au fond du lac, quoi ? Freud hydrologue, lieux possibles de l'imaginaire lacustre dans une anthropologie psychanalytique » in Barraqué B., Bley D., Boëtsch G., Masali M. & Rabino Masso E., dir., *L'Homme et le Lac, usages et représentations de l'espace lacustre*. VI e journées de la Société d'Ecologie Humaine, 13-15 juin 1994, Cadenabbia-Griante (Côme, Italie), 192 p. : 53-58.
- Perpillou A., 1940, *Le Limousin, étude de géographie physique régionale*. Paris, Hachette, thèse d'Etat, 257 p.
- Petr T., 1992, « Lake Balkhash, Kazakhstan » *International Journal of Salt Lakes Research*, 1 : 21-46.
- Philipponneau M., 1999, *La géographie appliquée*. Paris, A. Colin, 300 p.

- Pichler W., 1939, « Unsere derzeitige Kenntnis von der Thermik kleiner Gewässer. Thermische kleingewässer typen » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 38 : 231-242.
- Pickard G.L., 1975, *Descriptive physical oceanography*. Oxford, Pergamon, 2nd ed, 214 p.
- Pilet P.-E., 1963, « François-Alphonse Forel 1841-1912 » *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 310 : 189-193.
- Pinaud J., 1980, *Atlas climatique du Limousin et recueil de données climatologiques 1964-1978*. Limoges, Météofrance, 77 p.
- Plantamour P., 1877, « Notes sur quelques observations limnimétriques faites à Sécheron » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 58 : 302-307.
- Plantamour P., 1878, « Le limnographie de Sécheron, près Genève » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 64 : 318-331.
- Plauchu J., 1971, *Etude des courants du lac Léman du Rhône à la frontière Vaud-Genève, 1969-1970*. Genève, Rapport du Bureau d'études et de travaux hydrologiques et d'océanologie côtière, 98 p.
- Plisnier P.-D., 2001, « Recent climate and limnology changes in Lake Tanganyika » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2670-2673.
- Pompilio L., Ambrosetti W. & Barbanti L., 1996, « Morphometry and thermal stratification in Italian lakes. 1. Predictive models » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 54 : 1-29.
- Poole H.H., & Atkins W.R.G., 1929, « Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year » *Journal of Marine Biological Association United Kingdom*, 16 : 297-324. Cité par Lemmin, 1995.
- Pornon H., 1992, *Les SIG, mise en œuvre et applications*. Paris, Hermès, 160 p.
- Pourriot R. & Meybeck M., 1995, « Les milieux lacustres » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 1-3.
- Pourriot R. & Meybeck M., 1995, « Zonation physique, chimique et écologique dans les lacs » in Pourriot R. & Meybeck M., Dir., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 404-410.
- Pouyaud B. & Colombani J., 1989, « Les variations extrêmes du lac Tchad : l'assèchement est-il possible ? » *Annales de Géographie*, 98(545) : 1-23.
- Pouyol L., 1999, *La centrale électronucléaire de Civaux, les impacts économiques sur huit communes rurales de la périphérie*. Univ. Limoges, maîtrise de géographie, 119 p.
- Pustelnik G., dir., 1993, *Rivières et vallées de France : la Dordogne*. Toulouse, Privat, 197 p.
- Quintero J.E. & Garton J.E., 1973, « A low energy lake destratification » *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 16 : 973-978.
- Quirke T.T., 1925, « The undertow » *Science*, 61 : 468.
- Rabino Massa E. & Reddavid M., 1995, « L'image du lac à travers la littérature » in Barraqué B., Bley D., Boëtsch G., Masali M. & Rabino Massa E., dir., *L'Homme et le Lac, usages et représentations de l'espace lacustre*. VI e journées de la Société d'Ecologie Humaine, 13-15 juin 1994, Cadenabbia-Griante (Côme, Italie), 192 p. : 29-32.
- Radford D.S. & Hartland-Rowe R., 1971, « A preliminary investigation of bottom fauna and invertebrate drift in an unregulated and a regulated stream in Alberta » *Journal of Applied Ecology*, 8 : 833-903.
- Ragotzkie R.A., 1978, « Heat Budgets of Lakes » in Lerman A. Ed, *Lakes : Chemistry, Geology, Physics*. New York, Springer, 363 p. : 1-19.
- Ramade F., 1991, « Pollution thermique des eaux » in *Eléments d'écologie*. Paris, Mc Graw Hill, 578 p. : 299-316.
- Ramming H.-G., 1979, « The dynamics of shallow lakes subject to wind : an application to Lake Neusiedl, Austria » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 65-75.
- Rebérac S., 1998, *L'Etang de la Pouge : étude géomorphologique et hydrologique*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 111 p. + 23 p. d'annexes.
- Reclus E., 1869, *Histoire d'un ruisseau*. Rééd. 1995, Arles, Actes sud, 219 p.
- Reynolds C.S., 1989, « Physical determinants of phytoplankton succession » in Sommer U., Ed, *Plankton ecology : succession in plankton communities*. Berlin, Springer, 369 p. : 9-56.
- Reynolds C.S., Wiseman S.W. & Clarke M.J.O., 1984, « Growth and loss rate responses of phytoplankton to intermittent artificial mixing and their potential application to the control of planktonic algal biomass » *Journal of Applied Ecology*, 21 : 11-39.
- Rich P.H. & Wetzel R.G., 1969, « A simple, sensitive underwater photometer » *Limnology and Oceanography*, 14 : 611-613.
- Richardot-Coulet M. & Greenwood M.T., 1993, « Invertébrés aquatiques » in Amoros & Petts, dir., *Hydrosystèmes fluviaux*. Paris, Masson, 300 p. : 125-149.
- Richerson P.J., 1992, « The thermal stratification regime in Lake Titicaca » in Dejoux C. & Itlis A., Ed, *Lake Titicaca, a Synthesis of Limnological Knowledge*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers Monographiae Biologicae 68, 573 p. : 120-130.
- Richter E., 1891, « Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen » *Verhandlungen der neunten deutschen Geographentages zu Wien am 1., 2. und 3. April 1891*, Berlin, Verlag von Dietrich Reimer, 15 : 189-197.
- Richter E., 1897, « Seenstudien zur zweiten Lieferung des Atlas der österreichischen Alpenseen » *Geographische Abhandlungen herausgegeben von Prof. Dr. Albrecht Penck in Wien*, 6(2) : 1-72.
- Richthofen F.F. von, 1886, *Führer für Forschungsreisende. Anleitung zu Beobachtungen über Gegenstände der Physischen Geographie und Geologie*. Berlin, Robert Oppenheim, 745 p. : 261-291.
- Riou C., 1975, *La détermination pratique de l'évaporation, application à l'Afrique centrale*. Paris, Mémoire Orstom n°80, cité par Cosandey et Robinson, 2000.
- Robequain C., 1948, *L'Indochine française*. Paris, A. Colin, 228 p.
- Robertson D.M., Ragotzkie R.A. & Magnuson J.J., 1992, « Lake ice records used to detect historical and future climatic change » *Climatic change*, 21 : 407-427.
- Robertson D.M., Wynne R.H. & Chang W.Y.B., 2001, « Influence of El Niño on lake and river ice cover in the Northern Hemisphere from 1900 to 1995 » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 2784-2788.
- Rodgers G.K., 1965, « The thermal bar in the Laurentian Great Lakes » *Proceedings 8th Conference Great Lakes Research*, Ann Arbor, University of Michigan, 13 : 358-363.
