Histoire de l'analyse des séries chronologiques *

Jean-Marie Dufour †

Première version : Juillet 1998
Cette version : 10 janvier 2006, 12:37pm

*Cette recherche a bénéficié du support financier de la Chaire de recherche du Canada en économétrie, du Conseil des Arts du Canada (Bourse Killam), du Conseil de recherche en sciences humaines du Canada, du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada, de la Fondation Alexander von Humboldt (Allemagne), de l'Institut de Finance mathématique de de Montréal (IFM2), du Réseau canadien de centres d'excellence (projet MITACS), du Fonds de recherche sur la société et la culture (Québec), et du Fonds de recherche sur la nature et les technologies (Québec).

† Titulaire de la Chaire de recherche du Canada en économétrie (Université de Montréal). Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO), Centre interuniversitaire de recherche en économie quantitative (CIREQ) et Département de sciences économiques, Université de Montréal. Adresse postale: Département de sciences économiques, Université de Montréal, C.P. 6128 succursale Centre Ville, Montréal, Québec, Canada H3C 3J7. TEL: (514) 343 2400; FAX: (514) 343 5831; courriel: jean.marie.dufour@umontreal.ca. Page Web: http://www.fas.umontreal.ca/SCECO/Dufour .

Table des matières

1. Chronologie **1**

2. Notes bibliographiques **30**

Table des figures

1 Un graphique du dixième siècle 1
2 Variation de la tempèrature du sol en relation avec la profondeur sous la surface (Lambert, 1779, Berlin) 3
3 Importations et exportations de l' Angleterre de 1700 à 1782 (Playfair, 1776) 4
4 Nombre annuel des taches solaires, 1700-1960 (Waldmeier, 1961) 9
5 Périodogramme du nombre annuel de taches solaires 10
6 Périodogramme des chutes de pluie de la vallée de l'Ohio (Moore, 1914) . 13
7 Prix du blé corrigé pour la tendance (Beveridge, 1921, 1922) 15
8 Périodogramme du prix du blé de Beveridge 16
9 Magnitude d'une étoile variable au cours de 600 nuits (Whittaker et Robinson, 1924) 18
10 Périodogramme des données sur la magnitude d'une étoile variable . . . 19

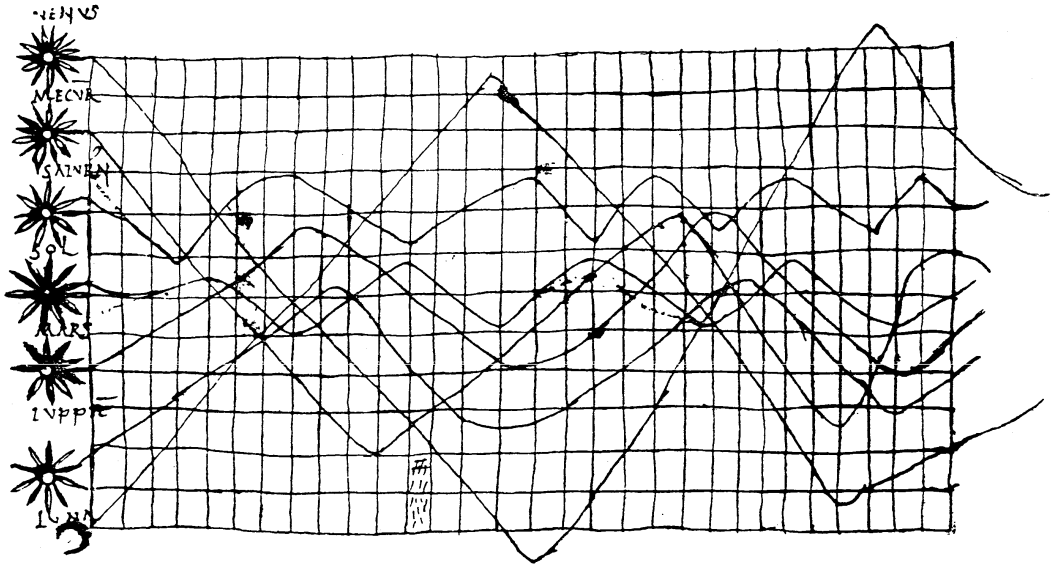

FIGURE 1. Un graphique du dixième siècle
Source : Funkhauser (1936) et Tufte (1983, p. 28)

1. Chronologie

C'est en astronomie qu'apparaissent les premières séries chronologiques constituées volontairement à des fins d'analyse. L'observation systématique du ciel remonte à l'Antiquité. Par exemple, les Romains savaient déjà que l'année dure approximativement 365 $\frac{1}{4}$ jours (calendrier julien).

X^e siècle Premier graphique connu de séries chronologiques.
D'après Kendall (1973), le plus ancien graphique connu d'une série chronologique (au moins dans le monde occidental) se trouve dans un manuscrit du X^e (ou XI^e) siècle et illustre un commentaire du *Songe de Scipion* de Cicéron (*De Republica*, 6, 14) extrait des *Saturnales* de Macrobius (395). Le graphique représente l'inclinaison des orbites de sept planètes en fonction du temps (figure 1).[1] Il semble toutefois que ce graphique soit un événement isolé. Les graphiques de séries chronologiques ne sont réapparus dans les écrits scientifiques que durant le XVIII^e siècle (Lambert, Playfair).[2]
XVI^e - XVII^e siècles Accumulation et analyse informelle de séries astronomiques.

[1] Voir Funkhauser (1936) et Tufte (1983, p. 28).
[2] Voir Tufte (1983, p. 29).

L'astronome danois Tycho Brahe (1546-1601) enregistre des données nombreuses et précises sur les orbites des planètes (1572). Ces données sont utilisées par son assistant Johannes Kepler (mathématicien et astronome allemand, 1571-1630) pour formuler les lois du mouvement des planètes qui portent son nom (1609).

1662 Mention de cycles en économie (Petty).

Dans son *Treatise of taxes and contributions* (1662), William Petty (1623-1687) mentionne la nécessité de corriger l'effet d'un cycle de sept ans lorsqu'on détermine le loyer d'un terrain.[3]

1662

Dans son ouvrage *Natural and Political Observations... upon the Bills of Mortality*, John Graunt analyse de façon informelle des séries chronologiques relatives à la population et à la mortalité.[4]

1676

Dans son livre *Political Arithmetik* (écrit en 1676, publié en 1690), William Petty analyse de façon descriptive plusieurs séries économiques.[5]

1696

Première courbe de demande empirique (loi de King). Dans son ouvrage *Natural and Political Observations and Conclusions upon the State and Condition of England* (cité par Charles Davenant en 1699, publié seulement en 1804), Gregory King présente ≪ une courbe de demande ≫ pour le blé obtenue de façon informelle à partir de séries sur les récoltes et le prix (six observations). Ce résultat est peut-être la première courbe empirique de demande connue. Les études quantitatives sur les courbes de demande ne reprendront par la suite qu'au début du XX^{e} siècle (Henry Moore).[6]

XVIII^{e} siècle *Développement de méthodes graphiques (Lambert 1760-1780 ; Playfair, 1786).*

[3] Voir Nerlove, Grether et Carvalho (1979, pp. 4-5).
[4] Voir Schumpeter (1954, Page 210).
[5] Voir Schumpeter (1954, pp. 209-215) et Fienberg (1992, pp. 213-214).
[6] Voir Schumpeter (1954, pp. 212-213).

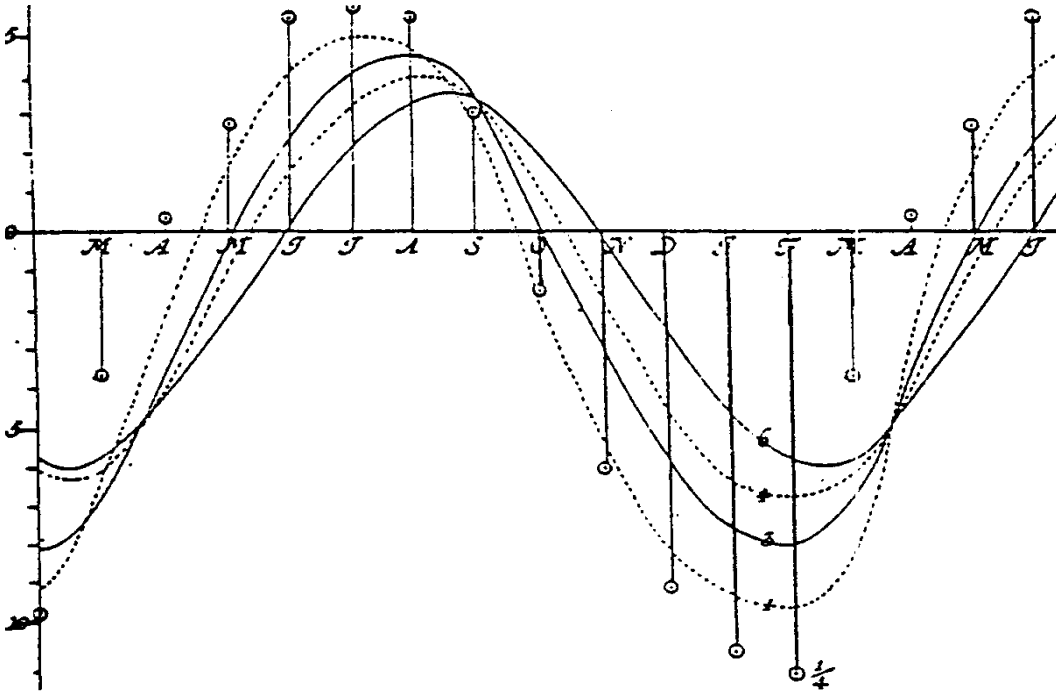

FIGURE 2. Variation de la tempèrature du sol en relation avec la profondeur sous la surface (Lambert, 1779, Berlin)
Sources : Tufte (1983, p. 29)

Durant la seconde moitié du XVIII^{e} siècle, les graphiques de séries chronologiques commencent à apparaître dans les écrits scientifiques.

