

7656

(53) 1588

Annales

*Économies Sociétés
Civilisations*

Extrait du numéro 1, Janvier-Février 1988

Librairie Armand Colin
103, boulevard Saint-Michel, 75005 PARIS

CHRISTIAN PFISTER

FLUCTUATIONS CLIMATIQUES ET PRIX CÉRÉALIERS EN EUROPE DU XVI^e AU XX^e SIÈCLE

I. — *Le problème*

Les économistes et les géographes, de Thomas W. Tooke à W. Stanley Jevons, Eduard Brückner, Ellsworth Huntington, Lord Beveridge et Eli Heckscher, des historiens tels que Jean Georgelin ou Michel Morineau, estiment que les cycles climatiques jouent un rôle important dans la vie économique par leurs répercussions sur les récoltes et leurs influences sur le niveau des prix¹. La théorie de Labrousse sur la conjoncture préindustrielle considère la récolte (et donc les problèmes climatiques sous-jacents à la production céréalière) comme l'élément déterminant par l'influence qu'elle exerce sur les prix des céréales et le niveau d'emploi rural, ces deux éléments fixant à leur tour les revenus urbains. Ainsi que l'a écrit Fernand Braudel : « rythme, qualité et insuffisance des récoltes régissent la vie matérielle »².

Selon de nombreux historiens économistes, la formation du prix des céréales relève davantage des contraintes du marché que du niveau des récoltes. Jan De Vries indique, par exemple :

in early modern Europe the level of economic integration was sufficient — including trade, markets, inventory formation, and even futures trading — to loosen greatly the asserted links between weather and harvests and between harvests and economic life more generally³.

Si l'on peut accepter une telle conclusion pour les régions côtières anglaises ou hollandaises, où les céréales peuvent être importées par mer en grande quantité

et à des prix relativement modiques, il n'en va pas de même pour les vastes régions de l'intérieur du continent. Quiconque connaît l'histoire des transports en Europe, avant l'arrivée du chemin de fer, peut aisément rejeter cette généralisation hâtive. Récemment, Roger Price a montré qu'en France, au début du XIX^e siècle, les difficultés de transport des régions de surproduction ou des ports d'importation vers les zones de pénurie, avaient réduit, de toute évidence, la capacité du marché à niveler les prix malgré l'importance du réseau de canaux et de routes. Du fait de l'insuffisance des communications, la structure compartimentée du marché demeure une réalité profonde⁴. Dans les régions éloignées des ports de mer, et jusqu'à l'établissement d'une liaison par chemin de fer, les influences météorologiques demeurent une composante essentielle dans la formation du prix des céréales. Pour Schumpeter, le niveau des récoltes garde son importance même après l'avènement du chemin de fer⁵. Cependant, ni les partisans de la thèse de Labrousse, ni ceux pour qui les fluctuations des prix céréaliers résultent, même dans les zones continentales, des contraintes du marché international, n'ont fourni un ensemble de preuves suffisamment crédibles pour soutenir leur argumentation.

Pendant combien de temps et dans quelle mesure les économies et les sociétés européennes sont-elles restées soumises aux variations climatiques ? Le débat demeure ouvert. Il reste encore à déterminer si les influences météorologiques se limitent aux cycles de court terme (les Kitchins) ou s'ils sont aussi inclus dans la genèse des mouvements cycliques de long terme (les Kuznets ou les Kondratieffs).

La tendance actuelle à une augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère conduit une majorité de climatologues à prévoir des changements de climat dans le futur qui engendreront des problèmes réels pour nos systèmes de culture⁶. Il est difficile de concilier cette vision avec celle couramment proposée par la plupart des historiens, et même des spécialistes de l'histoire du climat, selon laquelle, dans le passé, les conséquences d'un changement climatique à court terme ont été faibles et peut-être même négligeables pour l'homme⁷. S'il existe, pour nos systèmes de culture, qui bénéficient aujourd'hui de la technologie moderne, des problèmes dus aux changements climatiques, l'éventualité de problèmes similaires pour des systèmes de culture anciens et plus archaïques ne mérite-t-elle pas, elle aussi, un examen identique ? Depuis que quelques historiens économistes ont remis en question l'existence d'une évolution historique du climat, le sort de ce dernier, en tant que variable explicative de l'analyse historique, repose sur le développement des mesures de son influence⁸.

