

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 107 (1981)
Heft: 6

Artikel: Courants d'inertie dans le Léman
Autor: Bauer, Sebastian W. / Graf, Walter H. / Mortimer, Clifford H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74309>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Courants d'inertie dans le Léman

par Sebastian W. Bauer, Baden; Walter H. Graf, Lausanne;
Clifford H. Mortimer, Milwaukee (USA), et Claude Perrinjaquet, Lausanne

Dans cet article sont décrits les courants de circulation appelés courants d'inertie et mis ainsi en évidence pour la première fois dans le Léman. En accord avec la théorie classique appliquée à un océan de dimension horizontale infinie, et en négligeant l'influence de frottement, un courant horizontal est dévié, sous l'action de la force de Coriolis, en une trajectoire circulaire. Le cercle d'inertie complet, qui correspond à la période d'inertie, est parcouru toutes les 16 heures 30 minutes, sous la latitude du Léman. De tels courants d'inertie peuvent être observés assez régulièrement sur les océans et les grands lacs (Neumann et Pierson [14]¹, Mortimer [13]). Le fait — inconnu jusqu'à présent — que des courants circulaires puissent également se produire dans un «petit lac» de la taille du Léman est de la plus haute importance pour la connaissance générale des courants dans le Léman. Afin de prouver l'existence de ces courants d'inertie dans le Léman, la première des choses est de disposer de mesures adéquates.

Cela fait longtemps que des phénomènes hydrauliques du Léman ont été mesurés. Les premières mesures scientifiques ont été probablement entreprises par F. A. Forel [5], qui fit des mesures, continues et précises, des fluctuations du niveau du Léman².

Ses mesures lui ont permis de vérifier son explication physique des fameuses fluctuations périodiques du niveau du Léman (seiches) et de résoudre le problème des violents courants alternatifs dans le détroit d'Euripe, entre l'Eubée et la Béotie (Forel [4]), qui demeuraient une énigme depuis plus de 2300 ans. La première étude systématique des courants du Léman semble avoir été entreprise par Kreitmann [8] et Mercanton [9] qui, pendant un conflit entre pêcheurs suisses et français, observèrent la dérive de leurs filets afin de vérifier leurs allégations selon lesquelles les filets pouvaient traverser le lac en une nuit.

Les premières mesures à l'aide de courantomètres (Mertz-Strommesser) furent entreprises par Bétant et Perrenoud [3] dans le «Petit-Lac» afin d'obtenir une meilleure connaissance du lac au voisinage des stations de pompage de Genève. Leurs instruments mécaniques ne leur permirent cependant de mesurer que la fréquence du courant dans une direction donnée, et non des séquences chronologiques dans les changements de direction des courants. Dans le but d'étudier les dénivellations apériodiques du Léman, le Service hydrographique

suisse mit en place une série de limnigraphe sur une période d'une année environ (Service fédéral des eaux, 1954). Cette campagne de mesures donna certains renseignements sur les variations de niveau engendrées par le vent et permit à Mortimer ([10], [11], [12]) de montrer l'existence de grandes seiches internes dans le Léman. Pour cette étude Mortimer combina les mesures de températures faites aux stations de pompage de Genève avec les mesures de niveaux d'eau relevés par le Service fédéral des eaux. Pour étudier les courants de dérives littorales le long de la rive nord du Léman, Plauchu [15] utilisa des bouées immergées et des courantomètres électroniques.

Les données qui amenèrent à la découverte des courants d'inertie dans le Léman ont été obtenues, par le Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (LHY-DREP), lors d'une grande campagne de mesures, qui débuta en 1977. Durant cette campagne on mesura des paramètres tels que vitesse et direction du vent, vitesse et direction des courants, température de l'air et de l'eau, etc. On constate ainsi que le LHYDREP est le premier à utiliser des courantomètres électroniques très sophistiqués, permettant la mesure et l'enregistrement continu de différents paramètres sur de longues périodes [16], [6].

Remarques théoriques

La réponse caractéristique des couches supérieures de l'océan à un brusque coup de vent, sous forme de cercles horizontaux, est un phénomène bien connu. Le modèle mathématique le décrivant est celui des courants accélérés sans frottement où les mouvements verticaux et les forces dues au gradient de pression horizontal sont négligés. Un

En l'absence de toute accélération ou friction, une masse en mouvement continue sa course en ligne droite. Mais sur la terre ce mouvement se transforme en cercle, à cause de l'accélération de Coriolis, due à la rotation. Le temps nécessaire au parcours d'un tel cercle dépend de la latitude géographique. Pour le Léman, il est de 16 h. 30.