- Rodhe W., 1972, « Limnologie – wo und wozu ? » *Archiv für Hydrobiologie*, Suppl. 42, 1 : 7-13.
- Rodionov S.N., 1994, *Global and regional climate interaction: the Caspian Sea experience*. Amsterdam, Kluwer, 241 p.
- Roux A.L. & Copp G.H., 1993, « Peuplements de poissons » in Amoros & Petts, dir., *Hydrosystèmes fluviaux*. Paris, Masson, 300 p. : 151-166.
- Ruiter M.A. de, Fokink R.J., Hofstra J.J., Los F.J. & Ouboter R.L., 2001, « Recovery of the Loosdrecht lakes by large sediment traps » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(5) : 3040-3043.
- Russel H.-C., 1885, « Sur les seiches du lac George, Australie (en anglais) » *Anniversary address of the Royal Society of New South Wales*, 6 May : 13-. Cité par Forel, 1895, p. 64.
- Russel I., 1895, *Lakes of North America, a reading lesson for students of geography and geology*. Boston, London, Ginn, 125 p.
- Ruttner F., 1963, *Fundamentals of Limnology*. Toronto, University Press, 295 p.

- Ryanzhin S.V., 1994, « Latitudinal-altitudinal interrelationships for the surface temperatures of the Northern hemisphere freshwater lakes » *Ecological Modelling*, 74(3-4) : 231-253.
- Saijo Y. & Hayashi H., Ed, 2001, *Lake Kizaki, limnology and ecology of a Japanese lake*. Leiden, Backhuys, 427 p.
- Salençon M.-J. & Thébault, 1997, *Modélisation d'écosystème lacustre, application à la retenue de Pareloup (Aveyron)*. Paris, Masson, col. « Recherche en environnement », 183 p.
- Salveit S.J., 1990, « Effects of decreased temperature on growth and smoltification of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Norwegian regulated river » *Regulated Rivers : Research and Management*, 5 : 597-618.
- Salveit S.J., Bremnes T. & Brittain J.E., 1994, « Effects of a changed temperature regime on the benthos of a Norwegian regulated river » *Regulated Rivers : Research and Management*, 9 : 93-102.
- Sandström J.W., 1908, « Dynamische Versuche mit Meerwasser » *Annalen der Hydrographie*, Berlin, 36 : 6-23.
- Sarasin E., 1879, « Limnimètre enregistreur transportable. Observations à la Tour-de-Peilz près Vevey » *Archives des Sciences Physiques et Naturelles de Genève*, 2 : 724-733.
- Saringer, 1901, *Temperaturverhältnisse in Resultate der Wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees*. Wien, I, 5. Non consulté.
- Satoh Y., 1986, « A study on thermal regime of Lake Ikeda » *Science reports on Institute of Geoscience, University Tsukuba*, 7 : 55-93.
- Sauberer F., 1962, « Empfehlungen für die Durchführung von Strahlungsmessungen an und in Gewässern » *Mitteilungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 11, 77 p.
- Saussure H.-B. de, 1763, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences pour l'année 1763* : 18-. Cité par Saussure, 1779, p. 13.
- Saussure H.-B. de, 1779, *Voyages dans les Alpes*. Neuchâtel, Samuel Fauche, Imprimeur et Libraire du Roi, tome premier, 540 p.
- Saussure H.-B. de, 1796, *Second Voyage : de Genève à Gènes par le Mont-Cenis, et retour par la côte de Gènes et par la Provence*. Neuchâtel, Samuel Fauche Imprimeur et Libraire du Roi, Tome III, 532 p.
- Savy B., 1999, *La température de l'eau du fleuve Charente, tronçon entre la retenue de Lavaud et Alloue, du 16/11/98 au 30/06/99*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 168 p.
- Savy B., 2000, *Les lacs de Mas Chaban et de Lavaud, et la température des eaux du fleuve Charente durant le soutien d'étiage 2000*. Univ. Limoges, mémoire de DEA de géographie, 119 p.
- Savy B., 2001, *Manuel d'utilisation de l'Oxy 197*. Univ. Limoges, Département de Géographie, document interne, 6 p.
- Schmidt W., 1928, « Über die Temperatur- und Stabilitätsverhältnisse von Seen » *Geografiska Annaler*, 10(1/2) : 145-177.
- Schoeneich P., 1999, « Les terrasses quaternaires du Léman » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p.: 415-429.
- Schwoerbel J., 1987, *Handbook of Limnology*. Chichester, Ellis Horwood, 228 p.
- Scott J.T., Myer G.E., Stewart R.W. & Walther E.G., 1969, « On the mechanisms of Langmuir circulations and their role in epilimnion mixing » *Limnology and Oceanography*, 14 : 493-503.
- Scullard H.H., 1970, *Scipio Africanus : soldier and politician*. Thames & Hudson, 299 p.
- Serruya C. & Pollinger U., 1983, *Lakes on the Warm Belt*. Cambridge University Press, 570 p.
- Servant M. & Servant S., 1983, « Paleolimnology of an Upper Quaternary Endorheic Lake in Chad Basin » in Carmouze J.-P., Durand J.-R. & Lévêque C., Ed, 1983, *Lake Chad, Ecology and Productivity of a Shallow Tropical Ecosystem*. The Hague, Dr W. Junk, Monographiae Biologicae vol. 53, 575 p.: 11-26.
- Sesiano J., 1993, *Monographie physique des plans d'eau naturels du département de la Haute-Savoie, France*. Annecy, Conseil Général de Haute-Savoie, 125 p. + 15 p. annexes.
- Shanley J.B. & Peters N.E., 1988, « Preliminary observations of streamflow generation during storms in a forested piedmont watershed using temperature as a tracer » *Journal of contaminant Hydrology*, 27 : 71-85.
- Shapiro J., 1973, « Blue-green algae : why they become abundant » *Science*, 197 : 382-384.
- Shapiro J., 1984, « Blue-green dominance in lakes : the role and mangment significance of pH and CO₂ » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 69 : 765-780.
- Shapiro J., 1990, « Current beliefs regarding dominance by blue-greens : the cases for the importance of CO₂ and pH » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 24 : 38-54.
- Shepard F.P., 1936, « Undertow, rip tide or 'rip current' » *Science*, 84 : 181-182.
- Shepard F.P., Emery K.O. & Lafond E.C., 1941, « Rip currents : a process of geological importance » *Journal of Geology*, 49 : 337-369.
- Shepard F.P. & Inman D.L., 1950, « Near shore water circulation related to bottom topography and wave refraction » *Transactions of the American Geophysical Union*, 31 : 196-212.
- Simony F., 1850, « Die Seen des Salzkammergutes » *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftliche Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, Wien, 4(1-5) : 542-566.
- Smith H., 1884, « Temperature of water at various depths in lakes and oceans » *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 13 (278) : 73-84.
- Smith K., 1972, « River water temperature – an environment review » *Scottish Geographical Magazine*, 88 : 211-220.
- Smith K. & Lavis M.E., 1975, « Environmental influences on the temperature of a small upland stream » *Oikos*, 26(2) : 228-236.
- Smith R.C., Tyler J.E. & Goldman C.R., 1973, « Optical properties and color of Lake Tahoe and Crater Lake » *Limnology and Oceanography*, 18 : 189-199.
- Smol J., 2000, *Pollution of lakes and rivers*. London, Arnold, 224 p.
- Soret J.-L., 1884, « Sur la couleur de l'eau » *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 11 : 276-296.
- Sovetov S., 1917, *Onegskoe ozero*. Petrograd, 164 p. Compte-rendu dans les *Annales de géographie* de 1919 : 70-74.