II. — Prolégomènes à la construction du modèle

Jan De Vries conclut que tout test de l'influence du climat devrait prendre la forme d'un modèle qui incluerait également les autres variables significatives. Ainsi qu'il le suggère, un modèle économétrique dans lequel les prix résulteraient du niveau d'équilibre entre l'offre et la demande pourrait être envisagé.

Dans le cas de la Hollande, la demande varie en fonction du prix, du revenu par tête et des réserves. L'offre est fonction des prix pratiqués au cours des

années précédentes, des importations, des variables non économiques qui, à l'exemple des guerres et des embargos dans la Baltique, sont susceptibles d'affecter les importations, et enfin, des variations climatiques qui constituent les facteurs essentiels de la réussite des récoltes⁹. Aux Pays-Bas, la sécurité alimentaire est essentiellement liée aux importations en provenance de la Baltique, acheminées par mer en grandes quantités. Secteur économique important, le commerce nécessite une flotte puissante pour protéger l'accès à la mer. Néanmoins, ce modèle ne peut être appliqué à la Suisse dont la situation géographique et l'environnement social sont fondamentalement différents. Vivre en autarcie est pratiquement une obligation pour ce pays situé au cœur du continent et qui donne naissance à de grands fleuves européens sans offrir d'accès à des voies navigables peu coûteuses. La région du Nord où la protoindustrialisation s'était développée après la guerre de Trente Ans, importait des céréales des contrées voisines de l'Alsace et de la Souabe ; toutefois, la plupart des habitants, engagés dans l'activité manufacturière, continuaient à produire une partie de leurs propres ressources vivrières¹⁰ ; un risque de blocus des importations à la suite d'une guerre était toujours possible, et les niveaux de récoltes de contrées cérésières avoisinantes coïncidaient souvent avec ceux du pays. La Suisse était, par ailleurs, un pays de fermiers et de petits paysans, à l'exemple de nombreuses régions françaises, et cette structure sociale affectait profondément l'organisation du marché. Pierre Goubert a démontré qu'il existait, sous l'Ancien Régime, une dichotomie fondamentale dans la population française : une minorité était « indépendante » c'est-à-dire capable de surmonter la plupart des crises et même de vendre un surplus sur le marché ; mais la majorité — petits paysans, journaliers et artisans — étaient économiquement « dépendants ». Ces derniers possédaient, dans de nombreux cas, des moyens de production vivrière, un lopin de terre, une vache ou deux chèvres, mais ils restaient incapables de nourrir leurs familles lors de mauvaises récoltes. Confrontés à une crise alimentaire, ils pouvaient tomber au-dessous du seuil de survie¹¹. Leur degré de dépendance à l'égard du marché était fonction du volume de leur propre production vivrière (et, par conséquent, des conditions climatiques). Lors d'un effondrement de la production alimentaire, l'affluence et la demande des consommateurs sur le marché engendraient une flambée des prix. La demande est donc fonction de l'importance de la récolte (ou plus précisément de la production vivrière) et des conditions climatiques ; les prix, l'évaluation des réserves par les autorités et par les individus, les exportations constituent les autres variables.

En matière d'approvisionnement, il faut tenir compte des denrées de substitution. Dans son analyse classique de la crise de subsistance de 1693, en France, Pierre Goubert a montré que les pauvres tentaient de remplacer les céréales de leur pain quotidien (mélange de froment et de seigle) par d'autres meilleur marché comme l'orge, l'avoine ou le sarrasin¹². Andrew Appleby a observé qu'en France, les prix des différentes céréales augmentaient symétriquement, ce qui laisse supposer des récoltes printanières également inadéquates. A la même époque, en Angleterre, les pauvres qui consommaient de l'orge et de l'avoine, même en période faste, possédaient des céréales de remplacement à des prix parfaitement raisonnables, ce qui prouve une diversification plus protectrice contre les intempéries¹³.