Dans cet article, on montre que ces courants de rotation, appelés courants d'inertie et bien connus des océanographes, existent également dans le Léman. Cette découverte est due à une vaste campagne de mesure sur le Léman effectuée par le Laboratoire d'hydraulique de l'EPFL.

coup de vent, agissant sur une masse d'eau, engendre un courant de vitesse c ; si le vent tombe, la masse poursuit par son inertie propre son mouvement à une vitesse constante c (en l'absence de frottement). En représentant le phénomène dans un système d'axes cartésiens, la seule force agissant sur la masse d'eau est celle due à la rotation de la terre, c'est-à-dire la force de Coriolis. Cette force, normale au vecteur courant, est égale au produit $f \cdot c$, où $f = 2 \Omega \sin \phi$, Ω étant la vitesse angulaire de rotation de la terre et ϕ la latitude géographique du lieu. Si u et v sont les composantes selon les axes x et y de la vitesse du courant (fig. 1) et si toutes les autres forces, y compris le frottement, sont négligées, les équations du mouvement s'écrivent simplement (voir Neumann et Pierson [14], p. 155):

$$\frac{du}{dt} = fv \text{ et } \frac{dv}{dt} = -fu \quad (1)$$

et ont pour solutions:

$$u = c \cdot \sin(ft) \text{ et } v = c \cdot \cos(ft) \quad (2)$$

Ces équations définissent un mouvement circulaire; le cercle d'inertie ainsi défini, de rayon:

$$r = \frac{c}{f} \quad (3)$$

est parcouru complètement (dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord) durant la période d'inertie:

$$T_i = \frac{\pi}{\Omega \sin \phi} = \frac{12}{\sin \phi} \text{ heures} \quad (4)$$

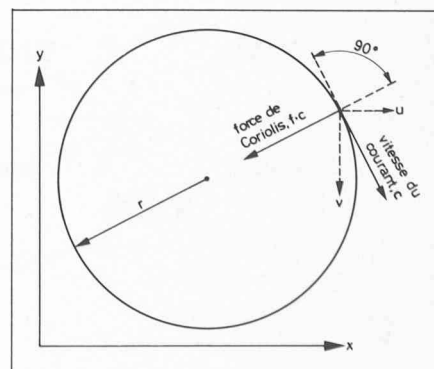


Fig. 1. — Courant d'inertie dans le plan horizontal (x, y). Les relations entre vitesse de courant (c, composantes u et v), force de Coriolis (f.c), et résultante circulaire (rayon r) sont données dans le texte.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

² Ces travaux d'avant-garde de F. A. Forel ont fait du Léman un objet classique d'étude pour les limnologues. C'est aussi F. A. Forel qui inventa le mot «limnologie» (défini comme l'océanographie des lacs), et c'est à la suite de ses travaux que le mot «seiche» — un nom indigène de la région lémanique — fut mondialement adopté par les océanographes et les limnologues.

