Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 13 (1960)
Heft: 1

Artikel: Périodicités dans la série des températures moyennes annuelles
Autor: Bouvier, Pierre
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738497

Pierre Bouvier. — *Périodicités dans la série des températures moyennes annuelles.*

La méthode d'analyse des périodicités.

Il s'agit d'une méthode déjà ancienne, exposée sans doute par plusieurs auteurs (Schuster, Stumpff, Vercelli et d'autres) dans des publications d'ailleurs difficiles à obtenir, et parfois esquissée brièvement dans certains traités sur les séries de Fourier [1]. En conséquence, nous reprenons ici le principe de la méthode, avant d'en indiquer la portée et les limites.

Nous disposons de N observations successives d'une même grandeur, échelonnées sur un intervalle de temps aussi grand que possible vis-à-vis de la durée séparant deux observations consécutives. Admettant qu'il existe dans cette suite de mesures une périodicité cachée qui porte sur n d'entre elles, nous subdivisons la suite complète en m intervalles égaux renfermant chacun n observations successives; ceci ne sera pas toujours exactement possible mais, en choisissant n nettement inférieur à N, on s'arrangera pour que $m.n$ diffère peu de N. Ainsi avec 134 moyennes annuelles, on pourra former 13 intervalles de 10 ans et 10 de 13 ans, 11 intervalles de 12 ans et 12 de 11 ans, 9 de 14 ans, etc.

Désignons par y_{ik} l'observation de rang k dans l'intervalle numéroté i ($k = 0,1, ..., n-1$; $i = 1,2, ..., m$) et formons la moyenne arithmétique Y_k des observations de rang k:

$$\mathrm{Y}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} y_{ik} \quad .$$

Toute composante périodique dont la période correspond à n observations successives sera multipliée par m dans la somme $m\mathrm{Y}_k$, tandis que les composantes de période différente (et incommensurable avec n) s'élimineront par interférence négative, d'autant plus complètement que m sera grand.

Soient $\overline{\mathrm{Y}}$ la plus grande des valeurs Y_k et $\underline{\mathrm{Y}}$ la plus petite; si le nombre n des observations par intervalle est lui aussi suffisamment grand, la différence

$$\eta = \overline{\mathrm{Y}} - \underline{\mathrm{Y}}$$

représente à peu près la double amplitude de la période cherchée et renseigne donc sur l'existence éventuelle de cette période.

En donnant à n diverses valeurs, nous obtiendrons une dépendance

$$\eta = \eta(n)$$

fournissant des points que nous relions par une courbe, et les valeurs de n où cette courbe présente un maximum bien marqué correspondent à une période présumée de la suite des N observations.

La forme générale d'une composante de période égale à n années s'écrira, en posant $\frac{2\pi}{n} = \omega$,

$$\begin{aligned} S_k = a_0 + a_1 \cos k\omega + a_2 \cos 2k\omega + \dots \\ + b_1 \sin k\omega + b_2 \sin 2k\omega + \dots \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n-1) \end{aligned}$$

Dans cette série trigonométrique nous ne conservons qu'un nombre de termes inférieur à n, afin de pouvoir déterminer les coefficients a, b en ajustant S_k à Y_k selon la méthode des moindres carrés:

$$F = \sum_{k=0}^{n-1} (S_k - Y_k)^2 = \min .$$

Les conditions

$$\frac{\partial F}{\partial a_0} = 0 , \quad \frac{\partial F}{\partial a_j} = 0 , \quad \frac{\partial F}{\partial b_j} = 0$$

nous donnent alors sans peine ($j = 1, 2, \dots$)

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_k Y_k$$

$$a_j = \frac{2}{n} \sum_k Y_k \cos jk\omega$$

$$b_j = \frac{2}{n} \sum_k Y_k \sin jk\omega .$$

L'application de la méthode exige, nous l'avons dit, de choisir suffisamment grands le nombre m d'intervalles de périodicité et le nombre n d'observations dans chaque intervalle.

Cependant, l'hypothèse de l'existence de périodes constantes est discutable; les cycles météorologiques sont le plus souvent variables, ainsi du reste que le cycle solaire et l'on ne peut généralement parler que de période moyenne. Il ne semble pas que les tentatives faites pour adapter la méthode précédente à ce cas plus général aient été satisfaisantes [2], [3].