1760-80

Johann Heinrich Lambert (mathématicien et philosophe suisse, 1728-1777) publie des graphiques d'une grande qualité pour toutes sortes de séries chronologiques : voir, par exemple, son graphique (publié en 1779) de la variation de la température du sol en relation avec la profondeur sous la surface (figure 2).[7]

1786

William Playfair (économiste anglais, 1759-1823) publie, en 1786, *The Commercial and*

[7] Voir Tufte (1983, p. 29) et Tilling (1975).

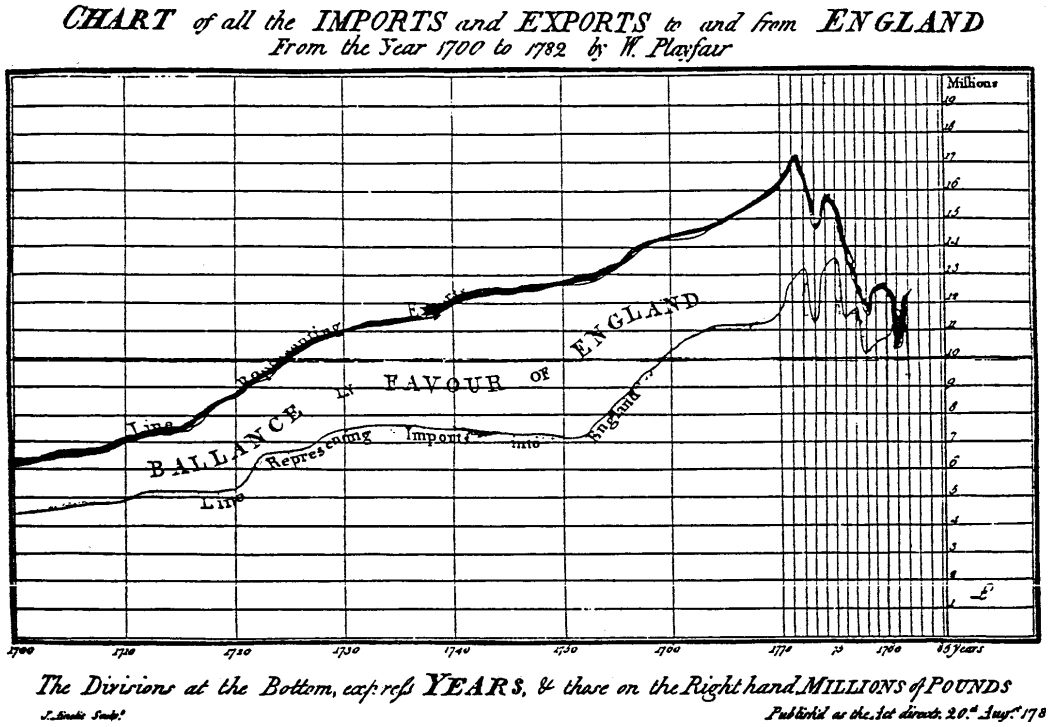

FIGURE 3. Importations et exportations de l' Angleterre de 1700 à 1782 (Playfair, 1776)
Sources : Tufte (1983, p. 32)

Political Atlas qui contient 44 graphiques de données économiques : son graphique des importations et exportations en Angleterre de 1700 à 1782 en est un bel exemple (figure 3).[8] Playfair argue qu'un graphique peut être plus révélateur qu'un tableau de données.

XVIII^{e} siècle *Découverte de périodicités multiples en astronomie.*

Durant le XVIII^{e} siècle, les astronomes se rendent compte graduellement que les lois de Kepler ne s'appliquent pas de façon exacte. Il y a des fluctuations irrégulières. De plus, les planètes semblent animées de mouvements séculaires de périodes longues. C'est le cas, notamment, pour Jupiter et Saturne (Laplace, 1787) ainsi que pour la Lune.[9]

[8] Voir Tufte (1983, pp. 32-34) et Tilling (1975).
[9] Voir Nerlove et al. (1979, pp. 6-7).

Ceci suggérait de représenter les phénomènes périodiques comme des sommes de fonctions périodiques de périodes différentes et posait le problème de l'identification de ces différentes périodes.

1772 Méthode mathématique pour détecter les périodicités (Lagrange, 1772).

Louis de Lagrange (astronome et mathématicien français, 1736-1813) propose une méthode mathématique pour mesurer les périodicités dans les données astronomiques. Il applique sa méthode à l'étude de l'orbite d'une comète. Sa méthode est basée sur l'utilisation des fonctions rationnelles. Comme d'autres méthodes analogues (Dale, 1914 ; Prony), elle est complexe à utiliser, sauf pour des séries courtes, de même que très sensible aux observations à l'écart.[10]

1807 Analyse harmonique (Fourier).

Généralisant les idées d'Euler (1707-1783) sur les séries trigonométriques, Joseph Fourier (mathématicien français, 1768-1830) propose, en 1807, que toute fonction périodique peut s'écrire comme une somme (ou série) de fonctions sinusoïdales et cosinusoïdales. En d'autres termes, si $f(t)$ est une fonction périodique de période P, elle peut s'écrire sous la forme :

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [A_n \cos(2\pi nt/P) + B_n \sin(2\pi nt/P)].$$

1825 Courbe de Gompertz.

Benjamin Gompertz (1825) propose une courbe de tendance non linéaire pour graduer les tables de mortalité.

1844 Courbe logistique (Verhulst).

La courbe logistique est une courbe de tendance non linéaire, dont l'équation est

$$x_t = \frac{k}{1 + be^{-at}} \ , \ a > 0, \ b > 0, \ k > 0 \ .$$

Elle est très utilisée dans les études de population et en biologie.

XIX^e siècle *Début de l'étude empirique des cycles en économie.*[11]

[10] Voir Davis ([1941] 1963, p. 28) et Bloomfield (1976, Chapter 1).

[11] Voir Nerlove et al. (1979, Chapter 1) et Hylleberg (1986, Chapter 1).

1801

L'astronome William Herschel cherche à trouver une relation entre les variations du nombre de taches solaires et le prix du blé.

1838

Hyde Clark publie un article sur le caractère cyclique des famines.

1843

Robert Everest suggère que les famines en Inde seraient cycliques et examine des données sur le prix du blé pour vérifier son hypothèse.

1841

Le banquier anglais James W. Gilbart (1841, 1854, 1856, 1865) étudie les fluctuations saisonnières dans la circulation des billets de banque. Gilbart est peut-être l'un des premiers à examiner de façon précise des fluctuations saisonnières.

1856

L'ingénieur Charles Babbage (1856) étudie des données quotidiennes sur les opérations de « clearing » (durant l'année 1839) et cherche à identifier des cycles entre semaines et entre mois. Il cherche aussi à mesurer la composante irrégulière de la série.

1860

Le médecin français Clément Juglar, dans son ouvrage intitulé *Des crises commerciales et de leur retour périodique* (publié en 1860), interprète les « crises commerciales » comme des phénomènes récurrents plutôt que des crises accidentelles. Analysant des séries de prix, de taux d'intérêt et de masses monétaires, Juglar conclut à une périodicité d'environ dix ans. Son analyse est l'une des premières études empiriques de données économiques en vue d'étudier les « cycles d'affaires ».[12]

1862

[12] Voir Kim (1988, pp. 22-23).

William Stanley Jevons (1862, 1863, 1866, 1884) étudie les fluctuations de l'activité commerciale. Il insiste sur l'importance de détecter et éventuellement d'éliminer des données certaines fluctuations cycliques (quotidiennes, hebdomadaires, trimestrielles, annuelles).

1884

Jevons identifie un cycle de onze ans dans l'activité commerciale, cycle qu'il relie à celui des taches solaires.

1847

Méthode de Buys-Ballot pour l'analyse des périodicités.

Christoph Hendrik Didericus Buys-Ballot (météorologue néerlandais, 1817-1890) propose, en 1847, une méthode pour analyser les phénomènes périodiques (saisonniers, notamment) dans les données météorologiques. Il s'agit d'une méthode tabulaire qui peut être utilisée pour détecter des composantes périodiques, en particulier lorsque la période recouvre un nombre entier d'observations. La méthode de Buys-Ballot peut être considérée comme l'ancêtre direct du périodogramme et de l'analyse spectrale.[13]

1870-80 *Développements préparateurs au périodogramme*.

1876-78 Analyseur harmonique de Thomson.