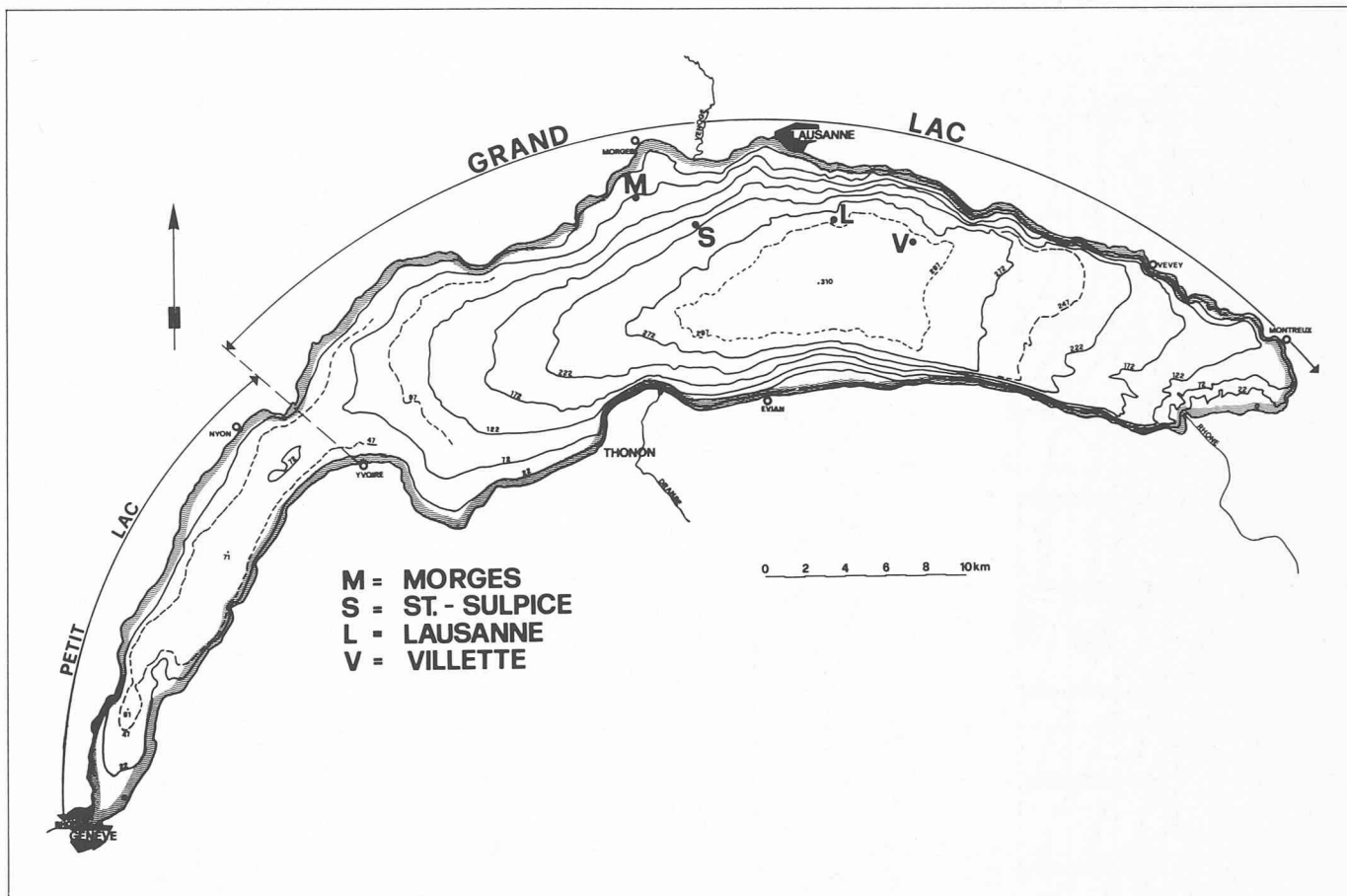


Fig. 4. — Positions des stations de mesure du LHYDREP sur le Léman (M = Morges, S = Saint-Sulpice, L = Lausanne, V = Villette) [6].

n'a enregistré aucune mesure de vitesse pendant cette période.

Les échelles verticales ont été choisies de telle manière que pour les températures chaque bande couvre une plage de 5 à 10 °C, pour les composantes de vitesse une plage de -10 à +10 cm/s, pour les valeurs absolues de vitesse du courant une plage de 0 à 10 cm/s et enfin pour les directions une plage de 0 à 360 °C; signalons que la direction du courant est celle vers laquelle le courant se dirige.

En examinant tout d'abord les deux composantes de la vitesse du courant à 5,6 m (2^e bande en partant du haut) on peut noter que 2 composantes (trait large = composante Est-Ouest, trait fin = composante Nord-Sud) ont leurs maxima à des intervalles assez réguliers, et que ceux de la composante Nord-Sud sont systématiquement en avance sur ceux de la composante Est-Ouest (voir en particulier la période du 22 au 27 mars). Ce phénomène est caractéristique d'un courant tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Le 21 mars, ce phénomène est quelque peu altéré et le 29 mars, la bise se mettant à souffler, transforme complètement la situation. En regardant les bandes suivantes on constate que plus on descend, plus les périodes de vitesse nulle augmentent — les courants induits étant toujours plus forts près de la surface. Dans les 5 bandes suivantes, correspondant aux valeurs absolues des vitesses du courant,

on trouve de nouveau quelques oscillations. Les deux augmentations brusques des intensités du courant les 24 et 29 mars sont dues à des coups de vent à la surface du lac. Comme nous l'avons déjà signalé, le bande vide correspond aux mesures inexistantes de la vitesse à 84,4 m (voir aussi la bande des composantes correspondantes). Le fait le plus frappant dans les 2 premières bandes de direction est la régularité dans les changements de direction, qui permettent de distinguer 14 passages par la direction Nord. Cette tendance à la rotation diminue progressivement avec les bandes subséquentes. A l'aide de cette figure, on peut mesurer l'intervalle séparant deux passages par le Nord (indiqués par des flèches). Cet intervalle vaut, à l'exception des intervalles D et A comme indiqué sur la figure 5, exactement 16,5 heures, soit la période d'inertie locale.

En cherchant une explication pour les modifications de durée dans les intervalles signalés par D et A, on constate que le 21 mars l'allure des composantes de vitesses de courant et leur valeur absolue ont quelque peu changé par rapport à celles des jours précédents. Cela signifie qu'une cause extérieure, probablement le vent, en a modifié l'aspect initial. On peut donc constater, sur l'intervalle D, une légère décélération du mouvement rotatif. Pour les 6 cycles suivants la période est de nouveau égale à 16,5 h. Il est particulièrement intéressant de noter dans ce cas que le coup de vent

du 24 mars n'a pas changé la périodicité du fort courant d'inertie résultant, prouvant que le coup de vent était en phase avec le courant. Le 27 mars on note à nouveau un certain changement dans l'aspect des composantes de vitesse. Cependant, nous assistons ici à une légère accélération des rotations durant 2 cycles indiqués par A, suivie encore de 2 cycles de période d'inertie standard. C'est le 29 mars que se produit le dernier passage par la direction Nord. Ce jour-là une forte bise commence à souffler sur le Léman, qui annule toute la rotation et engendre un courant général du Sud-Ouest plus ou moins constant.

