

Planche 7.3 Température des cours d'eau et des lacs

Introduction

De même que les projets d'exploitation des forces hydrauliques ont favorisé l'installation de stations de jaugeage, les projets de centrales thermiques (surtout nucléaires), des années soixante, ont conduit à développer un réseau thermométrique sur les cours d'eau importants. Il y a pourtant une différence: dans le cas de la mesure de la température, il s'agissait de protéger les cours d'eau contre les effets nuisibles d'un réchauffement excessif et non de trouver des sources d'énergie. C'est ainsi, qu'en 1963, le Service hydrologique et géologique national (SHGN) a entrepris l'édification de son réseau thermométrique.

Puis, devant l'opposition croissante de la population à l'utilisation de combustibles, aussi bien nucléaires que fossiles, l'installation de nouvelles centrales thermiques est devenue de moins en moins probable. La principale raison d'être de ce réseau thermométrique s'estompanant, on a alors renoncé à créer de nouvelles stations et commencé à supprimer celles pouvant être jugées redondantes. La conséquence de cette évolution assez particulière du réseau est qu'on peut trouver une période optimale, combinant le nombre et la longueur de séries synchrones entièrement comparables, en choisissant la période de 1978 à 1984. L'étude de cette période a d'ailleurs constitué l'essentiel d'une Communication du SHGN [2]. Cette étude a permis de montrer, d'une part que l'on pouvait très bien continuer de surveiller à long terme la température des cours d'eau avec un réseau beaucoup moins dense et d'autre part que l'on pouvait tirer un parti intéressant de mesures isolées, plus ou moins régulièrement espacées dans le temps. Un tel échantillonnage de la température est réalisé par exemple, lors d'études de routine des cours d'eau et des lacs, par des administrations cantonales ou par des universités. La carte est ainsi basée sur un choix de stations, effectué parmi ces différents réseaux, pour lesquelles on dispose de mesures régulières pendant la période 1978–1984. La source de ces données figure dans le tableau 1, comme aussi dans les tableaux de la planche 7.1.

Les variations de la température

La température d'un cours d'eau, ou d'un lac, dépend avant tout de la température de l'air et du rayonnement solaire. On observe ainsi la superposition de plusieurs types de fluctuations de la température de l'eau:

(1) Des fluctuations journalières qui, si l'ensoleillement est bon, présentent une allure périodique marquée, parfois d'allure sinusoïdale. La différence entre le jour et la nuit, très variable, atteint souvent plusieurs degrés. En ce qui concerne les grands cours d'eau, on peut trouver des indications relatives à ces fluctuations-là dans les graphiques NADUF (NADUF: Programme pour l'étude analytique en continu des cours d'eau suisses) figurant dans [7]. Par contre, dans ce domaine, les publications décrivant de petits cours d'eau sont rares [4].

(2) Des fluctuations saisonnières, plus importantes en plaine qu'en montagne, ont une allure très nettement sinusoïdale. Ceci n'est pas surprenant, étant donné les particularités de la mécanique céleste régissant les variations annuelles du rayonnement solaire reçu par la terre. Cet effet est si marqué que la méthode standard, utilisée pratiquement dans toutes les études, consiste à ajuster une sinusoïde aux valeurs observées, selon la méthode des moindres carrés. L'examen des paramètres des sinusoïdes ainsi calculées fait l'objet principal de cette planche-ci. Leur ajustement est décrit plus loin avec davantage de détails. Les diagrammes superposés à la carte montrent les variations saisonnières à des stations choisies, sur des cours d'eau, de façon à illustrer le contraste entre la montagne et la plaine. On peut apprécier aussi l'effet des lacs sur la température de leurs émissaires. Sur les trois années représentées, deux sont normales et la troisième est particulièrement chaude (1983).

(3) Des variations occasionnelles, d'allure aléatoires, sont provoquées par l'arrivée de fronts chauds ou froids, d'air méditerranéen ou polaire. Elles apparaissent nettement, une fois les variations saisonnières soustraites. En effet, en enlevant la variation sinusoïdale des séries

chronologiques de températures, on obtient des séries dites «désaisonnalisées», où ne subsistent que des événements imprévisibles, tels que précisément ceux dus aux caprices de la météorologie. En examinant simultanément les séries désaisonnalisées de l'ensemble des stations, on constate que ces variations imprévisibles sont parfaitement synchrones sur de vastes régions, ce qui confirme bien leur origine commune, météorologique [2].