Thomson (1876, 1878) propose et construit un instrument permettant de calculer mécaniquement l'intégrale du produit de deux fonctions. Il suggère aussi que son instrument peut être utilisé pour l'analyse harmonique d'une fonction.[14]

1879 Méthode d'analyse harmonique de Stewart et Dodgson.

Stewart et Dodgson (1879) proposent une méthode plus générale que celle de Buys-Ballot pour l'analyse de périodicités dans les séries chronologiques.[15]

1879

[13] Voir Nerlove et al. (1979, Appendix A) et Bloomfield (1976, p. 6).
[14] Voir Bloomfield (1976, p. 6).
[15] Voir Bloomfield (1976, p. 6).

Dans un commentaire sur Stewart et Dodgson (1879), Stokes (1879) suggère que l'analyseur harmonique de Thomson pourrait être utilisé pour détecter les périodicités cachées dans les séries chronologiques.[16]

1884 Moyennes mobiles. Corrélation sérielle (Poynting).

En 1884, le physicien Poynting propose l'utilisation de moyennes mobiles arithmétiques pour éliminer les variations accidentelles ou périodiques. Cette idée sera ensuite fortement utilisée dans le cadre des méthodes de *désaisonnalisation*.

Dans le même article, Poynting fait référence à la notion de *corrélation sérielle* en étudiant les relations entre, d'une part, les mouvements du prix du blé en Angleterre, en France et au Bengale et, d'autre part, l'importation de coton et de soie en Grande-Bretagne. Toutefois, Poynting n'introduit pas explicitement le coefficient de corrélation sérielle.

1891

Au moyen d'un interféromètre, le physicien A. A. Michelson évalue la fonction d'autocovariance et le spectre associés à un signal lumineux.[17]

1894-1906 Périodogramme (Schuster).
Dans une série d'articles, Schuster (1894, 1897, 1898, 1900, 1904, 1906) développe considérablement l'analyse harmonique empirique. En 1897, il montre que le cycle lunaire détecté par Knott (1897) ne peut être considéré comme statistiquement significatif. En 1898, il propose le *périodogramme* comme technique pour détecter les périodicités importantes dans une série chronologique. Il applique sa technique à des données météorologiques (1898) ainsi qu'à des données sur les taches solaires (1900, 1906) ; voir la figure 4.[18] Pour les données x_t, $t = 1, \ldots, n$, le périodogramme de Schuster est défini par la fonction

$$I_n(P) = \frac{1}{n}\left\{\left[\sum_{t=1}^{n} x_t \cos(2\pi t/P)\right]^2 + \left[\sum_{t=1}^{n} x_t \sin(2\pi t/P)\right]^2\right\} .$$

Si la série contient un terme périodique de période P_0, le périodogramme a un pic pour

[16] Voir Bloomfield (1976, p. 6).
[17] Voir Brillinger (1976, p. 268).
[18] Voir Bloomfield (1976, p. 6)

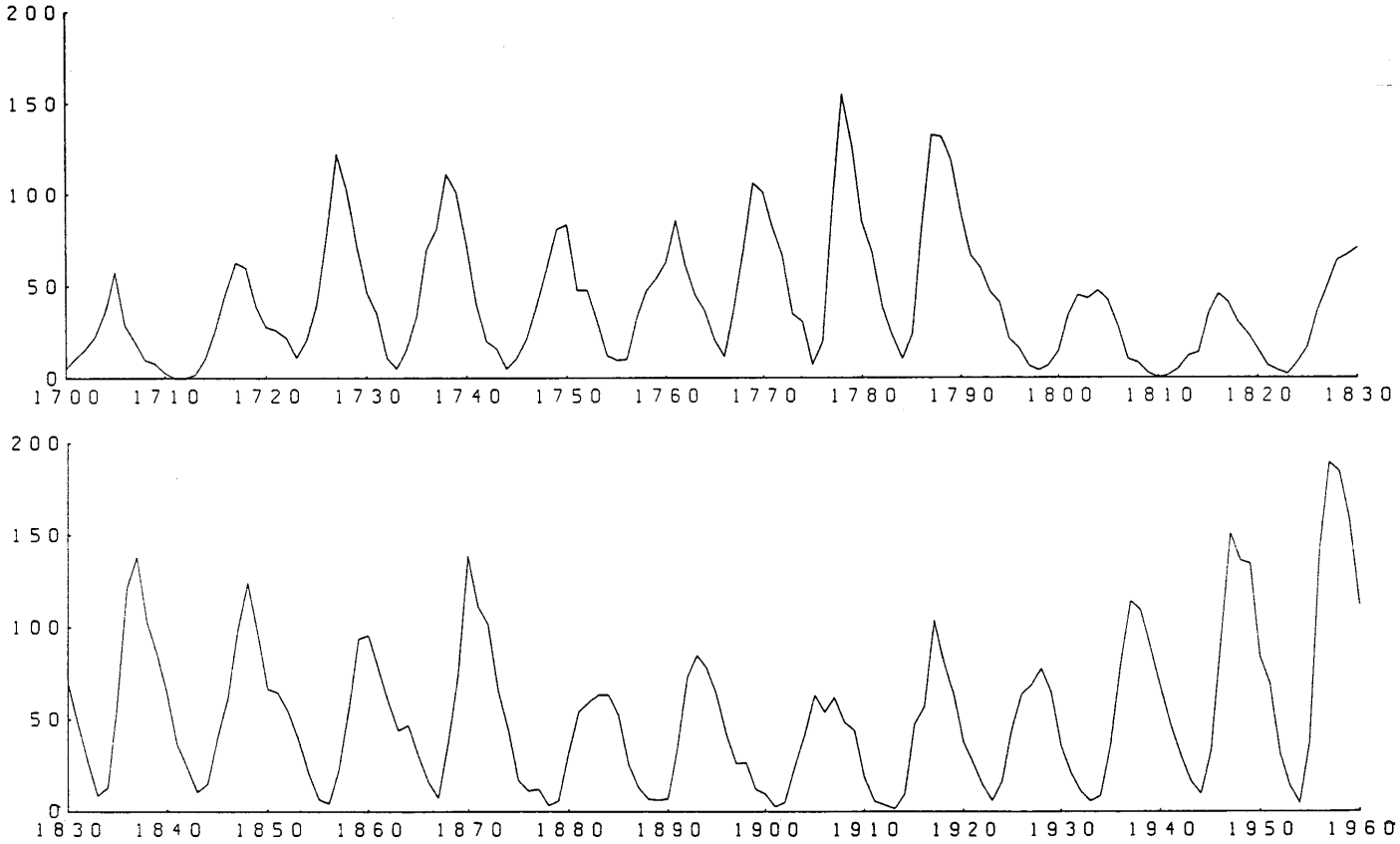

FIGURE 4. Nombre annuel des taches solaires, 1700-1960 (Waldmeier, 1961)
Source : Bloomfield (1976, p. 5)

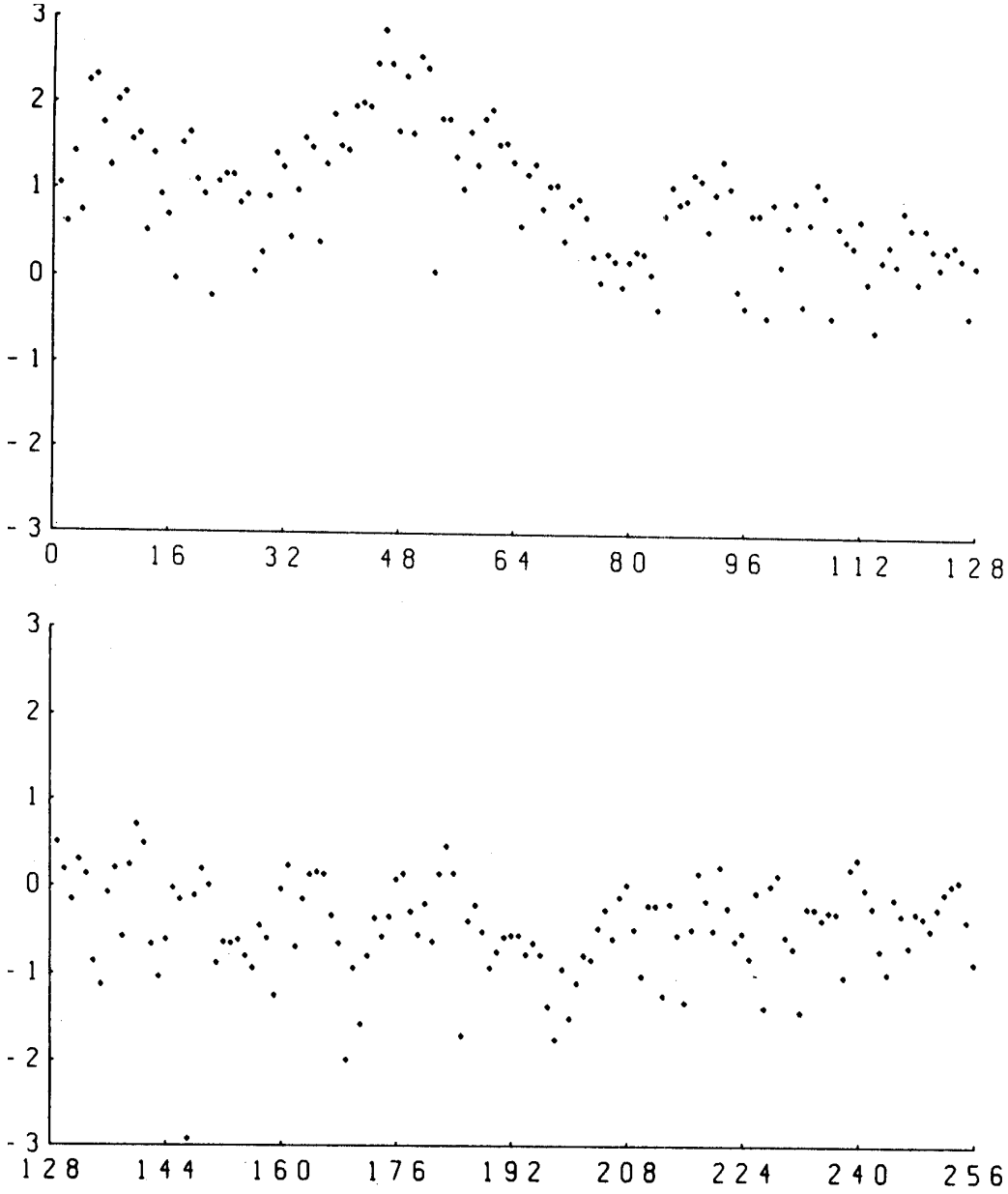

FIGURE 5. Périodogramme du nombre annuel de taches solaires aux fréquences $2\pi j/512$, $j = 1, \ldots, 257$
Source : Bloomfield (1976, p. 5)