Diagramme vectoriel en bâtons

Si nous dessinons des vecteurs à partir d'une (même) origine, se déplaçant sur un axe des temps, nous obtenons ce que l'on appelle un diagramme vectoriel en bâtons (fig. 6a). Un vecteur étant défini par son module (vitesse) et sa direction, il serait souhaitable de le représenter sur

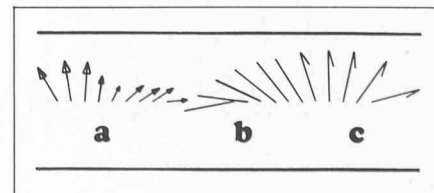


Fig. 6. — Diagramme vectoriel en bâtons schématisés (voir les explications dans le texte).

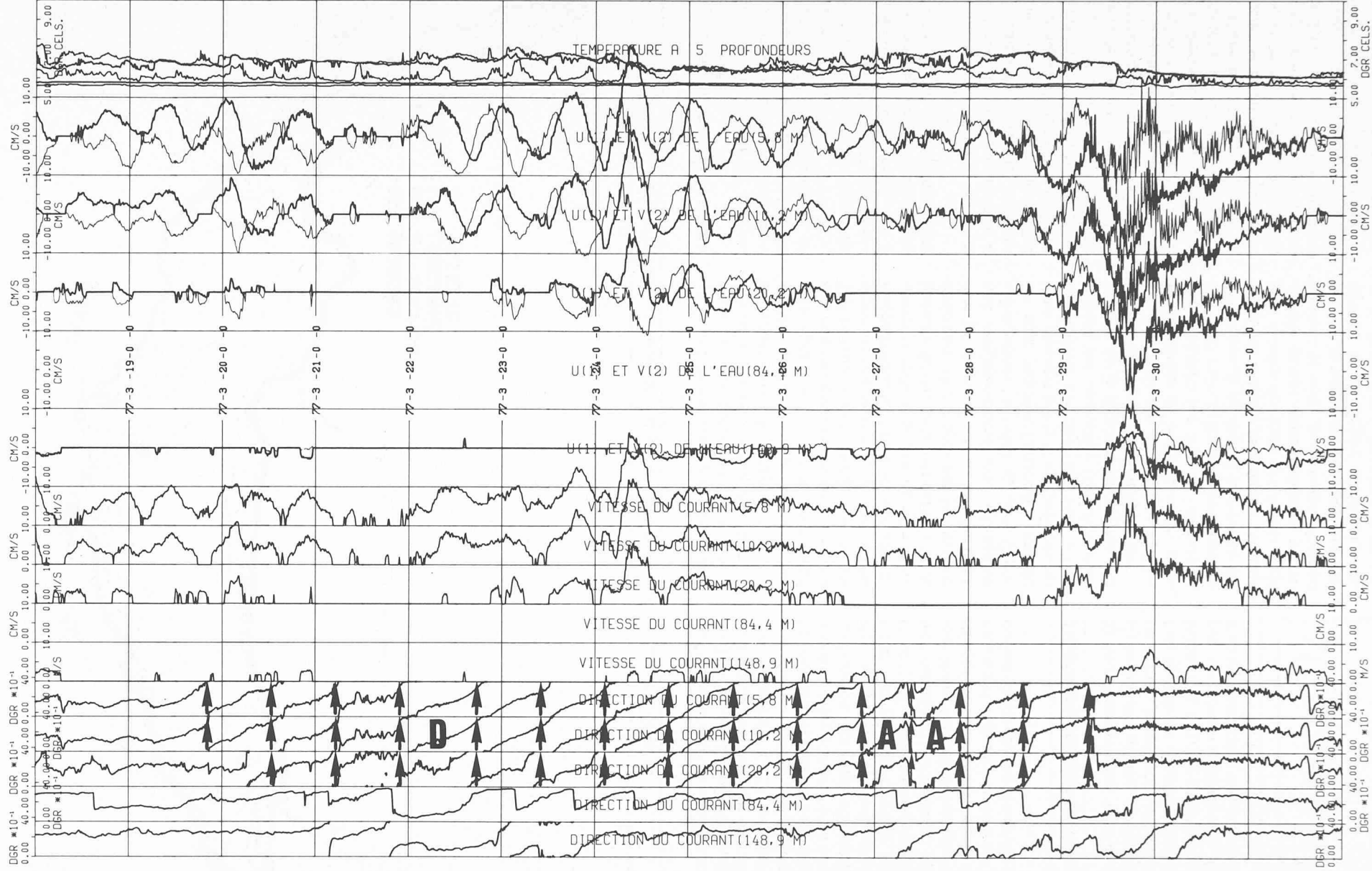


Fig. 5. — Représentation analogique des mesures de température et de courants à Saint-Sulpice du 18 au 31 mars 1977.