(4) Les fluctuations à long terme, qui reflètent simplement les continues fluctuations du climat, ne sont rien d'autre que le prolongement, à une échelle de temps plus grande, des fluctuations des séries désaisonnalisées. Il est actuellement d'usage de voir un réchauffement anthropogène dans la phase la plus récente de ce genre de fluctuations. Selon la période d'observation, on peut distinguer nettement un réchauffement des cours d'eau importants, sans que la cause en soit très claire [5]. D'autre part, le climat de la terre semble avoir toujours été soumis à des fluctuations, aussi bien au cours de la période historique que des périodes géologiques [6]. Quelques exemples des séries les plus longues sont montrés à la figure 1, dans laquelle aussi on discerne bien l'influence des lacs, particulièrement avec le relèvement des températures moyennes journalières minimales de l'année. Pour les lacs eux-mêmes, on donne les séries chronologiques des échantillonnages de la température à 5 m et 100 m de profondeur (fig. 3). La profondeur est ici en effet une dimension hautement significative, alors qu'elle ne joue aucun rôle pour les cours d'eau.

Stratification thermique dans les lacs

Tout comme pour les représentations des variations saisonnières des cours d'eau superposées à la carte, la figure 2 présente les données de la même période (1981–1983) de quelques lacs. Ces diagrammes à trois dimensions montrent clairement la différence des variations saisonnières à différentes profondeurs. En été, une nette stratification se produit dans tous les lacs (stagnation estivale), la physique voulant que la densité de l'eau dépende de sa température. La couche supérieure, réchauffée, est l'épilimnion. Au-dessous, la couche de transition, comportant un fort gradient de température, est désignée comme thermocline ou métalimnion. Quant à la couche profonde, dont la température reste plus ou moins basse toute l'année, elle est appelée hypolimnion. Les vents de l'automne et de l'hiver contribuent à mêler les couches supérieures, en train de se refroidir, avec des couches toujours plus profondes, si bien que le plus souvent une phase de circulation s'établit, pendant laquelle la même température règne pratiquement dans tout le lac. En hiver, il peut arriver que, suivant les conditions météorologiques, la profondeur et la situation géographique d'un lac, une nouvelle stratification se produise. Mais cette fois-ci on trouve en surface des masses d'eau froide à moins de 4 °C, si ce n'est même de la glace (stagnation hivernale). Au printemps, une phase de circulation se présente le plus souvent avant que la température s'élève à nouveau, dans les couches supérieures. Suivant la profondeur et les conditions d'exposition d'un lac, ce n'est pas tous les ans que, entre l'automne et le printemps, s'établit une phase de circulation.

Pour le calcul des paramètres du modèle harmonique figurant sur la carte, on n'a utilisé que des données provenant de la partie supérieure de l'épilimnion, soit en fait la moyenne des températures relevées entre la surface et une profondeur de 10 m.

Le modèle sinusoïdal

La suite chronologique des valeurs de la température de pratiquement tous les cours d'eau, et des lacs à faible profondeur, dessine une sinusoïde bien visible. Il s'agit de trouver les paramètres de la sinusoïde qui s'approche le plus des valeurs mesurées, au sens des moindres carrés. On ne peut donc pas vraiment parler d'analyse harmonique ou de transformation de Fourier, étant donné qu'on ne recherche qu'un seul terme sinusoïdal. La méthode de calcul, très différente, est aussi moins souvent décrite [1,2,3]. Cette méthode consiste à linéariser la fonction sinus par une transformation trigonométrique et à rechercher ensuite les paramètres à l'aide d'une régression multiple. Les paramètres de la sinusoïde sont la moyenne, la demi-amplitude ainsi qu'un angle de phase, c'est-à-dire un repère permettant de caler la sinusoïde par rapport au calendrier. Nous avons choisi ici le jour où la sinusoïde passe par le minimum. Pour trouver ces paramètres à partir de mesures, on peut utiliser un programme pour calculateur personnel (PC), disponible auprès du SHGN.