$P = P_0$. Souvent aussi, on considère la fonction équivalente

$$\bar{I}_n(\nu) = I_n(1/\nu) = \frac{1}{n}\left\{\left[\sum_{t=1}^{n} x_t \cos(2\pi\nu t)\right]^2 + \left[\sum_{t=1}^{n} x_t \sin(2\pi\nu t)\right]^2\right\}.$$

On appelle $\bar{I}_n(\nu)$ un *spectrogramme*. Le graphique du spectrogramme du nombre de taches solaires est représenté sur le graphique 5.Anderson (1971, p. 661)[19] À partir de données couvrant les années 1750-1900, Schuster détecte une période de 11.25 ans.

Schuster propose aussi un test pour décider si un pic dans le périodogramme est statistiquement significatif. D'autres tests de cette nature ont par la suite été proposés par Walker (1914, 1925, 1927, 1931), Fisher (1929) et Bartels (1935).[20]

1901 Coefficient de corrélation sérielle (Hooker).

En étudiant la relation entre le taux de mariage et l'indice du commerce en Angleterre, R. H. Hooker (1901) fait usage pour la première fois d'un coefficient de corrélation sérielle, i.e. une corrélation entre une variable x_t et une variable y_t décalée dans le temps :

$$r_k = c_k / \, c_0$$

où

$$c_k = \frac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k} x_t y_{t+k} \, .$$

Hooker applique son coefficient de corrélation sérielle à des données corrigées pour la tendance.[21]

1901

L'utilisation de moyennes mobiles pour éliminer les fluctuations accidentelles est discutée dans l'ouvrage de Bowley *Elements of Statistics* (1901).

1904 Moyenne mobile de Spencer.

[19] Voir Anderson (1971, p. 661).
[20] Voir Davis ([1941] 1963, Chapter 7).
[21] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 46 et 52).

Cette méthode a joué ensuite un rôle important dans le développement de méthodes de désaisonnalisation.

1909-10

Méthode d'analyse harmonique d'Oppenheim (1909). Extension de la même méthode proposée par Hopfner (1910).[22]

1913-14

Extension de la méthode d'analyse harmonique de Lagrange (Dale).[23]

1914

H. Turner explicite le lien entre le périodogramme et les séries de Fourier.[24]

1914

Critère de Walker pour tester si un pic dans le périodogramme est statistiquement significatif.[25]

1914 Application du périodogramme à des données économiques (Moore).[26]
Utilisant un périodogramme calculé à partir de données annuelles portant sur la période 1839-1910, Henry L. Moore (1914) identifie un cycle de huit ans dans les précipitations sur la vallée de l'Ohio (figure 6). Il relie ce cycle à un cycle de période comparable dans la production et les prix agricoles. Dans un livre, en 1928, il attribue cette coïncidence à la conjonction de la planète Vénus et de la Terre. Il utilise, dans son étude, le périodogramme de Schuster de même que des corrélations sérielles.

1914 Utilisation de la différenciation pour éliminer la tendance d'une série chronologique (Student, Moore).

En 1914, William Sealy Gosset (Student) suggère qu'on peut éliminer la tendance d'une série chronologique en différenciant celle-ci une ou plusieurs fois (≪ variate difference method ≫). Cette méthode a ensuite été développée par Beatrice M. Cave et Karl Pearson

[22] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 30-31) et Whittaker et Robinson(1924, p. 64).
[23] Voir Davis ([1941] 1963, p. 30).
[24] Voir Cargill (1974, p. 3).
[25] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 30 et 188-189) et Walker (1914, 1925, 1927, 1930, 1931a, 1931b).
[26] Voir Cargill (1974, pp. 4-5).

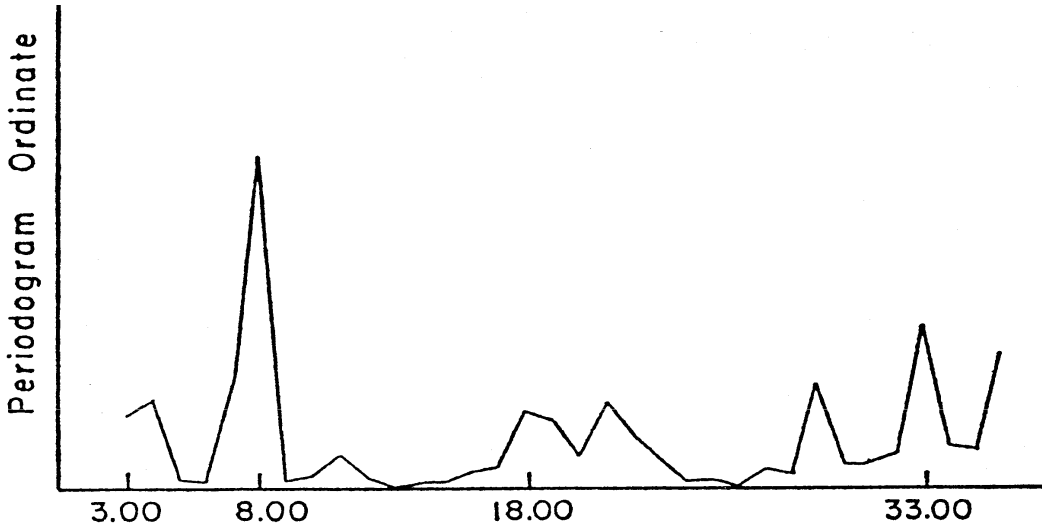

FIGURE 6. Périodogramme des chutes de pluie de la vallée de l'Ohio (Moore, 1914)
Source : Cargill (1974, p. 5)

(1914), Oscar Anderson (1914, 1923, 1927, 1929), Warren M. Persons (1916, 1917, 1922), G. U. Yule (1921) et Gerhard Tintner (1935, 1940).[27]

Dans le même esprit et afin d'estimer des courbes de demande, Henry Moore (1914) utilise les taux changements de quantités et de prix, plutôt que les données en niveaux, afin d'éliminer la tendance.[28]

1915 Désaisonnalisation (Copeland).

Copeland (1915) étudie la séparation des fluctuations saisonnières des autres composantes d'une série chronologique.

1917

Première étude des propriétés harmoniques d'une série chronologique par le biais des autocorrélations (Clayton). L'importance de la méthode sera ensuite reconnue par Denmore Alter (1927).[29]

[27] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 53-54).
[28] Voir Kim (1988, pp. 45-46).
[29] Voir Davis ([1941] 1963, p. 33).

1919 Approche standard de décomposition (Persons). Baromètre de Harvard (Persons).

En 1919, Warren Persons propose une approche globale de décomposition d'une série chronologique en quatre composantes :

$$X_t = T_t + C_t + S_t + u_t$$

où T_t est une composante tendancielle, C_t est une composante cyclique (au sens des cycles d'affaires), S_t est une composante saisonnière et u_t est une composante accidentelle (bruit). On cherchera ensuite à mesurer ou à éliminer ces différentes composantes, particulièrement la tendance et la composante saisonnière. En particulier, Persons (1919) propose une méthode pour désaisonnaliser une série chronologique (≪ link relatives method ≫).[30] Il est aussi implicite chez Persons que les fluctuations des différentes composantes peuvent être dues à des causes différentes.

Persons (1919, 1924) utilise cette approche afin de développer un indicateur de la conjoncture économique qui deviendra populaire dans les années 20 et sera connu sous le nom de ≪ baromètre de Harvard ≫. Il s'agit probablement du premier indicateur de conjoncture jamais développé.[31]

1922

Le Federal Reserve Board propose de désaisonnaliser les séries économiques en utilisant des indices saisonniers calculés à partir de ratios par rapport à une moyenne mobile.[32]

1921-22

Application du périodogramme à l'étude du prix du blé en Europe occidentale sur la période 1545-1845 (Beveridge, 1921, 1922). Le simple calcul de ce périodogramme constituait une entreprise considérable (figures 7 et 8). Les résultats suggèrent la présence de nombreux cycles superposés dont le plus important a une période d'environ 15 ans.