Nous avons néanmoins procédé selon les considérations exposées plus haut, à l'analyse de périodes constantes dans la suite des températures annuelles moyennes, non dans un but de prévision que la méthode ne permet guère, mais afin de chercher à retrouver certains cycles climatiques dont l'existence paraît bien établie.

Températures moyennes annuelles.

Bien que les premières observations météorologiques effectuées dans la région genevoise remontent à 1760 (baron de Lubières), c'est vraiment depuis 1826 (G. Maurice) que nous avons la suite ininterrompue des températures relevées sensiblement au même endroit. Nous la trouvons dans les *Nouvelles études sur le climat de Genève* par E. Plantamour pour la période 1826-1875, puis dans les résumés météorologiques annuels de l'Observatoire.

Nous avons donc sous la main, de 1826 à 1959, $N = 134$ mesures et pourrons mettre en évidence les périodes comprises à peu près entre 7 et 18 ans. A moins de 7 ans, il n'y aura que très peu d'observations par intervalle et à plus de 18 ans, le nombre d'intervalles deviendra insuffisant.

Les calculs ont été effectués pour la plupart ici par B. Hauck à partir des mesures annuelles brutes, en laissant de côté la faible correction (0°,14) introduite par R. Gautier [4] lors du changement d'horaire des observations dès 1929.

La courbe des périodes est représentée sur la figure 1, en pointillé pour les 134 ans et en trait plein pour les 100 premières années (1826-1926). On voit que les maxima se dégagent mieux sur la deuxième de ces courbes; peut-être le réchauffement moyen notable survenu depuis 1930 environ y est-il pour quelque chose.

Les périodes présumées, obtenues ici nécessairement en nombres entiers d'années, sont de 8, 11, 13 et 16 ans. Celle de 11 ans correspond manifestement au cycle solaire; ce n'est d'ailleurs pas elle qui ressort le plus nettement dans la figure 1; les périodes de 8 et 16 ans sont peut-être celles d'harmoniques d'un cycle évoqué autrefois par Bruckner et de l'ordre de 32 à 36 ans [5]. De toute façon, Wagner (cité dans [6]) a souligné le rôle du cycle climatique de 16 ans et de son côté, S. Polli [6], en comparant plusieurs dizaines d'analyses de périodes relatives à de nombreux éléments climatiques, a conclu à la réalité physique du cycle de 8 ans.

Quant à la période de 13 ans, la plus importante à en juger par la figure 1, elle ne se rattache à aucun cycle connu et doit retenir notre attention, sans nous faire oublier qu'il s'agit ici de l'analyse d'une seule grandeur en une station donnée. La courbe des périodes obtenue