Les dîmes en nature, en particulier lorsqu'on les agrège dans de vastes régions, remplacent souvent les données manquantes de la production céréalière¹⁴. En Suisse on a comparé, dans le canton de Berne pour la période 1755-1797, les revenus globaux de la dîme et le prix de l'épeautre. Bien que la dîme représente 57 % de la récolte du canton en céréales d'hiver (27 800 t), un rapport de corrélation ne prend en compte que 25 % de la variation des prix. Cette différence tient, d'une certaine façon, à la culture de la pomme de terre qui constitue déjà à cette époque la nourriture de base des classes les plus défavorisées. Si l'on exclut, d'une part, les quatre années au cours desquelles les récoltes de céréales et de pommes de terre furent également désastreuses (ce qui peut partiellement justifier l'augmentation supplémentaire de la demande que reflète une hausse disproportionnée des prix) et, d'autre part, l'année 1785 où une abondante récolte d'été compensa largement la récolte catastrophique de l'hiver, on peut expliquer 50 % de la variation des prix au cours des trente-huit autres années restantes¹⁵. Cependant, le problème des 50 % non pris en compte demeure entier. Il est bien connu que les produits laitiers ainsi que les fruits et légumes fournis par les potagers constituent d'importantes sources alimentaires pour la majorité de la population. L'approvisionnement devient ainsi une variable très complexe dont de nombreuses composantes n'ont pas été étudiées.

L'offre est donc fonction de la production vivrière globale, des prix pratiqués au cours des années antérieures, des réserves accumulées par les autorités et les individus, des importations, des guerres et des embargos (lors des mauvaises récoltes) dans les greniers à blé voisins de l'Alsace et de l'Allemagne du Sud. Inutile de dire que l'on n'a aucune chance d'élaborer un modèle incluant toutes ces variables.

Mais quelles sont les données minimales nécessaires pour tester, sans saper par avance les résultats, les influences significatives du climat sur les prix ? La production vivrière domestique est, vraisemblablement, la variable qui influence le plus l'offre et la demande. La connaissance de son niveau en termes absolus (d'ailleurs impossible à déterminer) présente peu d'intérêt ; il n'en est pas de même de la mesure de ses fluctuations qui dépendent, pour beaucoup, des conditions météorologiques. Dès lors, on élaborera un modèle à partir de paramètres climatiques qui ont une influence sur les principales sources de production. Ce modèle doit être, toutefois, en accord avec les conditions historiques et avec les connaissances agronomiques actuelles. La validité d'un tel modèle peut être vérifiée en construisant les courbes chronologiques théoriques des effets du climat et en les comparant aux fluctuations réelles du prix des céréales. Cela permettra d'adapter les propriétés du modèle à la courbe des prix. La comparaison de celle-ci avec la meilleure courbe des influences climatiques devrait alors permettre de distinguer les fluctuations des prix dues aux variables météorologiques, et celles qui sont liées aux autres variables, en particulier les guerres et les embargos.

Cette comparaison devrait aussi déceler l'amélioration des transports vivriers grâce au développement économique et à une organisation plus rationnelle de l'administration publique. Face à des variables météorologiques indépendantes de l'homme, la courbe des prix qui représente le versant humain de l'équation peut alors être interprétée en termes de modification de la vulnérabilité à l'égard du climat. Si la comparaison est menée jusqu'à aujourd'hui, on

peut même imaginer une sorte « d'histoire contrefactuelle » qui poserait d'hypothétiques questions comme celle-ci : quelles crises de subsistance auraient marqué la fin du XIX^e siècle et le XX^e siècle si le système moderne des transports n'avait pas été développé ?