D'autres applications notables du périodogramme en économie sont aussi dues à Crum (1923), Wilson (1934), Greenstein (1935) et Davis (1941).[33]

[30] Voir Hylleberg (1986, pp. 10-11).
[31] Voir Gabisch et Lorenz (1989, Chapter 1, pp. 13-14) etKim (1988, Chapter 3, pp. 57-58).
[32] Voir Fishman (1969, p. 3).
[33] Voir Davis ([1941] 1963, p. 32) et Cargill (1974).

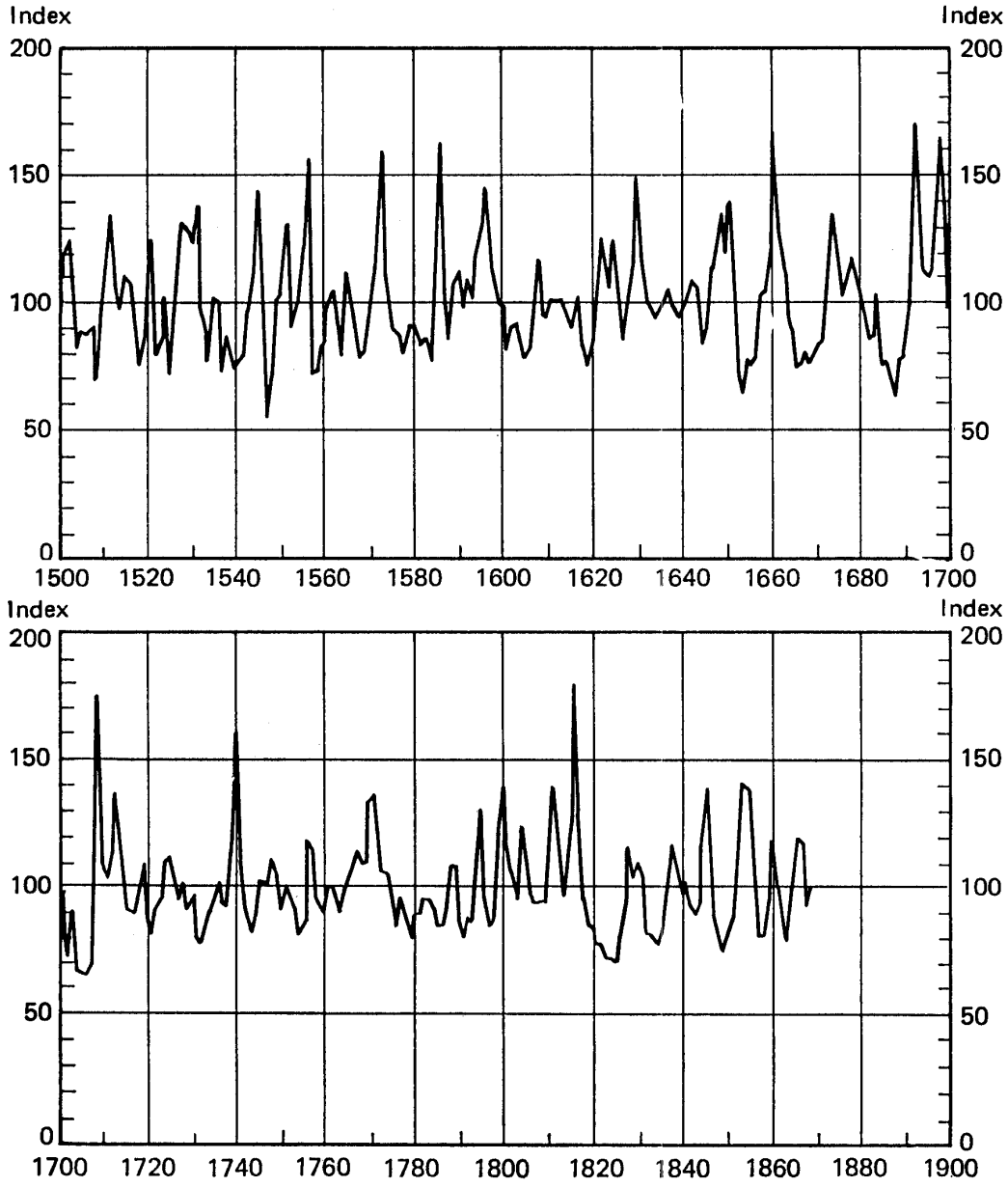

FIGURE 7. Prix du blé corrigé pour la tendance (Beveridge, 1921, 1922)
Source : Anderson (1971, p. 627)

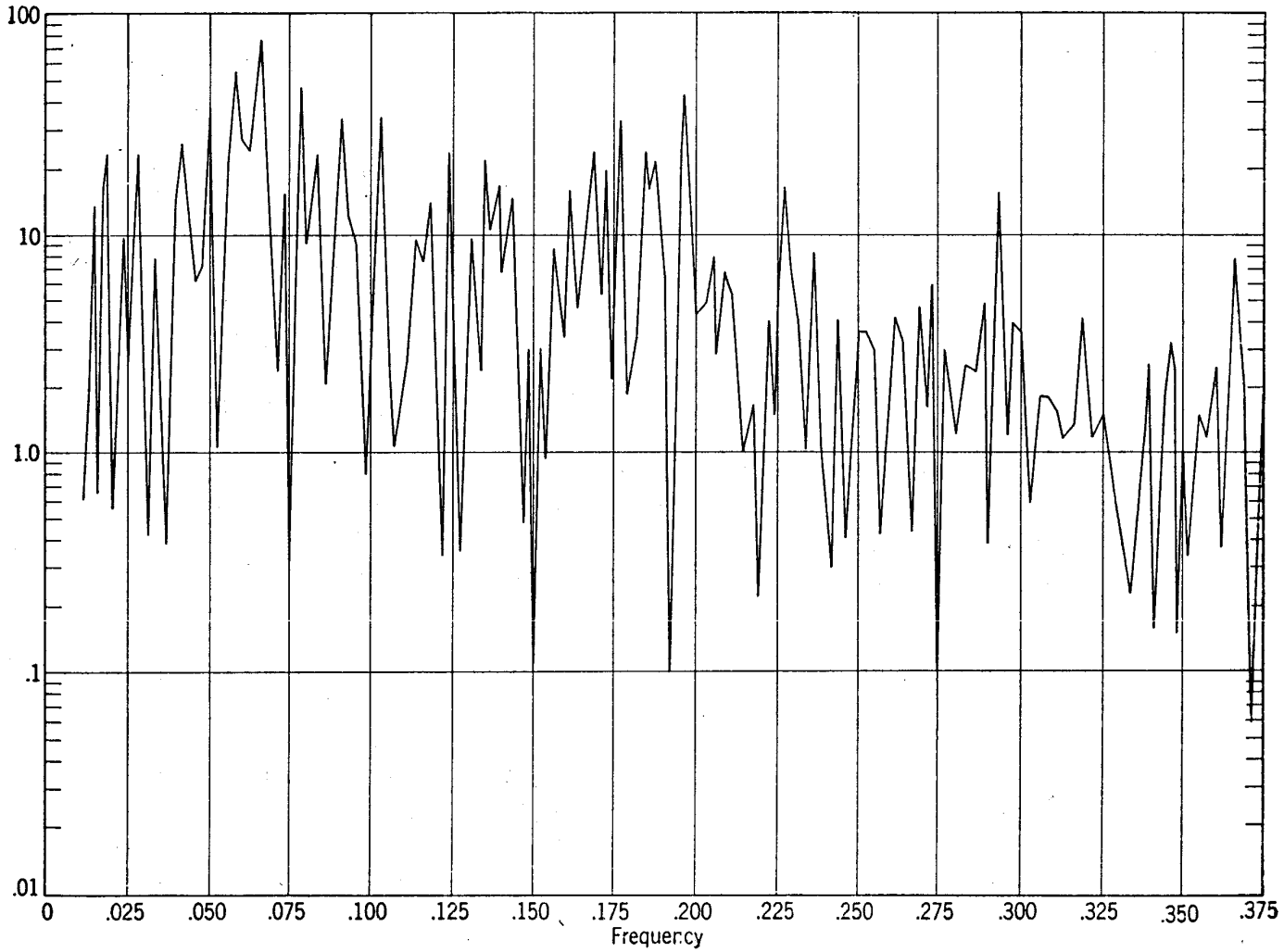

FIGURE 8. Périodogramme du prix du blé de Beveridge
Maximum à $\upsilon = 0.0656$; période$= 1/\nu = 15.24$ années
Source : Anderson (1971, p. 637)

1923

William L. Crum calcule le périodogramme d'un taux d'intérêt sur le papier commercial (données mensuelles, 1874-1913) et trouve un cycle d'environ 40 mois. Ses résultats ne sont toutefois pas très nets et Crum demeure sceptique sur l'utilité du périodogramme en économie.[34]

1924 Livre de Whittaker et Robinson *The Calculus of Observations*.

Le livre de Whittaker et Robinson (1924) est l'un des premiers livres à décrire des méthodes statistiques destinées à l'analyse des séries chronologiques, notamment le périodogramme. On y trouve un exemple particulièrement réussi d'utilisation du périodogramme (données sur la magnitude à minuit d'une étoile variable durant 600 nuits consécutives) ; voir les figures 9 et 10.[35]

1924

Pour éliminer la tendance de données économiques, Persons (1924) suggère de considérer les résidus de régressions sur le temps.[36]

1926-27 Processus de moyenne mobile (Yule, 1926 ; Slutsky, 1927).