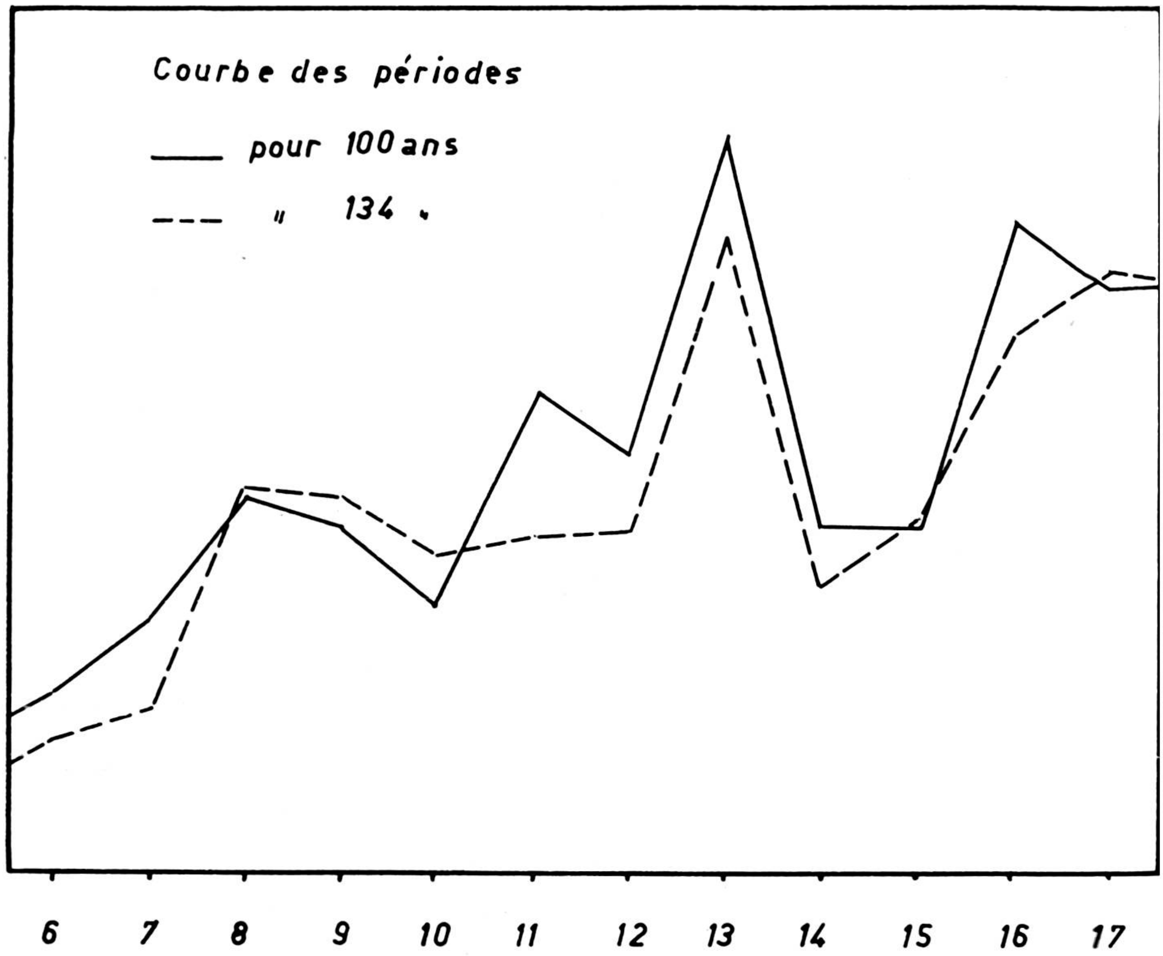

Fig. 1.

non à partir des mesures brutes mais des moyennes lissées sur cinq ans (c'est-à-dire prises sur les cinq années consécutives dont l'année considérée est celle du milieu) présente une allure similaire à celle de la figure 1, sans grande signification vers les courtes périodes mais ayant de nouveau deux pics aigus à 13 et à 16-17 ans.