- Spilhaus A.-F., 1937, « A bathythermograph » *Journal of Marine Research*, 1 : 95-100.
- SRAE (Service Régional de l'Aménagement des Eaux) Limousin, 1984, *Atlas hydrologique du Limousin*.
- SRAE Limousin, 1986, *Schéma d'Aménagement des Eaux de la Gorre : étude hydrologique de la Gorre et du Gorret*. Ministère de l'Environnement, Agence de Bassin Loire-Bretagne, 9 janvier 1986, non publié, 13 p. + 25 p. annexes.
- Stangenberg M., 1936, « Szkic limnologiczny na tle stosunków hydrochemicznych pojezierza Suwalskiego » *Rozp. Spr. Inst. Bad. Las. Państw. W W-wie*, Ser. A, 16: 73-87. Cité par Dussart, 1966.
- Stearns F.P., 1895, "Discussion" in Fitzgerald D., 1895, « The temperatures of lakes » *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 34 : 67-114 : 112-114.
- Steedman R.J., France R.L., Kushneriuk R.L. & Peters R.H., 1998, « Effects of riparian deforestation on littoral water temperatures in small boreal forest lakes » *Boreal Environmental Research*, 3 : 161-169.
- Steedman R.J., Kushneriuk R.L. & France R.L., 2001, « Initial effects of catchment deforestation around small boreal forest lakes in northwestern Ontario, Canada » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(2) : 1101-1107.
- Steele T.D., 1982, « A characterization of stream temperatures in Pakistan using harmonic analysis » *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, 27(4) : 451-467.

- Steinberg J., 2000, *Cartographie, télédétection, systèmes d'information géographique*. Paris, Sedes, col. Campus, 160 p.
- Steinböck O., 1934, « Zur Frage der Sprungschicht in Hochgebirgseen » *Archiv für Hydrobiologie*, 27 : 397-415.
- Stella E., 1984, *Fondamenti di Limnologia*. Roma, Edizioni dell'Ateneo, 300 p.
- Stepanov V.N. & Gritsenko A.M., 1980, « Heat budget in the world ocean » *Oceanology*, 20(4) : 403-406.
- Sterneck R., 1928, « Die Gezeiten der Baikalsees » *Annalen der Hydrographie Berlin*, 56 : 221-225.
- Stevenson T., 1852, « Observations on the relation between the height of waves and their distance from the windward shore » *Edinburgh New (Jameson's) Philosophical Journal*, 53 : 358-359.
- Stewart A.J. & Wetzel R.G., 1986, « Cryptophytes and others microflagellates as couplers in planktonic community dynamics » *Archiv für Hydrobiologie*, 106 : 1-19.
- Strahler A.N., 1957, « Quantitative analysis of watershed geomorphology » *Transactions American Geophysical Union*, 38(6) : 913-920.
- Straškraba M., 1980, « The effects of physical variables on freshwater production : analyses based on models » in Le Gren E.D. & McConnell R.H., *Proceedings International Conference on Limnology*. La Plata, Instituto de Limnología Dr R.A. Ringuelet : 19-39.
- Straškraba M., 1993, « Some new data on latitudinal differences in the physical limnology of lakes and reservoirs » in Boltovskoy A. & Lopez H.L., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 623-644.
- Straškraba M., 1998, « Coupling of hydrobiology and hydrodynamics : lakes and reservoirs » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 623-644.
- Straub G., 1954, *Terminal report on transportation characteristics Missouri River*. The Missouri River Division Corps of Engineers, US Army, Sediment Series 4, 21 p.
- Strickland J.D.H., 1958, « Solar radiation penetrating the ocean ; a review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity » *Journal of Fishery Research Board Canada*, 15(3) : 453-493.
- Supan A., 1896, « Die Schwankungen und die mittlere Veränderlichkeit und Abweichung der Temperatur » in *Grundzüge der physischen Erdkunde*. Leipzig, Veit, 2^{te} Auflage, 706 p. : 78-88.
- Sverdrup H.U. & Munk W.H., 1947, *Wind, sea and swell. Theory of relations for forecasting*. US Navy Department Hydrographic Office, Publication n° 601, 44 p.
- Symons J.M., Carswell J.K. & Robeck G.G., 1970, « Mixing of water supply reservoirs for quality control » *Journal of the American Waterworks Association*, 62 : 322-334.
- Tabeaud M., 1998, *La climatologie générale*. Paris, A. Colin, col. « Synthèse », 96 p.
- Tanaka A., 1916, *Koshou gakujou yori mitaru Suwa-ko no kenkyu*. Tokyo, Iwanami-shoten, 1682 p.
- Tanaka M. & Yoshino M., 1982, « Re-examination of the climatic change in Central Japan based on freezing dates of Lake Suwa » *Weather*, 37 : 252-259.
- Taub F.B., 1984, « Ecosystem processes » in Taub F.B., Ed, *Lakes and Reservoirs*. Amsterdam, Elsevier, Ecosystems of the world n° 23, 643 p. : 9-42.
- Taylor E.B., 1988, « Water temperature and velocity as determinants of microhabitats of juvenile Chinook salmon and Coho salmon in a laboratory stream channel » *Transactions of the American Fisheries Society*, 117 : 22-28.
- Teglio E., 1905, « Le sesse del lago de Garda » *R. Acc. Dei Lincei*, 14(2). Cité par Halbfass, 1923.
- Terada T., 1906, « Notes on seiches » *Proceedings of the Tokyo mathematical-physical Society*, 3 : 174-181. Cité par Hutchinson, 1957.
- Testard P., 1995, « Eléments de convergence entre systèmes stagnants et courants » in Pourriot M. & Meybeck M., *Limnologie Générale*. Paris, Masson, 956 p. : 841-848.
- Tetzlaff G., 1979, « The daily cycle of the water temperature of a shallow lake » in Graf W.H. & Mortimer C.H., Ed, *Hydrodynamics of lakes*. Amsterdam, Elsevier, col. "Developements in Water Science", Proceedings of a symposium 12-13 october 1978, Lausanne, Switzerland, 360 p. : 325-330.
- Theurer F.D., Voos K.A. & Prewitt C.G., 1982, « Application if IFG's instream water temperature model in the Upper Colorado River » *American Water Resources Association, International Symposium on Hydrometeorology* : 287-299. Cité par Lebreton, 1995.
- Thienemann A., 1925, « Der See » in *Die Binnengewässer Mitteleuropas*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 255 p. : 84-211.
- Thijssse J.T., 1952, « Growth of wind-generated waves and energy transfer » *Circ. US Bur. Stand.* 521 : 281-287. Cité par Hutchinson, 1957.
- Thomas E.A., 1950, « Auffällige biologische Folgen von Sprungschichtneigungen im Zürichsee durch Sturm » *Schweizerische Zeitschrift der Hydrologie*, Basel, 12 : 1-24.
- Thompson R.O. & Imberger J., 1980, « Response of a numerical model of a stratified lake to wind stress » in *Stratified flows*. Proceedings of the second International Symposium of Trondheim, vol. 1 : 562-570, cité par Imberger, 1985.
- Thorpe S.A., 1969, « Experiments on the stability of stratified shear flows » *Radio Science, American Geophysical Union*, 4 : 1327-1332.
- Thorpe S.A., 1971, « Asymetry of the internal seiche in Loch Ness » *Nature*, 231 : 306-308.
- Thorpe S.A., 1972, « Internal seiche in Loch Ness » *Nature*, 237 : 96-98.
- Thorpe S.A., 1974, « Near-resonant forcing in a shallow two-layer fluid : a model for the internal surge in Loch Ness » *Journal of Fluid Mechanics*, 142 : 151-170.