Yule (1926) démontre que le fait de différencier un bruit aléatoire introduit des autocorrélations artificielles. Dans la même veine, indépendamment de Yule, Slutsky (1927, 1933, 1938) montre qu'en calculant une moyenne mobile à partir d'un bruit blanc, on obtient une série dont les observations ne sont pas indépendantes et qui peut présenter des cycles apparents (« effet Slutsky »).[37]

Ce sont là probablement les deux premiers exemples de processus de moyenne mobile étudiés formellement.

1927 Modèle autorégressif (Yule).

En 1927, Yule propose le modèle autorégressif et trouve qu'un modèle autorégressif d'ordre 2 représente assez bien le comportement des données de Wolfer sur les taches solaires. Yule

[34] Voir Cargill (1974, p. 7).
[35] Voir Bloomfield (1976, Sections 1.1 et 5.1).
[36] Voir Kim (1988, p. 47).
[37] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 38 et 149-155).

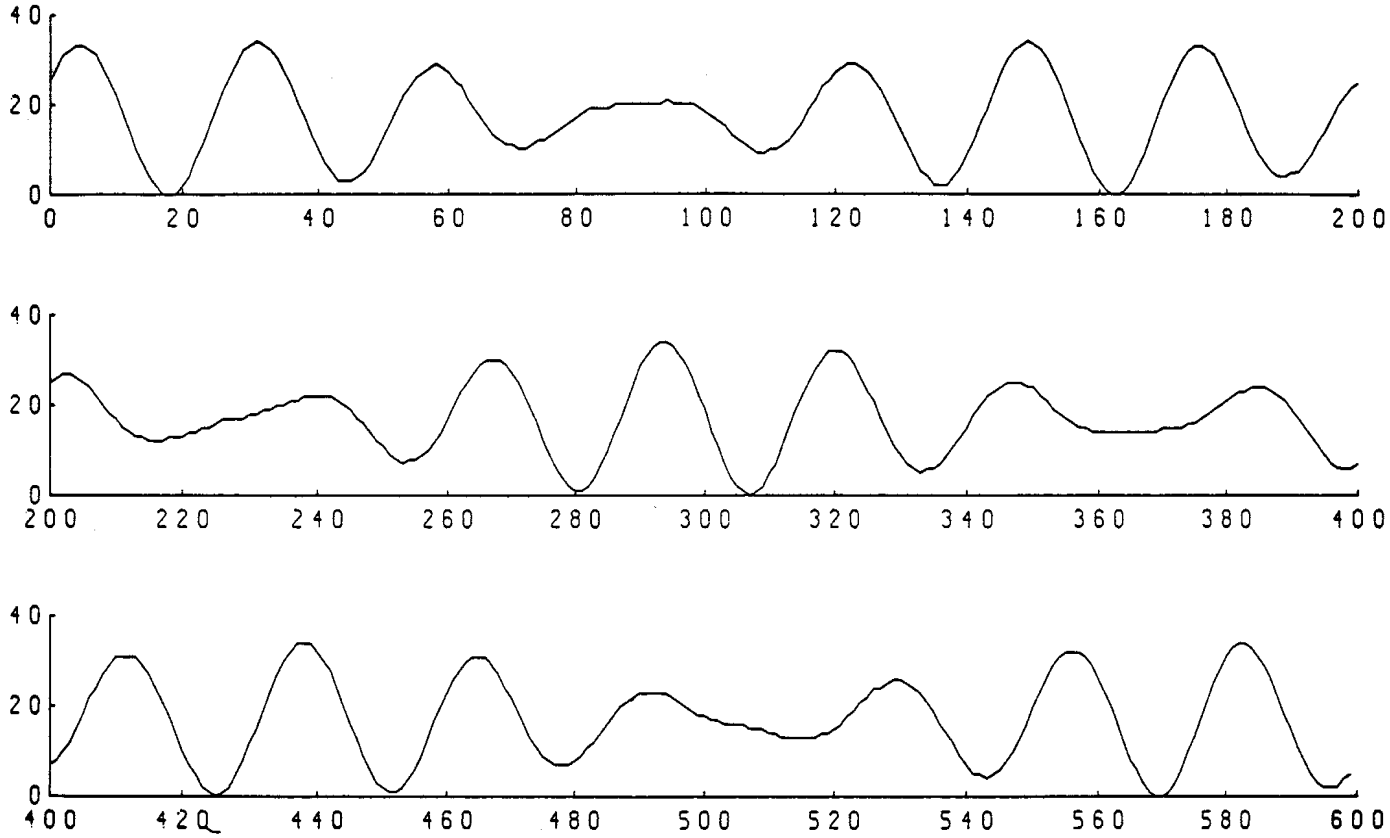

FIGURE 9. Magnitude d'une étoile variable au cours de 600 nuits (Whittaker et Robinson, 1924)
Source : Bloomfield (1976, p. 3)

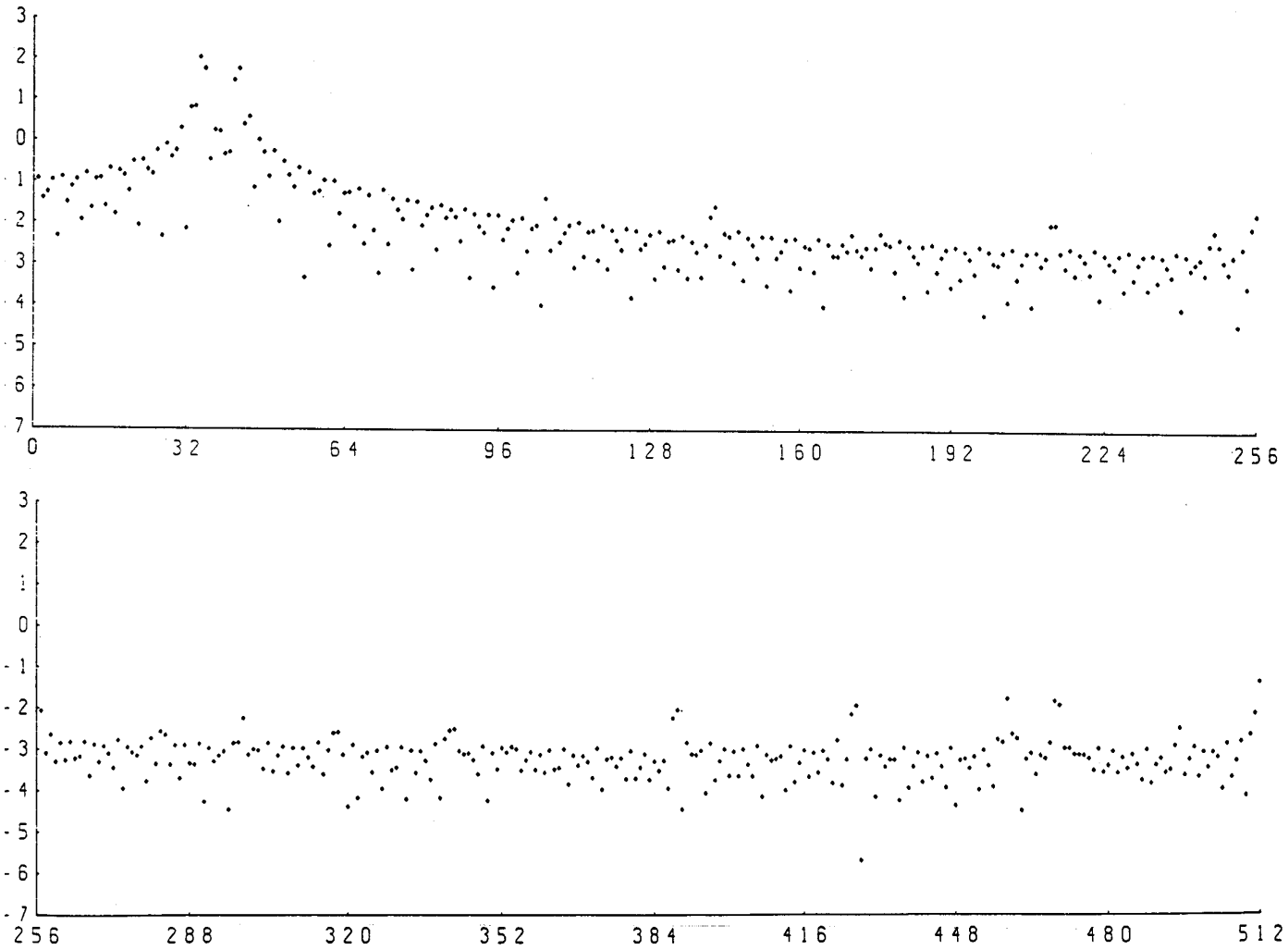

FIGURE 10. Périodogramme des données sur la magnitude d'une étoile variable aux fréquences $2\pi j/1024$, $j = 1, \ldots, 513$
Source : Bloomfield (1976, p. 79)

montre que le modèle autorégressif peut conduire à l'apparition de fluctuations cycliques. Toutefois, les caractéristiques d'amplitude et de phase de ces cycles sont variables.[38]

1927 Distinction entre oscillations forcées et oscillations libres (Hotelling).

En 1927, Harold Hotelling fait la distinction entre deux types de théories du cycle économique : les théories basées sur des « oscillations forcées » et les théories basées sur des « oscillations libres ». Les premières font intervenir des forces extérieures au système économique (e.g., le climat), tandis que les secondes font dépendre les cycles de la structure interne du système. Plus tard, on parlera de théories « exogènes » et de théories « endogènes ».[39]

1928

Frisch propose une méthode d'analyse harmonique permettant de détecter les changements d'amplitude et de phase.[40]

1928

Pour éliminer la tendance des données lors de l'estimation de courbes de demande, Henry Schultz (1928, 1938) propose de considérer les ratios des données brutes par rapport à la tendance ajustée (« trend ratios »).[41]

1929

Test de Fisher pour la présence d'un pic dans le périodogramme.[42]

1929 Propriétés du périodogramme (Slutsky).

Slutsky (1929, 1934) étudie les propriétés du périodogramme pour des séries chronologiques autocorrélées. Ses résultats sont basés sur une hypothèse de normalité et une hypothèse de processus mélangeant.[43]

[38] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 38-39).
[39] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 36-37).
[40] Voir Davis ([1941] 1963, p. 40).
[41] Voir Kim (1988, p. 46).
[42] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 30 et 189-191). L'ensemble des méthodes permettant de déterminer les périodes significatives seront ensuite résumées par Brunt (1931) et Stumpff (1937).
[43] Voir Brillinger (1975, Chapter 1, p. 9).