ce diagramme même si l'un de ces deux paramètres faisait défaut. Ce souhait devient un besoin si l'on examine les mesures des 2 instruments les plus profonds: à 84,4 m les mesures de vitesse manquent complètement alors que celles de la direction semblent être tout à fait correctes. Une telle situation est illustrée à la figure 6c par des vecteurs munis de demi-flèches seulement. Par contre, à 148,9 m de profondeur, la vitesse du courant, souvent en dessous du seuil de sensibilité de l'instrument, indique une valeur nulle; comme l'instrument semble malgré tout réagir en donnant une valeur pour la direction du courant, cette situation particulière sera également illustrée au moyen des vecteurs sans flèches du tout (v. fig. 6b).

En utilisant les données de vitesses et de directions de la figure 5, le diagramme vectoriel en bâtons des figures 7a et b a été dessiné selon les principes décrits ci-dessus.

Sur ces figures nous pouvons observer la régularité du mouvement rotatif s'affaiblissant avec la profondeur. En examinant la période du 29 au 31 mars nous constatons ici, ce qui n'était pas aussi évident à la figure 5, que la tendance à la rotation est toujours perceptible.

Analyse spectrale

Une analyse spectrale élémentaire de la direction du courant permet d'une part de mettre en évidence la présence de courants d'inerties et d'autre part de connaître la valeur de la période correspondante (fig. 8). Nous trouvons ici une fréquence de 1,45 cycles/jours ce qui correspond à une période de 16,55 h. Si l'on désiret étudier plus en détail la signification des autres «pics» apparaissant sur ce graphique, il faudrait évidemment prendre plus de précautions que nous l'avons fait ici (définition d'un intervalle de confiance, etc.).

Conclusions

Pour la première fois sur le Léman, une vaste campagne expérimentale, organisée par le LHYDREP et décrite par Prost et al. [16] et Graf et al. [6], a permis d'acquérir en continu des mesures de courant à l'aide d'appareils électroniques sophistiqués. L'analyse de ces données montre que la structure des courants dans le Léman peut être extrêmement complexe. Ainsi, pour la première fois, a-t-on pu mettre en évidence dans un lac aussi «petit» que le Léman des courants dont la trajectoire circulaire est

due à la rotation de la terre. Ces courants sont bien connus dans les océans sous le nom de courants d'inertie. L'ex-

Bibliographie

- [1] BAUER, S. W., GRAF, W. H., MORTIMER, C. H. et PERRINJAQUET, C., 1981: *Inertial motion in Lake Geneva (Le Léman)*. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie (à paraître).
- [2] BAUER, S. W. and PERRINJAQUET, C., 1979: *Data bank and visualisation with special reference to Lake Geneva*, pp. 267-276, in *Hydrodynamics of Lakes*, ed., W. H. Graf and C. H. Mortimer, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [3] BÉTANT, A. et PERRENOUD, G., 1932: *Etude sur la partie occidentale du lac de Genève*, Mém. Soc. phys. et d'hist. nat. de Genève, vol. 41, fasc. 2.
- [4] FOREL, F. A., 1879: *Le problème de l'Eurpe*, Compt. rend. Acad. Sci., vol. 2.
- [5] FOREL, F. A., 1895: *Le Léman, Monographie limnologique*, tome second, éd. F. Rouge, Librairie de l'Université, Lausanne.
- [6] GRAF, W. H., PERRINJAQUET, C., BAUER, S. W., PROST, J. P. and GIROD, H., 1979: *Measuring on Lake Geneva*, pp. 123-147, in *Hydrodynamics of Lakes*, ed. W. H. Graf and C. H. Mortimer, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- [7] GUSTAFSON, T. and KULLENBERG, B., 1936: *Trägheitsströmungen in der Ostsee*. Svensk. Hydrogr.-Biol. Komm. Skt. New Ser. Hydrogr. 13: 1-27.
- [8] KREITMANN, L., 1931: *Etude des courants du lac Léman*, Les Etudes Rhodaniennes, vol. 7, n° 2.
- [9] MERCANTON, P. L., 1932: *Etude de la circulation des eaux du lac Léman*, Mém. Soc. Vaud. Sc. Nat., vol. 4, n° 27.
- [10] MORTIMER, C. H., 1953: *The resonant response of stratified lakes to wind*, Revue suisse d'hydrologie, vol. 15, fasc. 1.
- [11] MORTIMER, C. H., 1963: *Frontiers in physical limnology with particular reference to long waves in rotating basins*, Proc. 6th Conf. Great Lakes Res., Publ. No. 10, The University of Michigan.
- [12] MORTIMER, C. H., 1974: *Lake Hydrodynamics*, Mitt. Intern. Verein. Limnolog., vol. 20.
- [13] MORTIMER, C. H., 1977: *Internal waves observed in Lake Ontario during the International Field Year for the Great Lakes (IFYGL) 1972*. Spec. Rep. No. 32, Center for Great Lakes Studies, Univ. Wisconsin-Milwaukee.
- [14] NEUMANN, G. and PIERSON, W. J., 1966: *Principles of Physical Oceanography*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [15] PLAUCHU, J., 1970: *Etude des courants du lac Léman du Rhône à la frontière Vaud-Genève, 1969-1970*, Bureau d'études et des travaux hydrologiques et d'océanologie côtière, Genève.
- [16] PROST, J.-P., BAUER, S. W., GRAF, W. H. et GIROD, H., 1977: *Campagne de mesure des courants dans le Léman*, Bull. techn. Suisse romande, vol. 103, n° 19.