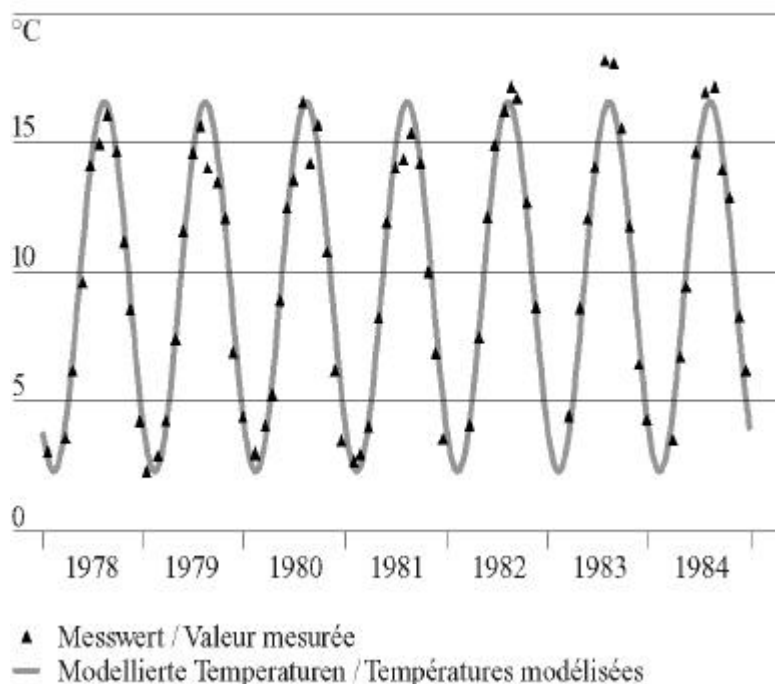
La figure 4 représente la sinusoïde adaptée à la série chronologique des températures relevées plus ou moins régulièrement dans le lac de Pfäffikon, de 1978 à 1984. La sinusoïde suggère que les températures les plus basses des hivers 1982, 1983 et 1984 n'ont pas été échantillonnées.

Ce modèle sinusoïdal permet d'évaluer, en particulier, la température que l'on devrait pouvoir mesurer, en moyenne, à tel ou tel moment de l'année. Il suffit pour cela d'appliquer la formule:

$$T_{(j)} = A \cdot \sin[(J - J_m) \cdot 360^\circ/365.242 - 90^\circ] + M$$

où $T_{(j)}$ est la température estimée (°C) pour le jour j , A la demi-amplitude, J le numéro dans l'année du jour j , J_m le jour du minimum et M la moyenne annuelle. Les paramètres nécessaires à ce calcul se trouvent sur la carte ainsi que dans le tableau 2. Pour estimer des températures sur un cours d'eau, entre des stations, on peut se risquer à interpoler ces paramètres. Sur les cours d'eau où il n'y a pas de stations, les interpolations sont naturellement encore plus délicates, car il faudrait alors tenir compte d'autres facteurs tels que l'altitude du bassin ou la distance à la source.

Fig. 4
Gemessene und modellierte Temperaturen im Pfäffikersee
Températures mesurées et modélisées dans le lac de Pfäffikon



Bibliographie

- [1] **Ball, J. A. (1978):** Algorithms for RPN calculators. New York.
- [2] **de Montmollin, F., Parodi, A. (1990):** Température des cours d'eau suisses. Communication du Service hydrologique et géologique national No 12, Berne.
- [3] **Güttinger, H. (1980):** Die Anwendung einer Fourier-Transformation zum Ausgleich von Saisonschwankungen bei der physikalisch-chemischen Charakterisierung von Fliessgewässern In: Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 42/2:309–321, Basel.
- [4] **Jakob, A., Tschumi, P.A. (1988):** Tagesschwankungen chemischer und physikalischer Faktoren in einem Fliessgewässer (Schüss, Berner Jura). In: Archiv für Hydrobiologie 113:607–620, Stuttgart.

- [5] **Jakob, A. et al. (1995):** NADUF – Observation à long terme de l'état physico-chimique des eaux. In: *Gaz-Eaux-Eaux usées* 5/95:378–393, Zurich. Deutsche Fassung in: *Gas-Wasser-Abwasser* 3/94:171–186, Zürich.
- [6] **Le Roy Ladurie, E. (1967):** Histoire du climat depuis l'an mil. Paris.
- [7] **Service hydrologique et géologique national (dès 1972):** Annuaire hydrologique de la Suisse. Berne.