1931 Relation entre périodogramme et autocorrélations (Walker).

Gilbert Walker (1931) étudie les propriétés harmoniques d'une série chronologique à partir des autocorrélations d'une série chronologique. Pour un processus autorégressif, il se sert des fameuses ≪ équations de Yule-Walker ≫.[44]

1930-50 *Développement de la théorie des processus stationnaires* (Wiener, 1930, 1940, 1949 ; Khintchine, 1932, 1934 ; Wold, 1938 ; Kolmogorov, 1941 ; Cramer, 1937, 1940, 1942, 1951).

1930 Analyse harmonique généralisée (Wiener).

Les résultats de Wiener incluent des définitions précises de la fonction d'autocovariance et du spectre d'une série chronologique, le développement de représentations spectrales pour la fonction d'autocovariance et la série elle-même, ainsi qu'une étude mathématique des opérations de filtrage. Ces résultats se prêtent bien à une utilisation empirique.[45] Ainsi, la méthode de Wiener est rapidement appliquée par Kenrick (1929).[46]

1931

Théorème ergodique de Birkhoff.

1938

Thèse de H. Wold, *A Study in the Analysis of Stationary Time Series*.

1938

Théorème de décomposition de Wold.

1939-42

Théorie de la prévision optimale (Kolmogorov, Wiener).

1949

[44] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 55-56).
[45] Voir Brillinger (1976, pp. 269-270).
[46] Voir Davis ([1941] 1963, p. 33).

Livre de N. Wiener, *Time Series*, qui résume ses travaux sur la théorie des séries chronologiques.

1930-41 *Application de modèles de séries chronologiques à l'explication des cycles économiques.*

1933 Distinction entre chocs et mécanismes de propagation (Frisch).

Sur la base des analyses théoriques de Wicksell, Frisch (1933) souligne l'importance de faire la distinction entre chocs et mécanismes de propagation dans la construction de modèles économiques dynamiques.[47]

1934 Critique de la décomposition des séries chronologiques (Roos).

C. F. Roos (1934) critique la pratique qui consiste à enlever la tendance d'une série chronologique avant de l'étudier. Si on n'explique pas la tendance, cela signifie que des facteurs importants sont laissés de côté. La pratique de la décomposition est aussi critiquée par Haberler (1963).[48]

1934

Edwin B. Wilson applique la technique la périodogramme pour étudier un indice mensuel d'activité économique aux U.S.A. (janvier 1790 - décembre 1929). Après avoir calculé des périodogrammes pour quatre sous-périodes (1790-1929, 1790-1859, 1825-1894, 1860-1925), il conclut qu'il n'y a pas de périodicité stable dans l'activité économique américaine. Il demeure toutefois pessimiste quant à l'utilité potentielle de la technique du périodogramme en économie.[49]

1935

Benjamin Greenstein applique le périodogramme au ratio entre le nombre de faillites et le nombre de firmes (1867-1932) et trouve des pics relatifs à 9.14 et 10 ans. De façon analogue à Beveridge, Crum et Wilson, il ne trouve pas de périodicité exacte dans les données.[50]

1937-39

[47] Voir Davis ([1941] 1963, pp. 37-38).
[48] Voir Kim (1988, Chapter 3, pp. 58-59).
[49] Voir Cargill (1974, pp. 7-8).
[50] Voir Cargill (1974, p. 8).

Livres de Stumpff (1937, 1939) sur l'analyse harmonique et la recherche des périodicités.[51]

1938

Article important de Slutsky sur la modélisation des ≪ cycles ≫ économiques par des modèles de moyenne mobile.[52]

1939 Travaux de Tinbergen sur les cycles économiques.

L'étude de Tinbergen (1939) est la première étude empirique des fluctuations économiques à être centrée sur la distinction entre chocs et mécanismes de propagation, plutôt que sur l'identification de périodicités.[53]

1941

Livre de H. T. Davis, *The Analysis of Economic Time Series*, premier ouvrage d'importance sur l'analyse des séries économiques. Davis y présente notamment plusieurs périodogrammes originaux. Le livre de Davis est le dernier ouvrage qui tente d'établir le périodogramme comme un instrument majeur en économie. Après les années 30, les économistes se sont désintéressés de ce genre d'analyse en économie. Les raisons principales en sont :

(1) l'absence apparente de périodicités exactes en économie (Mitchell) ;

(2) le fait que le nombre de cycles suggérés par les périodogrammes est habituellement très grand ;

(3) les coûts de calcul importants ;

(4) le haut degré de sophistication mathématique requis de l'utilisateur.[54]

1940-50 *Début de l'approche économétrique à l'analyse des fluctuations économiques (Cowles Commission).*[55]

Suite aux travaux de Slutsky, Frisch et Tinbergen sur les fluctuations économiques et suite au développement de la statistique mathématique, les chercheurs de la Cowles Commission

[51] Voir Brillinger (1975, Chapter 1, p. 10).
[52] Voir Fishman (1969, p. 3).
[53] Voir Kim (1988, Chapter 3, pp. 62-64).
[54] Voir Cargill (1974).
[55] Voir Kim (1988, Chapter 3, pp. 66-69).

développent une approche combinant plusieurs éléments :

(1) l'estimation de ≪ modèles structurels ≫ basés sur la théorie économique ;

(2) l'explication des cycles économiques par la combinaison de chocs et de mécanismes de propagation ;

(3) l'utilisation de la statistique mathématique dans l'analyse des données ;

(4) l'utilisation des modèles économétriques pour analyser les politiques.

Le développement de cette approche fera ensuite baisser l'intérêt pour la mesure des caractéristiques cycliques des fluctuations économétriques ou pour le développement de modèles de séries chronologiques simples. L'intérêt des économètres se portera plutôt sur l'estimation de grands modèles économétriques (Klein, 1950 ; Klein et Goldberger, 1955).

Jusqu'au début des années 70, la recherche économétrique sera dominée par l'étude du modèle de régression et par les modèles à équations simultanées.

1947 Approche de Burns et Mitchell à l'analyse empirique des fluctuations économiques.

La publication du livre de Burns et Mitchell a été suivie d'un débat animé sur la ≪ mesure sans théorie ≫ entre les chercheurs associés à la Cowles Commission (Koopmans) et ceux associés au National Bureau of Economic Research (Vining).

1946-70 *Développement de l'analyse spectrale.*[56]

Après le développement de la théorie des processus stationnaires et l'introduction de la notion de spectre d'une série stationnaire durant les années 1925-45, l'analyse spectrale empirique se développe rapidement et les applications se multiplient, notamment en physique, en génie (électrique, particulièrement), en acoustique, en géophysique, en médecine, en économie, en biologie, en psychologie et en analyse numérique.[57]

1946 Périodogramme lissé (Daniell).

[56] Voir Bloomfield (1976, pp. 6-7), Brillinger (1975, Chapter 1), Cargill (1974) et Granger et Engle (1983).

[57] Pour une liste d'exemples, voir Brillinger (1975, Chapter 1, pp. 10-12), Cargill (1974) et Granger et Engle (1983).

Après qu'on ait observé que le périodogramme a souvent une allure très irrégulière et ne constitue pas un estimateur convergent de la densité spectrale d'un processus stationnaire, Daniell (1946) fait remarquer qu'un périodogramme lissé peut constituer un estimateur convergent du spectre d'une série chronologique stationnaire. Plusieurs autres estimateurs spectraux convergents ont par la suite été proposés.

1949

Estimateurs spectraux de Tukey et Tukey-Hamming.

1950

Estimateur spectral de Bartlett.

1953

Article important de Grenander et Rosenblatt sur l'estimation spectrale.

1953

Périodogrammes croisés (Whittle).

1957

Articles importants de Parzen sur l'estimation spectrale.

1957

Estimateurs spectraux de Lomnicki-Zaremba et Parzen.

1957

Livre de Grenander et Rosenblatt, *The Statistical Analysis of Stationary Time Series*, qui expose la nouvelle analyse spectrale.

1957

Analyse spectrale bivariée (N. R. Goodman).