- Thorpe S.A., 1984, « The effect of Langmuir circulation on the distribution of submerged bubbles caused by breaking waves » *Journal of Fluid Mechanics*, 63 : 509-527.
- Thorpe S.A., 1998, « Some dynamical effects of internal waves and the sloping sides of lakes » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 441-460.
- Thorpe S.A. & Hall A.J., 1982, « Observations of the thermal structure of Langmuir circulations » *Journal of Fluid Mechanics*, 114 : 237-250.
- Thoulet J., 1894, « Contribution à l'étude des lacs des Vosges » *La Géographie, Bulletin de la Société de Géographie de Paris*, 15 : 557-604.
- Thybaud L., 1997, *Le barrage de Lavaud, étude géomorphologique et hydrologique*. Univ. Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 85 p.
- Thybaud L., 1998, *Le barrage de Lavaud, étude de la stratification thermique et de l'influence de la retenue sur les eaux du fleuve Charente*. Univ. Limoges, mémoire de DEA de géographie, 73 p.
- Tiercelin J.-J. & Mondeguer A., 1991, « The Geology of the Tanganyika Trough » in Coulter G.W., Ed, *Lake Tanganyika and its Life*. London, Natural History Museum Publications, Oxford, Oxford University Press, 354 p. : 7-48.
- Tilzer M.M. & Serruya C., Ed, 1990, *Large lakes: ecological structure and function*. Berlin, Springer, 691 p.
- Timms B.V., 1992, *Lake Geomorphology*. Adelaide, Gleneagles, 180 p.
- Tiselius D., 1722, *Utförlig Beskrifning ofver Den store Swea och Giotia Sjön Wättern*. Cité par Hutchinson, 1957.
- Tolland H.G., 1977, *Destratification / aeration in reservoirs*. Medmenham, Water Research Centre, England, Technical Report 50, 37 p.
- Tolmazin D., 1985, 1992, *Elements of dynamic oceanography*. London, Chapman & Hall, 181 p.

- Tonolli V., 1960, « Disuniformità spaziale delle vicende termiche nel Lago Maggiore » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 12 : 81-120.
- Tonolli V., 1961, « The distribution of temperature and plankton along the axis of a large lake (Lago Maggiore) » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 14 : 920-926.
- Touchart L., 1987, *Transferts de nutriments associés aux sédiments à l'interface bassin-versant – lac en fonction des conditions géomorphologiques et hydrodynamiques*. Univ. Paris IV Sorbonne, maîtrise de géographie, 138 p.
- Touchart L., 1992a, « 1992, l'année François-Alphonse Forel » *Annales de Géographie*, 101(565) : 319-321.
- Touchart L., 1992b, « Limnologie et géographie des lacs en 1992 » *Annales de Géographie*, 101(565) : 331-335.
- Touchart L., 1993, « La machine lacustre : l'exemple du Léman » *Annales de Géographie*, 102(573) : 449-471.
- Touchart L., 1994a, *Le Baïkal et le Léman, géographie et histoire de la géographie de deux lacs*. Univ. Paris IV Sorbonne, thèse de doctorat en géographie, 337 p.
- Touchart L., 1994b, « La limnologie russe » *Annales de Géographie*, 103(580) : 651-654.
- Touchart, 1995, « La pollution du Baïkal » *Norois*, 42(167) : 465-478.
- Touchart L., 1995b « L'histoire de la limnologie, l'exemple de deux lacs, le Baïkal et le Léman » in Barraqué B., Bley D., Boëtsch G., Masali M. & Rabino Masso E., dir., *L'Homme et le Lac, usages et représentations de l'espace lacustre*. VI e journées de la Société d'Ecologie Humaine, 13-15 juin 1994, Cadenabbia-Griante (Côme, Italie), 192 p. : 23-28.
- Touchart L., 1995c, « Irkoutsk » *L'Information Géographique*, 59(4) : 133-142.
- Touchart L., 1996a, « Les lacs dans le cycle anthropique de l'eau : essai de typologie » *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 73(2) : 108-118.
- Touchart L., 1996b, « Le Koussougl, un 'Atlantique' lacustre » *Norois*, 43(170) : 323-337.
- Touchart L., 1996c, « Le Baïkal » *Annales de Géographie*, 105(589) : 235-256.
- Touchart L., 1998, *Le Lac Baïkal*. Paris, L'Harmattan, 240 p.
- Touchart L., 1999a, « Qu'est-ce qu'un lac ? », « Les lacs et leurs bassins : des relations inégales », « La cuvette lacustre », « L'eau des lacs » & « La vie des lacs » in Gautier E. & Touchart L. *Fleuves et lacs*. Paris, A. Colin, col. « Synthèse », 96 p. : 8-10, 13-15, 16-29, 30-41 & 42-53.
- Touchart L., 1999b, « Le Léman et la géographie physique, de la carte manuelle au traitement informatique » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p. : 27-40.
- Touchart L., 1999c, « L'Angara » *Acta Geographica*, 171(119-1494) : 5-20.
- Touchart L., 1999d, « La variabilité temporelle des températures de l'eau : l'exemple d'un étang limousin » *Bulletin de la Société linnéenne de Bordeaux*, 27, fascicule spécial « Variabilités temporelles au sein des hydrosystèmes », 4^e Congrès International Limnologie-Océanographie, Université de Bordeaux 1, 7-10 septembre 1999, 211 p. : 188.
- Touchart L., 1999 e, « La température de l'eau en Limousin » *Norois*, 46(183) : 441-451.
- Touchart L., 2000a, *Les lacs, origine et morphologie*. Limoges, L'Harmattan, 210 p.
- Touchart L., 2000b, « Qu'est-ce qu'un lac ? » *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 77(4) : 313-322.
- Touchart L., 2000c, « Le processus de stratification / déstratification en étang par des mesures thermiques en continu » *Annales scientifiques de l'Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand* 2, 108(40), « 6^e Conférence Internationale des Limnologues d'expression française », Cilef 2000, Clermont-Ferrand, 17-21 juillet 2000, 184 p. : 65.
- Touchart L., 2001a, « Der tägliche und jahreszeitliche Einfluss kleiner Wasserflächen auf die Temperatur von Wasserläufen am Beispiel des Sees Theil im Limousin » *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 45(5) : 201-207.
- Touchart L., 2001b, *De la température de l'eau à la géographie des lacs*. Univ. Limoges, Thèse d'HDR en géographie, 480 p.
- Touchart L., 2002, « La température de l'eau en Limousin : études d'effet et aménagement du territoire » *Actes du colloque Hydrosystèmes, paysages, territoires*. Lille, 6-8 septembre 2001, Université des Sciences et Technologies de Lille, 68 p. + 1 CD : 33-34 + CD.
- Touchart L. & Ishiguro N., 1999, « Les lacs japonais » *Annales de Géographie*, 108(606) : 115-133.
- Touchart L., Maleval V., Savy B., Ishiguro N., Graffouillère M., Papon P., Bartout P., Nion G. & Bouny J., 2002, « Le PERE (Plan d'Eau de Recherche Expérimental) en géographie limnologique : une approche novatrice appliquée à l'étude des réseaux trophiques aquatiques » Paris, Institut Océanographique, 5^e Congrès International de Limnologie-Océanographie, 9-12 septembre 2002, 1 poster.
- Touchart L. & Torgachova E., 1998, « Khabarovsk » *L'Information Géographique*, 62(2) : 75-84.
- Trewartha G.T., 1968, *An Introduction to Climate*. New York, McGraw Hill, 5^e ed., 408 p.