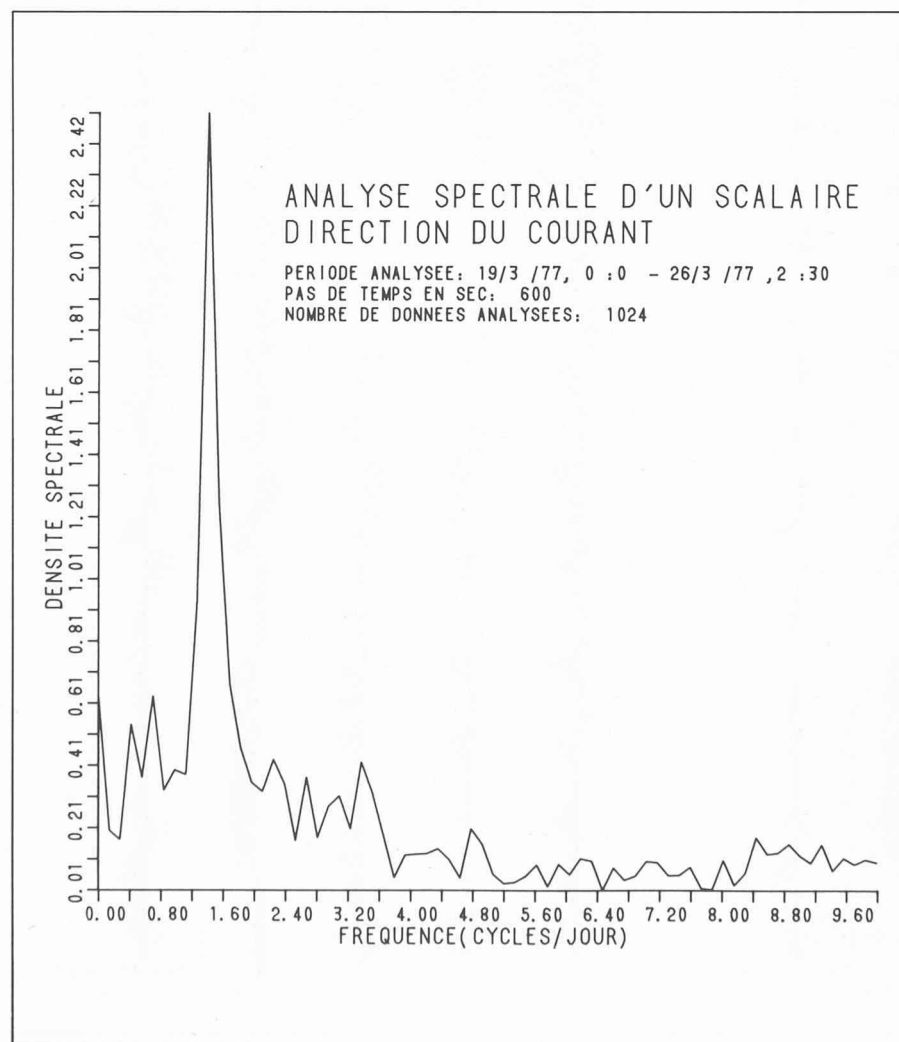


Fig. 8. — Spectre de la direction du courant du 19 au 26 mars 1977.