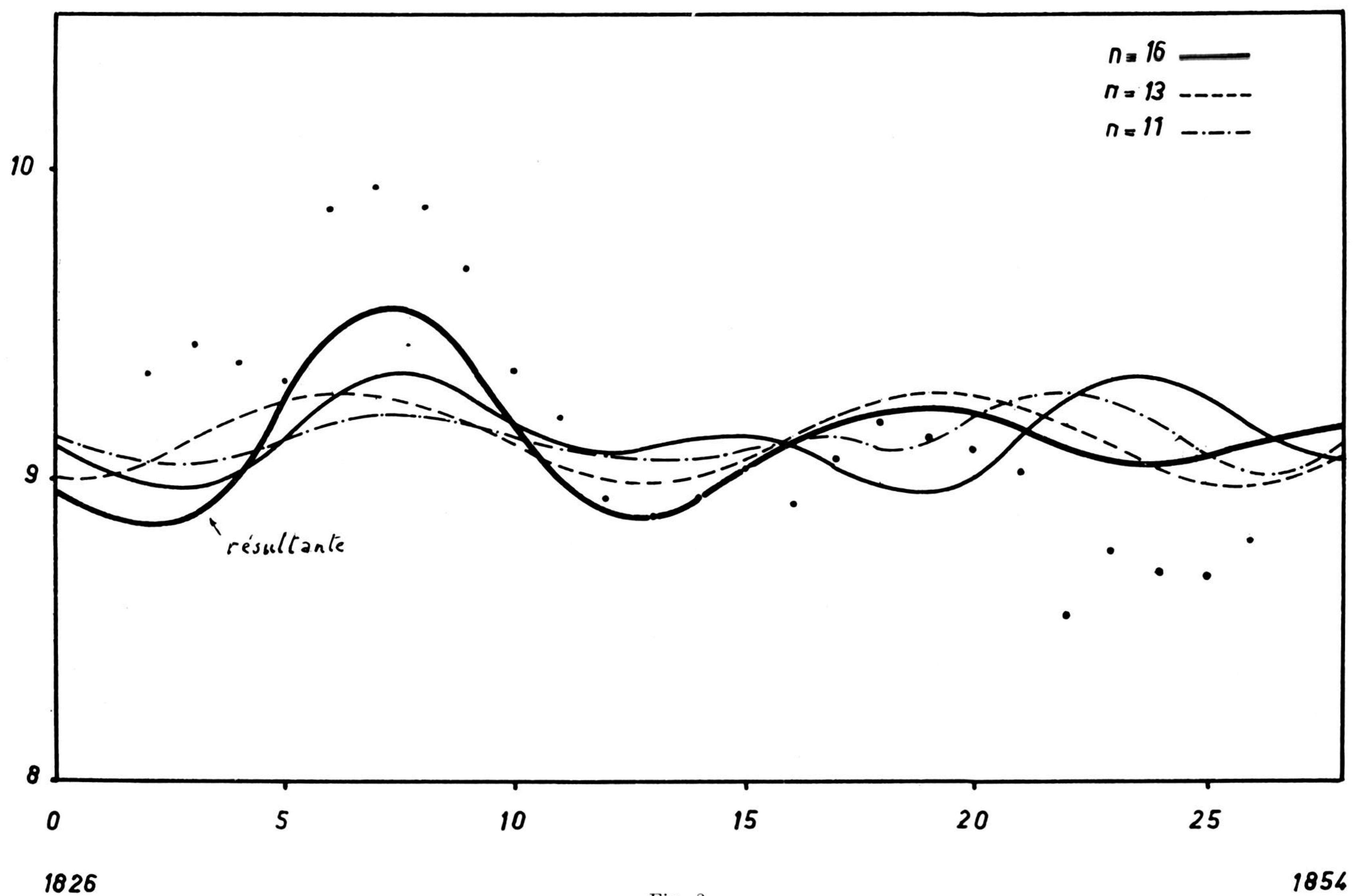

Fig. 2.

Tournons-nous maintenant vers la forme explicite des composantes de période 11, 13, et 16 (incluant 8) ans.

Posons

$$k\omega = 2\pi \frac{k}{n} = x \qquad \text{et} \qquad S_k - a_0 = f_n(x) \; .$$

Nous avons d'abord $a_0 = 9^{\circ}{,}66 \pm 0{,}02$ comme moyenne générale sur les 134 ans, puis

$$\begin{aligned} f_{11}(x) &= -\,0{,}024 \cos x - 0{,}072 \sin x \\ f_{13}(x) &= -\,0{,}146 \cos x + 0{,}011 \sin x \\ f_{16}(x) &= -\,0{,}121 \cos x + 0{,}083 \cos 2x \\ &\quad -\,0{,}029 \sin x - 0{,}061 \sin 2x \; . \end{aligned}$$

On voit que les amplitudes sont très faibles vis-à-vis de 9,66. La figure 2 montre l'allure de ces trois composantes, ainsi que leur somme (trait épais), au cours des vingt-neuf premières années (1826-1854) dont la température moyenne est de 9°,15. Les points isolés représentent les moyennes lissées sur cinq ans; nous notons qu'une certaine concordance se dessine entre la disposition de ces points et la courbe résultante des périodes (rapportée à 9,15 et non à 9,66), concordance que pourrait améliorer, dans cet intervalle au moins, la présence d'une composante à plus longue période s'annulant vers 1840.

Récemment, A. Rima [7] s'est livré à une étude des cycles climatiques en Suisse italienne en se servant de la méthode plus souple de A. Streiff [3] dite strato-analyse et permettant de dégager des composantes à période non constante; c'est probablement dans cette voie qu'il y aurait intérêt à reprendre l'examen de certaines de nos observations.

Observatoire de Genève.

BIBLIOGRAPHIE

1. Carlslaw, H. C., *Fourier series and integrals.* Sydney (1921).
2. Michelson, A. A., *Astroph. J.*, *38*, 268 (1913).
3. Streiff, A., *Monthly weather rev.*, *54*, 289. Washington (1926).
4. Gautier, R., *Publ. Obs. Genève*, série M, fasc. 3 (1930).
5. Bruckner, E., *Arch. Sc. phys et nat.*, *XX*, 219. Genève (1888).
6. Polli, S., *Istituto sperim. talassogr.* Trieste, publ. 250 (1950) et 324 (1950).
7. Rima, A., *Riv. tec. della Svizzera ital.*, n^{os} 9-10 (1959).