- Troll C., 1943, « Thermische Klimattypen der Erde » *Petermann's Geographische Mitteilungen*, 3-4 : 81-89.
- Trotignon J., 2000, *Des étangs pour la vie, améliorer la gestion des étangs*. Montpellier, L'Atelier Technique des Espaces Naturels, Cahiers techniques n° 61, 70 p.
- Truesdale G.A., Downing A.L. & Lowden G.F., 1955, « The solubility of oxygen in pure water and sea-water » *Journal of Applied Chemistry*, 5 : 53-62.
- Ule W., 1892, « Die Bestimmung der Wasserfarbe in den Seen » *Dr A. Petermanns Mitteilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt herausgegeben von Prof. Dr. A. Supan*, 38 : 70-71.
- Valentin S., 1997, *Effets écologiques des éclusées en rivière*. Antony, Cemagref, collection « Etudes », série « Gestion des milieux aquatiques », n° 13, 79 p.
- Vallée L.-L., 1843, *Du Rhône et du lac de Genève ou des grands travaux à exécuter pour la navigation du Léman à la mer*. Paris, L. Mathias, 305 p.
- Vanney J.-R., 1978, « Lac et limnologie » *Encyclopédie Larousse*. Paris, vol. 11 : 6893-6897.
- Vanney J.-R., 1991, « Introduction à la géographie de l'océan » *Oceanis*, 17(1-2) : 1-214.
- Vanney J.-R., 1993, *Le mystère des abysses*. Paris, Fayard, col. « Le temps des sciences », 522 p.
- Vannote R.L., 1980, « Thermal heterogeneity of river systems » *The American Naturalist*, 115 : 667-695.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E., 1980, « The river continuum concept » *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 37 : 130-137.
- Vaucher J.-P.-E., 1833, « Mémoires sur les seiches du lac de Genève, composé de 1803 à 1804 » *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève*, 6 : 35-95.
- Vercelli F., 1915, « Le sesse nel Verbano » *R. Ist. Lombardo sc. Litt.*, Milano, 18. Cité par Halbfass, 1923.
- Vereščagin G.Ü., 1937, « Etudes du lac Baïkal, quelques problèmes limnologiques » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 8 : 189-207.
- Vernet J.-P., 1991, « Editorial » in Vernet J.-P., Ed, *Hommage à F.-A. Forel*. Morges, 3^e Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française, 303 p. : 1-3.

- Vernex J.-C., 1999, « L'imaginaire lacustre : la spécificité lémanique dans le cadre des lacs alpins » in Bertola C., Goumand C. & Rubin J.-F., Ed., *Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel*. Actes du colloque pluridisciplinaire, Nyon, Musée du Léman, 16-18 septembre 1998. Genève, Slatkine, 922 p. : 789-797.
- Vérynaud G., 1981, *Le Limousin : la nature et les hommes*. Limoges, CRDP, Cahiers Documentaires n° 12-13, 207 p.
- Veyret Y. & Pech P., 1997, *L'homme et l'environnement*. Paris, PUF, col. « Premier Cycle », 2° éd., 424 p.
- Vial R., 1976, *Etude géologique et hydrogéologique de la région de Thonon-Douvaine (Hte-Savoie)*. Univ. Grenoble, thèse de doctorat, 169 p.
- Viard R., 1984, *La maîtrise de l'eau dans les monts de Blond*. Université de Limoges, mémoire de maîtrise en géographie, 65 p.
- Viers G. & Vigneau J.-P., 1990, *Eléments de climatologie*. Paris, Nathan, col. « Fac., géographie », 224 p.
- Vivian H., 1994, « L'hydrologie artificialisée de l'Isère en amont de Grenoble, essai de quantification des impacts des aménagements » *Revue de Géographie Alpine*, 82(2) : 97-112.
- Vivier P., 1945, « Louis Kreitmann (1884-1939) » *Annales de la Station Centrale d'Hydrobiologie Appliquée*, 1 : 7-21.
- Vivier P., 1961, « Les lacs de barrage artificiels du Massif Central français » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 14 : 625-632.
- Vivier P., 1965, « L'autoépuration dans les réservoirs (Massif Central français) » *Bulletin français de Pisciculture*, 217 : 117-130.
- Vladić T., 2001, « The effect of water temperature on sperm motility of adult male and precocious male parr of Atlantic salmon and brown trout » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(2) : 1070-1074.
- Vojeikov A.I., 1903, « Les lacs de type polaire et les conditions de leur existence » *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 16 : 300-309.
- Volker A., 1949, « Bilan d'eau du lac IJssel » *Association Int. Hydrol. Sci., I, Travaux de la Commission de Potamologie et de Limnologie* : 320-326. Cité par Hutchinson, 1957.
- Vollenweider R.A., 1956, « L'influenza della torbidità provocata dalle acque di piena nel bacino di Pallanza (Lago Maggiore) » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 9 : 85-111.
- Vollenweider R.A., 1964, « Über oligomiktische Verhältnisse des Lago Maggiore und einiger anderer insubrischer Seen » *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 17 : 191-206.
- Walker J.H. & Lawson J.D., 1977, « Natural stream temperature variations in a catchment » *Water Research*, 11 : 373-377.
- Walker K.F. & Likens G.E., 1975, « Meromixis and a reconsidered typology of lake circulation patterns » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 19 : 442-458.
- Walser E., Pedrolí R. & Mercanton P.-L., 1954, *Les dénivellations du lac Léman, recherches exécutées de 1949 à 1951*. Berne, Département Fédéral des Postes et des Chemins de Fer, Communications du Service Fédéral des Eaux n° 40, 103 p.
- Ward J.C., 1963, « Annual variation of stream water temperature » *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89(SA6) : 3710-3732.
- Ward J.V., 1974, « A temperature-stressed stream ecosystem below a hypolimnial release mountain reservoir » *Archiv für Hydrobiologie*, 74(2), 247-275.
- Ward J.V., 1985, « Thermal characteristics of running waters » *Hydrobiologia*, 125 : 31-46.
- Ward J.V. & Stanford J.A., 1979, « Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis on thermal modification of regulated streams » in Ward J.V. & Stanford J.A., Ed, *The ecology of regulated streams*. New York, Plenum Press, 357 p. : 35-55.
- Warren H.E. & Whipple G.C., 1895, « The thermophone, a new instrument for determining temperature » *Technology Quarterly*, 8(2) : 125-152.
- Wasmund E., 1927, « Die Strömungen in Bodensee, verglichen mit bisher in Binnenseen bekannten Strömungen » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 18 : 84-114 & 231-260.
- Wasmund E., 1928, « Die Strömungen in Bodensee, verglichen mit bisher in Binnenseen bekannten Strömungen » *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 19 : 21-155.
- Watanabe M., Horiuchi S. & Ambe Y., 2000, « Sudden changes of thermal stratification in a meromictic lake, Lake Kaiike, Japan » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 27(1) : 261-264.
- Watson E.R., 1904, « Movements of the waters of Loch Ness as indicated by temperature observations » *The Geographical Journal*, 24 : 430-437.
- Webb B.W. & Walling D.E., 1985, « Temporal variation of river water temperatures in a Devon river system » *Hydrological Sciences Journal*, 30 : 449-464.
- Webb B.W. & Walling D.E., 1988, « Modification of temperature behaviour through regulation of a british river system » *Regulated Rivers : Research and Management*, 2 : 103-116.