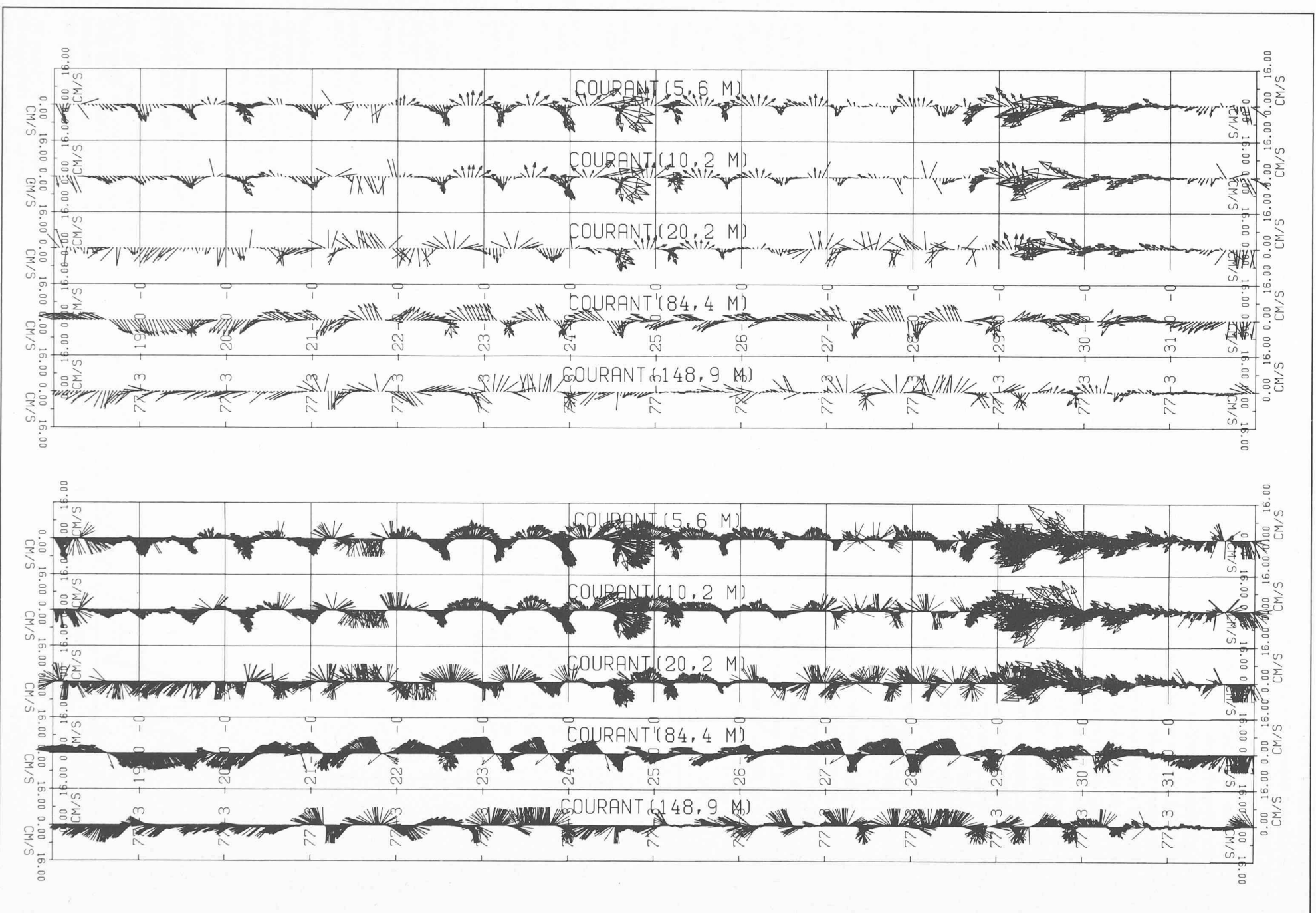


Fig. 7. — Diagramme vectoriel en bâtons pour les mesures de courants à Saint-Sulpice du 18 au 31 mars 1977. a) Vecteurs observés chaque 10 minutes; b) Vecteurs moyennés sur 1 heure.

traordinaire régularité de ces courants d'une période de 16,5 h. est mise en évidence à travers une série de diagrammes illustrant la série la plus spectaculaire observée et formée de 14 cycles complets sur une durée de plus de 9 jours. En conclusion de l'examen de ces données, il faut toujours être très prudent lorsqu'on interprète des mesures de courants, particulièrement si la durée des observations est limitée comme ce fut le cas avec toutes les mesures effectuées jusqu'à présent sur le Léman.

Remerciements

Nous voudrions adresser nos remerciements aux pêcheurs professionnels du Léman qui ont accepté de bonne grâce la présence, gênante parfois, de nos instruments dans leurs eaux. Nos remerciements vont également à la Police du Lac pour sa coopération. Ce travail a été partiellement financé par le Fonds national pour la recherche scientifique (FNRS) dans le cadre de son programme « Problèmes fondamentaux du cycle de l'eau en Suisse ».