1959

Livre de R. B. Blackman et J. W. Tukey, *The Measurement of Power Spectra from the Point of View of Communications Engineering*, qui expose la nouvelle analyse spectrale d'un point de vue accessible aux ingénieurs.

1961

Estimateur spectral de Parzen.

1962

Estimateur spectral de Bartlett-Priestley.

1959-64 ≪ Time Series Project ≫ à l'Université Princeton.

Faisant suite à une initiative d'Oskar Morgenstern et John von Neumann, ce projet cherche à appliquer les méthodes spectrales en économie. John Tukey, Herman Karreman, Michio Hatanaka et Clive Granger ont notamment été impliqués dans le projet. Les principaux résultats en sont résumés dans le livre de C. W. J. Granger et M. Hatanaka, *Spectral Analysis of Time Series* (1964).[58]

1963

Test spectral de l'hypothèse de la promenade aléatoire pour des prix d'action en bourse (Granger et Morgenstern).

1960-64

Application de l'analyse spectrale à l'étude des procédures de désaisonnalisation (Hannan, 1960, 1963, 1964 ; Nerlove, 1964).[59]

1963

Application des méthodes spectrales à l'estimation de modèles à retards échelonnés (Hannan).

1965

[58] Voir Granger et Engle (1983, pp. 93-94).
[59] Voir Fishman (1969, p. 5).

Transformée de Fourier rapide (Cooley et Tukey). Méthode numérique très importante pour l'application des méthodes spectrales.

1966

Hypothèse de la « forme spectrale typique » des données économiques (Granger).

1965-67

Périodogrammes d'ordre supérieur à deux (Rosenblatt et van Ness, 1965 ; Brillinger et Rosenblatt, 1967). Ces périodogrammes sont importants pour l'étude des processus non gaussiens et non linéaires.

1968

Application de l'analyse spectrale pour tester la présence des cycles d'affaires (Howrey ; Harkness).

1969

Test d'autocorrélation basé sur le périodogramme (Durbin).

1971

Étude de séries de prix américains par des méthodes spectrales (Nerlove).

1971

Analyse des propriétés dynamiques d'un modèle structurel (Klein-Goldberger) par des méthodes spectrales (Howrey).

1974

« Band Spectrum Regression » (Engle).

1975

Analyse spectrale en composantes principales (Brillinger).

1975-77

Analyse factorielle spectrale (Geweke, 1975, 1977 ; Sargent et Sims, 1977).

1940-80 *Développement de l'approche temporelle à l'analyse des séries chronologiques.*

1940-42

Premières contributions à l'étude statistique de tests d'autocorrélation pour des séries gaussiennes (Mauchly, 1940 ; von Neumann, 1941, 1942 ; Young, 1941 ; Williams, 1941 ; R. L. Anderson, 1942).[60]

1943

Distribution asymptotique d'estimateurs d'équations de récurrence stochastiques (Mann et Wald).[61]

1946

Distribution asymptotique des autocorrélations pour un processus stationnaire (Bartlett).

1949

Article de Cochrane et Orcutt sur l'estimation de modèles de régression avec autocorrélation.[62]

1949-51

Tests d'autocorrélation dans les modèles de régression (Durbin et Watson). [63]

1954 Première version de la méthode de désaisonnalisation Census.

Cette méthode est devenue par la suite la méthode $X - 11$.

1960

[60] Voir King (1987, pp. 20-21).
[61] Voir Kim (1988, Chapter 3, p. 64).
[62] Voir Hannan (1987).
[63] Voir King (1987).

Méthode du lissage exponentiel (Winters, Brown).

1969

Notion de causalité de Granger.

1970

Approche de Box et Jenkins pour l'ajustement de modèles ARIMA et la prévision.

1971

Test de causalité (Sims).

1972

Démonstration qu'un modèle ARIMA simple peut produire de meilleures prévisions économiques (ou, à tout le moins, d'aussi bonnes prévisions) qu'un grand modèle économétrique (Cooper, 1972 ; Naylor, Seaks et Wichern, 1972).

1974

Début de la synthèse entre modèles de séries chronologiques et modèles économétriques (Zellner et Palm).

1980

Autorégressions vectorielles et critique des modèles économétriques traditionnels (Sims).

1980

Approche progressive de Hendry pour la construction de modèles économétriques.[64]

1981

Généralisation de l'approche de Box et Jenkins à des processus vectoriels (Tiao et Box).

1982

[64] Voir Kim (1988, Chapter 5, pp. 103-107).

Méthode généralisée des moments (Hansen).

2. Notes bibliographiques

Le lecteur d'autres références et discussions de l'analyse statistique des séries chronologiques dans : Brillinger (1976), Owen (1976), Droesbeke et Tassi (1990), Droesbeke, Fichet et Tassi (1989), Epstein (1987), Fienberg (1992), Granger et Hatanaka (1964), Kailath (1977), Koopmans (1983), Morgan (1990), Menderhausen (1937*a*), Menderhausen (1937*b*), Spanos (1986) et Wiener (1938).

Références

Anderson, T. W. (1971), *The Statistical Analysis of Time Series*, John Wiley & Sons, New York.

Bloomfield, P. (1976), *Fourier Analysis of Time Series : An Introduction*, John Wiley & Sons, New York.

Brillinger, D. R. (1975), *Time Series : Data Analysis and Theory*, Holt, Rinehart and Winston, New York.

Brillinger, D. R. (1976), Some history of the data analysis of time series in the United States, *in* (Owen 1976).

Brillinger, D. R. et Krishnaiah, P. R., eds (1983), *Handbook of Statistics 3 : Time Series in the Frequency Domain*, North-Holland, Amsterdam.

Cargill, T. F. (1974), 'Early applications of spectral methods to economic time series', *History of Political Economy* **6**, 1–16.

Davis, H. T. ([1941] 1963), *The Analysis of Economic Time Series*, number 6 *in* 'Cowles Commission Monograph Series', The Principia Press of Trinity University, San Antonio, TX.

Droesbeke, J.-J., Fichet, B. et Tassi, P., eds (1989), *Séries chronologiques : théorie et pratique des modèles ARIMA*, Economica, Paris.

Droesbeke, J.-J. et Tassi, P. (1990), *Histoire de la statistique*, collection Que sais-je ?, n° 2527, Presses Universitaires de France, Paris.

Epstein, R. J. (1987), *A History of Econometrics*, North-Holland, Amsterdam.

Fienberg, S. E. (1992), 'A brief history of statistics in three and one-half chapters : A review essay', *Statistical Science* **7**, 208–225.

Fishman, G. S. (1969), *Spectral Methods in Econometrics*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Funkhauser, H. G. (1936), 'A note on a tenth century graph', *Osiris* **1**(January), 260–262.

Gabisch, G. et Lorenz, H.-W. (1989), *Business Cycle Theory : A Survey of Methods and Concepts*, second, revised, and enlarged edn, Springer-Verlag, Berlin.

Granger, C. W. J. et Engle, R. F. (1983), Applications of spectral analysis in econometrics, *in* (Brillinger et Krishnaiah 1983), chapter 5, pp. 93–109.

Granger, C. W. J. et Hatanaka, M. (1964), *Spectral Analysis of Economic Time Series*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Hannan, E. J. (1987), The Cochrane and Orcutt papers, *in* (King et Giles 1987), pp. 9–18.

Hylleberg, S. (1986), *Seasonality in Regression*, Academic Press, Orlando, FL.

Kailath, T. (1977), A view of three decades of linear filtering theory, *in* T. Kailath, ed., 'Linear Least-Squares Estimation', number 17 *in* 'Benchmark Papers in Electrical Engineering and Computer Science', Dowden, Hutchison & Ross, Stroudsburg, PA, pp. 10–45.

Kim, K. (1988), *Equilibrium Business Cycle Theory in Historical Perspective*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

King, M. L. (1987), Testing for autocorrelation in linear regression models : A survey, *in* (King et Giles 1987), pp. 19–73.

King, M. L. et Giles, D. E. A., eds (1987), *Specification Analysis in the Linear Model : In Honour of Donald Cochrane*, Routledge & Kegan Paul.

Koopmans, L. H. (1983), A spectral analysis primer, *in* (Brillinger et Krishnaiah 1983), chapter 9, pp. 169–171.

Menderhausen, H. (1937*a*), 'Annual survey of statistical technique : Methods of computing and eliminating changing seasonal fluctuations', *Econometrica* **5**, 234–262.

Menderhausen, H. (1937*b*), *Les variations du mouvement saisonnier et la construction*, George et Cie, Genève, Suisse.

Morgan, M. S. (1990), *The History of Econometric Ideas*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Nerlove, M., Grether, D. et Carvalho, J. L. (1979), *Analysis of Economic Time Series : A Synthesis*, Academic Press, New York.

Owen, D. B., ed. (1976), *On the History of Statistics and Probability*, Marcel Dekker, New York.

Schumpeter, J. A. (1954), *History of Economic Analysis*, Oxford University Press, Cambridge, U.K.

Spanos, A. (1986), *Statistical Foundations of Econometric Modelling*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Tilling, L. (1975), 'Early experimental graphs', *Journal for the History of Science* **8**, 193–213.

Tufte, E. R. (1983), *The Visual Display of Quantitative Information*, Graphics Press, Cheshire, Connecticut.

Wiener, N. (1938), 'The historical background of harmonic analysis', *American Mathematical Society Semicentennial Publication* **2**, 56–68.