- Webb B.W., Walling D.E., Zhang Y., Clark E., 1996, « Water temperature behaviour in South-West England » in Mérot P. & Jigorel A., Ed, *Hydrologie dans les pays celtiques*. Actes du 1^{er} colloque interceltique d'Hydrologie et de gestion des eaux, Rennes, 8-11 juillet 1996, Paris, INRA, col. « Les colloques » n°79, 470 p. : 53-64.
- Webb B.W. & Walling D.E., 1996, « Long-term variability in the thermal impact of river impoundment and regulation » *Applied Geography*, 16(3) : 211-223.
- Webb B.W. & Walling D.E., 1997, « Complex summer water temperature behavior below a UK regulating reservoir » *Regulated Rivers : Research and Management*, 13(5) : 463-477.
- Wedderburn E.M., 1907a, « The temperature of fresh-water lochs of Scotland, with special reference to Loch Ness » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 45 : 407-489.
- Wedderburn E.M., 1907b, « An experimental investigation for the temperature changes occurring in fresh-water lochs » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 28 : 2-20.
- Wedderburn E.M., 1909, « Temperature observations in Loch Garry (Invernessshire) with notes on currents and seiches » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 29 : 98-135.
- Wedderburn E.M., 1910, « Current observations in Loch Garry » *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 30 : 312-323.
- Wedderburn E.M., 1911, « The temperature seiche. I. II. III. » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 47 : 619-636.
- Wedderburn E.M., 1912, « Temperature observations in Loch earn, with a further contribution to the hydrodynamical theory of the temperature seiche » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 48 : 629-695.
- Wedderburn E.M. & Williams A.M., 1911, « The temperature seiche. IV. » *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 47 : 636-642.
- Weisberg S.B., Janicki A.J., Gerritsen J. & Wilson H.T., 1990, « Enhancement of benthic macroinvertebrates by minimum flow from a hydroelectric dam » *Regulated Rivers : Research and Management*, 5 : 265-277.
- Weiss R.F., Carmack E.C. & Koropalov V.M., 1991, « Deep-water renewal and biological production in Lake Baikal » *Nature*, 349(21 february): 665-669.
- Welander P., 1963, « On the generation of wind streaks on the sea surface by action of a surface film » *Tellus*, 15 : 67-71.
- Welch P.S., 1948, *Limnological Methods*. Philadelphia, The Blakiston Company, 381 p.
- Welch P.S., 1952, *Limnology*. New York, McGraw-Hill Book Company, 2nd ed., 538 p.

- Weller R.A. & Price J.F., 1988, « Langmuir circulation within the oceanic mixed layer » *Deep Sea Research*, 35 : 711-747.
- Wetzel R.G., 1983, *Limnology*. Fort Worth, Saunders College Publishing, 2nd ed., 767 p. + R.
- Wetzel R.G. & Likens G.E., 1979, *Limnological analyses*. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 357 p.
- Whipple G.C., 1898, « Classifications of lakes according to temperature » *The American Naturalist*, 32 : 25-33.
- Whittlesey G.-H., 1874, « Sudden fluctuations of level in quiet waters » *Proceedings of the Hartford meeting's*, August : 139-. Cité par Forel, 1895, p. 52.
- Wiegand R.C. & Chamberlain V., 1987, « Internal waves of the second vertical mode in a stratified lake » *Limnology and Oceanography*, 32 : 29-42.
- Wilhelm F., 1960, « Seen als geographisches Forschungsobjekt » *Berichte zur deutschen Landeskunde*, 25(2) : 305-321.
- Wilkinson D.L., 1979, « Two-dimensional bubble plumes » *Journal of Hydraulic Division of the American Society of Civil Engineers*, 105 : 305-321.
- Williams O.O., 1968, « Reservoir effect on downstream water temperatures in the upper Delaware river basin » *United States Geological Survey professional Paper*, 600B : 195-199.
- Winter T.C., 1995, « Hydrological processes and the water budget of lakes » in Lerman A., Imboden D. & Gat J., Ed., *Physics and Chemistry of Lakes*. Berlin, Springer, 334 p. : 37-62.
- Wiszniewski J., 1953, « Uwagi w sprawie typologii jezior Polskich » *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 1(14) : 11-23.
- Woeikof A., 1906, « Questions de limnologie physique » *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 21 : 392.
- Woeikov A., 1906, « Les accumulations positives et négatives d'eau par les sources, les lacs, les neiges et les glaces » *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 21 : 495.
- Wright J.-C., 1967, « Effect of impoundments on productivity, water chemistry and heat budgets of rivers » in Lanes C.E., Ed, *Reservoir fishery Research Symposium*, Washington, American Fishery Society : 188-199.
- Wunderlich W.O., 1971, « The dynamics of density-stratified reservoirs » in Hall G.E., Ed, *Reservoirs fisheries and Limnology*. Washington D.C, American Fishery Society, Special Publication n° 8 : 219-231.
- Wundt W., 1967, « Der Temperaturgang an mitteleuropäischen Flüssen » *Petermanns Geographischen Mitteilungen*, 111: 81-88.
- Wurtz A., 1958, « Peut-on concevoir la typification des étangs sur les mêmes bases que celle des lacs ? » *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 13 : 381-393.
- Yoshida S., Ohtani M., Nishida S. & Linden P.F., 1998, « Mixing processes in a highly stratified river » in Imberger J., Ed, *Physical processes in lakes and oceans*. Washington DC, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies n° 54, 668 p. : 389-400.
- Yoshimura S., 1936a, « A contribution to the knowledge of deep water temperatures of Japanese lakes. Part I. Summer temperatures » *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, 13 : 61-120.
- Yoshimura S., 1936b, « A contribution to the knowledge of deep water temperatures of Japanese lakes. Part II. Winter temperatures » *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, 14 : 57-83.
- Yoshimura S., 1937a, « Abnormal thermal stratifications in inland lakes » *Proceedings of the Imperial Academy of Japan*, 13 : 316-319.
- Yoshimura S., 1937b, 2^e ed. 1976, *Koshogaku*. Sanseido Co, 426 p.
- Yoshimura S. & Miyadi D., 1936, « Limnological observations of two crater lakes of Miyake Island, Western North Pacific » *Japanese Journal of Geology and Geography*, 13 : 339-352.
- Yoshimura S., Negoro K. & Yamamoto S., 1936, « Bandai-goshikinuma no koshogaku-teki yosatsu kenkyu » *Chirigaku Hyoron*, 12 : 1-17 & 126-153.
- Young R.K., 1929, « Tides and seiches on Lake Huron » *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 23 : 445-455.
- Yuretic R.F., 1969, « Modern sediments in Lake Rudolph, Kenya » *Sedimentology*, 26 : 313-331.
- Zhitenjowa T.S. & Nikanorow J.I., 1972, « Der Einfluss des vom Konakowschen Wärmekraftwerk abfließenden Warmwassers auf die biologischen Prozesse im Iwanjkowo Stausee » *Verhandlungen internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 18 : 833-836.
- Zilinkevich S.S. & Malm J.G.B., 1993, « A theoretical model of thermal bar movement in a circular lake » *Nordic Hydrology*, 24 : 13-30.
- Zinn D.J. & Ifft D., 1941, « A new limnophotometer with a special adaptation for the measurement of the penetration of light through ice under natural conditions » *Ecology*, 22 : 209-211.
- Zryd A., 2001, *Les glaciers*. Saint-Maurice, Pillet, 325 p.
- Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Фортунатов М.А., Шарапов В.А., 1980, « Водохранилища мира и их типизация » *Известия всесоюзного Географического Общества*, 112(4) : 301-307.