Adresse des auteurs:

Sebastian W. Bauer,
Motor Columbus Ing. SA,
5401 Baden,
précédemment Laboratoire
d'hydraulique (LHYDREP) de l'EPFL
Walter H. Graf et Claude Perrinjaquet,
Laboratoire d'hydraulique de l'EPFL
1015 Lausanne
Clifford H. Mortimer
Center for Great Lakes Studies
University of Wisconsin,
Milwaukee, USA

Le temps des gares

Une exposition exceptionnelle vient à Lausanne

par Dédale

Si le Centre Beaubourg, à Paris, a suscité des controverses acharnées par son architecture et son implantation, le rôle qu'il joue désormais dans la vie culturelle française n'est plus discuté. Parmi les expositions les plus remarquables qui y ont été organisées mentionnons *Le temps des gares*. La Suisse romande figurant en bonne place sur la tournée internationale de plusieurs années entreprise par l'exposition, il faut absolument profiter d'une occasion aussi exceptionnelle; *Le temps des gares* sera à Lausanne du 19 mars au 12 avril.

L'organisateur

L'exposition « *Le temps des gares* » a été mise sur pied à l'initiative du *Centre de création industrielle* (CCI), à Paris. Fondé en 1969 par l'Union des arts décoratifs, le CCI s'est donné pour mission de mettre en évidence le rapport des individus et des collectivités avec leur milieu, au-delà des réalités chiffrées, des considérations esthétiques ou des phénomènes de mode.

Le CCI souhaite attirer notre attention sur tous les facteurs qui créent, qui changent ou détruisent notre cadre de vie, tels que l'urbanisme, l'architecture, la publicité, le design industriel, la multiplication des images.

Les objets choisis par le CCI pour ses expositions peuvent aussi bien appartenir au passé ou au présent qu'à l'avenir. Les visiteurs du Centre Beaubourg y ont trouvé, par exemple, des expositions consacrées à la publicité et aux marques commerciales, à l'urbanisme des villes nouvelles, aux ustensiles électroménagers ou aux architectures marginales des Etats-Unis.

Le CCI ne se veut pas le chroniqueur d'évolutions techniques ou artistiques, mais un index pointé sur l'avenir de notre environnement et sur les facteurs qui l'influencent. C'est dire que ses expositions ne sont pas simplement des collections d'objets ou d'images, mais des incitations à la réflexion. Le visiteur devrait porter un regard neuf et perspicace sur son cadre de vie, donc être amené à se sentir concerné par son évolution et plus seulement à le subir passivement.

La gare: forum d'aujourd'hui

Il n'est pas douteux que l'évolution contemporaine de l'urbanisme a privilégié les déplacements au détriment des rencontres: les quartiers nouveaux de nos villes sont bien plus caractérisés par des voies de communications impressionnantes — voies express, raccourcissements autoroutiers, places de parc géantes — que par des lieux propices à la flânerie, aux jeux ou aux conversations [1]¹.

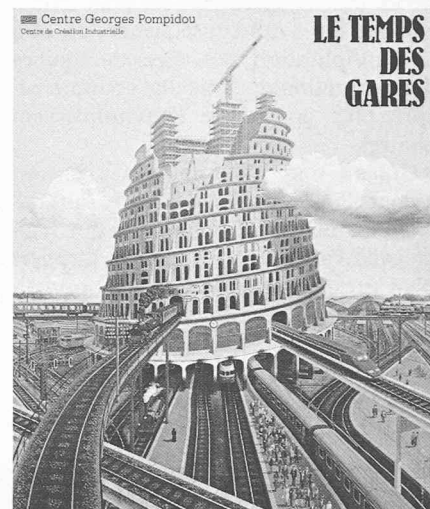
Ce phénomène n'est pas limité à la seule périphérie des agglomérations impor-

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



tion Louis Burgi, Lausanne, 204

Grâce aux CFF, notre pays est présent à Beaulieu pour *Le temps des gares*: la gare de Lausanne, abusivement appelée « Centrale » quand fut prise cette photographie.



La Tour de Babel de Breughel, revue par Dominique Appia: l'affiche du *Temps des gares*, intitulée « *L'empire des gares* ».

tantes. L'aménagement de la place de la Riponne ou celle de Saint-François, à Lausanne, constituent aussi des exemples frappants d'espaces aménagés uniquement en fonction de la circulation automobile, que ce soit pour faciliter le trafic ou le parage des voitures. Le résultat en est une ambiance purement utilitaire, sans aucun attrait pour le piéton. On pourrait même se demander si les planificateurs souhaitent vraiment retenir le piéton sur les anciens lieux de rencontre ou bien plutôt empêcher qu'il