- Академия Наук Киргизской ССР, Тянь-Шаньская физико-географическая станция, Отв. Ред. Королев В.Г., 1978, *Озеро Иссык-Куль (очерки по физической географии)*. Фрунзе, Илим, 211 с.
- Академия наук СССР, Сибирское Отделение, Институт Географии Сибири и Дальнего Востока, 1967, *Атлас Забайкалья*. Москва, Иркутск, Главное Управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 176 с.
- Академия наук СССР, Институт Водны Проблем, Отв. Ред. Воропаев Г.В. и Вендров С.Л., 1979, *Водохранилища мира*. Москва, Наука, 288 с.
- Афанасьев А.Н., 1960, « Водный баланс оз. Байкал » *Труды Лимнологического Института*, 18 : 155-241.
- Афанасьев А.Н., 1967, Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. Москва, Наука, 231 с.
- Афанасьев А.Н., 1976, *Водные ресурсы и водный баланс бассейна озера Байкал*. Новосибирск, Наука, Труды Лимнологического Института, 25(45), 240 с.
- Базикалова А.Я., 1945, « Амфиподы озера Байкал » *Труды Байкальской лимнологической Станции*, 11.
- Берг Л.С., 1908, « Аральское Море » *Записки Туркестанского отдела Русского Географического Общества*. 5 т., 580 с.
- Боткин А.С., 1900, *Материалы для изучения озера Байкал. Очерк работ по исследованиям физических свойств Байкала зимой 1898-1899 гг. и естественно-исторические изыскания за 1897, 1898 и 1899 гг.* Петербург, 27 с.
- Бовыкин И.В., Румянцев В.А., 1993, « Основные теоретические проблемы классификации в лимнологии » *Российская Академия Наук*, Отв. Ред. Смирнова Н.П., 1993, *Теоретические вопросы классификации озёр*. Санкт-Петербург, Наука, 186 с. : 15-23.
- Верещагин Г.Ю., 1925, « Сравнительно-лимнологическое изучение озёр как очередная задача русской лимнологии » *Труды Первого Всероссийского гидрологического съезда*. Ленинград : 171-173.
- Верещагин Г.Ю., 1927, « Некоторые данные о режиме глубинных вод Байкала в районе Маритуты » *Труды комиссии по изучению озера Байкала*, 2 : 77-138.
- Верещагин Г.Ю., 1949, *Байкал*. Москва, Географиз, 278 с.
- Воейков А.И., 1899, « Температура и облачность на берегу Байкала и сосенных высотах » *Метеорологический Вестник*, 11 : 363-364.
- Воробьев В.В., 1986, « Национальный парк на Байкале » *География и природные ресурсы*, 4 : 31-34.
- Воробьев В.В., 1988, « Проблема Байкала на современном этапе » *География и природные ресурсы*, 3 : 3-14.

- Воробьев В.В., Мартинов А.В., 1988, « Охраняемые территории бассейна озера Байкал » *География и природные ресурсы*, 2 : 31-39.
- Воронин Ю.А., 1985, *Теория классифицирования и её приложение*. Новосибирск, Наука, 232 с.
- Вотинцев К.К., 1961, *Гидрохимия оз. Байкал*. Москва, Академия наук СССР, Сибирское Отделение, Восточно-сибирский Филиал, Труды Байкальской Лимнологической Станции Н20, 312 с.
- Галазий Г.И., 1988, *Байкал в вопросах и ответах*. Москва, Мысль, 288 с.
- Географический Факультет Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова и Восточно- сибирский Филиал сибирского Отделения Академии наук СССР, 1962, *Атлас Иркутской Области*. Москва, Иркутск, Главное Управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 182 с.
- Герцекевич Д.А., Ситникова Г.Б. 1985, « Математические модели расчета темпа становления ледяного покрова озера Байкал » *Третья конференция молодых ученых Иркутского Университета : тезисы докладов*. Иркутск, 47.
- Горкин А.П., Ред., 1998, « Саяно-шуйшенское водохранилище » // *География России*. Москва, Научное Издательство, 800 с. : 519.
- Государственный комитет СССР по народному образованию, 1989, *Атлас озера Хубсугул*. Москва, Главное Управление Геодезии и Картографии при совете министров СССР, 120 с.
- Грезе В.Н., 1947, « Таймырское озеро » *Известия Всесоюзного Географического Общества*, 79(3) 289-302.
- Доронина Н.А., Сиско Р.К., 1970, « Реки, озёра, болота » // Сиско Р.К., Ред., *Таймыро-североземельская область (физико-географическая характеристика)*. Ленинград, Гидрометеорологическое Изд., 374 с. : 238-264.
- Дриженко Ф.К., 1908, *Лоция и физико-географический очерк озера Байкал*. Санкт-Петербург, Главное Гидрографическое Управление, 443 с.
- Дыбовский Б.И., Годлевский В., 1897, « Физико-географические исследования на Байкале в 1869-1876 гг. » *Труды Восточно-сибирского Отдела Русского Географического Общества*, 1(1) : 1-62.
- Егоров А.Н., Науменко М.А., 1985, « Термический и гидрологический режим оз. Таймыр » // Адаменко В.Н., Егоров А.Н., Отв. Ред., *География озёр Таймыра*. Ленинград, Наука, 221 с. : 32-49.
- Золотарев А.Г., Мангазеев В.Я., Демин А.А., 1989, « Геоморфологическое строение дна озера » // Государственный комитет СССР по народному образованию, 1989, *Атлас озера Хубсугул*. Москва, Главное Управление Геодезии и Картографии при совете министров СССР, 120 с. Иметхенов А.Б., 1991, *Памятники природы Байкала*. Новосибирск, Наука, 158 с. : 65, 112.
- Карабанов Е.Б., Фялков В.А., 1987, Подводные каньоны Байкала. *Podvodnye kan'ony Bajkala*. Новосибирск, Наука, 104 с.
- Кириллова Т.В., 1970, *Радиационный баланс озёр и водохранилищ*. Ленинград, Гидрометеоздат, 254 с.
- Китаев С.П., 1978, « Термические классификации озёр мира » *Водные Ресурсы*, 1 : 97-103.
- Китаев С.П., 1984, *Экологические основы биопродуктивности озёр разных природных зон*. Москва, Наука, 207 с.
- Колотило Ф.К., 1997, *Фёдор Кириллович Дриженко*. Санкт-Петербург, Наука, 128 с.
- Куделин В.М. Гречищев Е.К., Зубаренкова Г.Г., Рыбак О.Л., Васянович В.И., 1996, « Создание искусственных прибрежных территорий на озере Байкал » *География и природные ресурсы*, 2 : 70-74.
- Куимова Л.Н., 1980, « Долгосрочный прогноз вскрытия ледового покрова оз. Байкал на основе метода разложения на естественные составляющие » // *Информационная основа прогнозов природных процессов*. Новосибирск : 80-92.
- Куимова Л.Н., 1985, « Прогнозирование замерзания ледового покрова на Байкале » // *Круговорот вещества и энергии в водоёмах : материалы к шестому Всесоюзному лимнологическому совещанию*. Иркутск, 4-6 сент. 1985 : 34-35.
- Ладохин Н.П., 1959, « Новые данные повторной нивелировки засечек Черского на берегах Байкала (к изучению явлений современной тектонической активности берегов озера) » *Труды Института Восточной Сибири Геологии*, Иркутск, 2 : 119-128.
- Ламакин В.В., 1952, *Ущелья острова и проблема происхождения Байкала*. Москва, Географиз, 198 с.
- Ламакин В.В., 1953, « Засечки Черского на берегах Байкала » *Известия всесоюзного Географического Общества*, 85(5) : 507-532.
- Ламакин В.В., 1959, « О сохранности и геологическом значении Байкальских засечек Черского » *Труды Института истории, естествознания и техники* : 178-190.
- Лесненко В.К., 1989, *Мир озёр*. Москва, Провещение, 158 с.
- Литинский Ю.Б., 1962, « Генетические типы озёрных котловин Карельского региона » // *Труды 7-ой научной конференции по изучению внутренних водоёмов Прибалтики*, Петрозаводск, 1959 г. Москва, Изд. АН СССР.
- Лут Б.Ф., 1964, « Геоморфология дна Байкала » // *Геоморфология дна Байкала и его берегов*. Москва, Наука : 5-123.
- Лут Б.Ф., 1978, *Геоморфология Прибайкалья и впадины озера Байкал*. Новосибирск, Наука, 218 с.
- Мац В.Д., Леви К.Г., 1991, *Кайнозой Байкальской впадины (обзор изученности)*. Иркутск, Государственный комитет РСФСР по делам науки и высшей школы, Иркутский политехнический Институт, 156 с.
- Михеев В.С., 1993, « Ландшафтно-структурный анализ » // Российская Академия Наук, Сибирское Отделение, Институт Географии, *Человек у Байкала : экологический анализ среды обитания*. Новосибирск, Наука, 141 с. : 8-39.
- Орлова Т.Б., 1978, « Термический режим », Академия Наук Киргизской ССР, Тянь-Шаньская физико-географическая станция, Отв. Ред. Королев В.Г., 1978, *Озеро Иссык-Куль (очерки по физической географии)*. Фрунзе, Илим, 211 с.
- Осадчий С.С., 1995, « Следы максимальной трансгрессии Байкала » *География и Природные Ресурсы*, 1 : 179-189.
- Осипенко В.В., 1980, « Прогнозирование даты замерзания озера Байкал по гармоническому алгоритму МГУА » // *Самоорганизация кибернетических систем*. Киев : 34-39.
- Осмоловская Е.В., 1964, « Оценка теплого притока и стока из Байкала » // Галазий Г.И., Ред., *Элементы гидрометеорологического режима озера Байкал*. Москва, Наука, 193 с. : 139-161.
- Раткович Д.Я., Кукса Д.И., Иванова Л.В., 1987, « Проблемы крупных внутренних водоёмов зоны недостаточного увлажнения » *Водные Ресурсы*, 6 : 38-53.
- Рогозин А.А., 1971, « Применение стереофотограмметрии для изучения береговых процессов и ветрового волнения на водоёмах » Академия Наук СССР, Сибирское Отделение, Институт Земной Коры, *Гидрогеодинамические процессы в бассейне Байкала и Ангары и методы их исследования*. Москва, Наука, 104 с. : 27-85.
- Рогозин А.А., 1993, *Береговая зона Байкала и Хубсугул*. Новосибирск, Наука, 168 с.
- Российская Академия Наук, Отв. Ред. Хаин В.Е., Мессаковский А.А., 1995, *Лев Павлович Зоненшайн*. Москва, Наука, 332 с.
- Российская Академия Наук, Отв. Ред. Смирнова Н.П., 1993, *Теоретические вопросы классификации озёр*. Санкт-Петербург, Наука, 186 с.
- Россолимо Л.Л., 1957, *Температурный режим озера Байкал*. Москва, Академия наук СССР, Труды Байкальской лимнологической Станции, 16, 551 с.
- Россолимо Л.Л., 1964, « Основы типизации озёр и лимнологического районирования » // Академия наук СССР, Институт Географии, *Накопление вещества в озёрах*. Москва, Наука, 195 с. : 5-46.
- Рябухин Г.Е., 1934, *Поиски нефти в Сибири*. Иркутск.
- Рязанов, В.Д., 1928, « Месторождение озокерита и нефти в Прибайкалье » *Материалы по геологии и полезных ископаемых Дальнего Востока*, 19 : 1-57.

- Смирнова Н.П., 1993, « Классификация озёр по температуре воды и элементам теплового баланса » // Российская Академия Наук, Отв. Ред. Смирнова Н.П., *Теоретические вопросы классификации озёр*. Санкт-Петербург, Наука, 186 с. : 35-51.
- Смирнова Н.П., Бовыкин И.В., Андроникова И.Н., 1990, « Основные типы задач Классификации в лимнологии » *География и Природные Ресурсы*, 4 : 156-160.
- Сокольников В.М., 1964, « Течения и водообмен в Байкале » // Галазий Г.И., Ред., *Элементы гидрометеорологического режима озера Байкал*. Москва, Наука, 193 с. : 5-21.
- Сокольников В.М., Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., 1973, « К вопросу о долгосрочном прогнозе элементом ледового режима озера Байкал » // *Теория и методы прогноза изменений географической среды : тезисы совещения географов Сибири и дальнего*. Иркутск : 158-159.
- Тихомиров А.И., 1961, « Термобар Ладожского озера » *Известия всесоюзного Географического Общества*, 95 : 134-142.
- Тихомиров А.И., 1968, « Классификация пресноводных озёр умеренной зоны по термическому режиму » // *VII сессия Ученого Совета по проблеме « Биологические ресурсы Белого Морья и внутренних водоёмов Карелии »*. Петрозаводск : 8.
- Тихомиров А.И., 1982, *Термика крупных озёр*. Ленинград, Наука, 232 с.
- Форш Л.Ф., рук., 1968, *Озёра различных ландшафтов Северо-Запада РСФСР*. Ленинград, Наука, I, 212 с.
- Форш Л.Ф., рук., 1969, *Озёра различных ландшафтов Северо-Запада РСФСР*. Ленинград, Наука, II, 302 с.
- Форш Л.Ф., рук., 1974, *Озёра различных ландшафтов Кольского полуострова*. Ленинград, Наука, I, 276 с., II, 236 с.
- Фролова Н., Широкова В., 2002, *Реки и озёра*. Москва, Слово, 48 с.
- Хейфец М.Н., 1978, « Волнения и сейши » // Академия Наук Киргизской ССР, Тянь-Шаньская физико-географическая станция, Отв. Ред. Королев В.Г., *Озеро Иссык-Куль (очерки по физической географии)*. Фрунзе, Илим, 211 с. : 138-144.
- Черкасов А.Е., Шумеев В.П., Батсук Н., 1972, « Гидрологический режим рек бассейна Хубсугула » // *Природные условия и ресурсы бассейна Прихубсугулья*. Иркутск : 74-86.
- Черкашин А.К., 1993, « Информационная среда и организация управления в Байкальском регионе » // Российская Академия Наук, Сибирское отделение, Институт географии, *Человек у Байкала : экологический анализ среды обитания*. Новосибирск, Наука, 141 с. : 8-39.
- Черский И.Д., 1886а, « Отчёт о геологическом исследовании береговой полосы озера Байкала, произведенном по поручению Восточно-Сибирского Отдела Имперского Русского Географического Общества » *Записки Восточно-Сибирского Отдела Русского Географического Общества*, 12 : 405-428.
- Черский И.Д., 1886б, « О результатах исследования озера Байкала » *Записки Русского Географического Общества*, 15(3) : 1-48.
- Черский И.Д., 1889, « О результатах исследования озера Байкала » *Материалы для геологии России*, 13 : 1-48.
- Шерстянкин П.П., 1964, « Динамика вод Селенгинского мелководья в начале лета по данным распределения оптических характеристик и температуры воды » // *Элементы гидрометеорологического режима озера Байкал*. Москва, Наука, 193 с. : 29-37.