Ce modèle de simulation d'influence, élaboré à partir des variables qui régissent réellement la production alimentaire, doit aussi pouvoir rendre compte des changements climatiques à long terme qui jouent un rôle dans l'explication historique. Ceci constitue le point le plus passionnant de l'histoire du climat. F. Braudel écrivait dans la première édition (1949) de son ouvrage classique, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II* :

Tout le drame social de la faim que nous aurons à examiner avec le siècle finissant a-t-il sa vraie racine dans un dérèglement, même assez léger, des conditions atmosphériques ?

Vingt ans plus tard, il déclarait : « C'est partout que le "premier" XVI^e siècle a été favorisé par le climat, partout que le "second" a souffert de perturbations atmosphériques »¹⁶.

Pour construire un tel modèle, il est essentiel de connaître les variables météorologiques clés et les périodes déterminantes de l'année agricole pour les principales ressources vivrières, c'est-à-dire les céréales d'hiver et d'été, le lait, les fruits et légumes et, pour certaines régions, le vin. Quelles sont les données nécessaires ? Les agronomes s'accordent pour considérer les températures et les précipitations mensuelles comme des données qui permettent une analyse significative de l'influence des facteurs météorologiques sur la production agricole¹⁷. Cependant, ce n'est que depuis environ deux cent cinquante ans que l'on dispose de données systématiques de ce type en Europe : en Angleterre, l'époque des mesures instrumentales commence dès la fin du XVII^e siècle¹⁸. Dans de nombreux cas, toutefois, la validité des premiers essais semble discutable. Pour les périodes précédentes, il faut compter sur des témoignages qualitatifs des observations éparées, et ce qu'on appelle des données indirectes, c'est-à-dire des preuves qui reflètent les caractéristiques de la situation météorologique. Ces données ne peuvent, néanmoins, se substituer aux mesures à moins qu'elles ne soient, selon E. Le Roy Ladurie, « annuelles, continues, quantitatives, homogènes »¹⁹. Les témoignages de ce type manquent pour établir la série chronologique nécessaire à l'élaboration de modèles sophistiqués. On n'a pas davantage résolu le problème supplémentaire de la pondération des variables climatiques multiples, ni fourni des séries mensuelles et saisonnières sur l'état du temps. Pour le faire, les données climatiques devraient être traitées de manière à élaborer des ensembles (mois, saisons, années) semblables à ceux qui fournissent les mesures instrumentales. Ces données sérielles pourraient alors être comparées à celles que la recherche moderne élabore.

III. — Les données

Données météorologiques et climatiques

Les données météorologiques sont les variables explicatives du modèle ; leurs sources doivent être étudiées en détail et leur fiabilité déterminée avant d'espérer des résultats valables.

L'Université de Berne a développé, ces dernières années, une nouvelle méthode permettant d'analyser les informations descriptives et indirectes relatives aux températures et aux précipitations²⁰. Les données proviennent principalement de témoignages humains : chroniques, papiers personnels faisant état de relevés climatiques intermittents, journaux météorologiques qui contiennent à la fois des observations visuelles et des mesures instrumentales. On a découvert plus de cent dix-huit manuscrits et cent cinquante textes imprimés de ce type dans les archives suisses. Ces sources furent alors évaluées et vérifiées selon la méthode historique classique. Pour la période 1525-1750, tous les témoignages sérieux sont utilisés ; pour la période suivante, jusqu'en 1863, date de la création du service météorologique suisse, la sélection est plus sévère. Finalement, sur l'ensemble des informations recueillies, trente-trois mille observations furent retenues. Avant 1550, les données ne permettent pas d'établir une série mensuelle continue ; au cours du siècle suivant, les lacunes sont peu nombreuses, sauf pour les mois d'octobre à décembre (de 15 à 20 %) ; après 1658, il existe au moins une observation par mois. Suivant les sources, la description du temps varie selon des périodes qui vont de cinq ou dix jours à des mois et des saisons. On classe les informations en données directes et en données indirectes : les premières incluent les observations qualitatives décrivant l'évolution météorologique proprement dite, les descriptions quantitatives (nombre de jours pluvieux, neigeux ou ensoleillés par mois), et les mesures instrumentales ; les secondes traitent des phénomènes soumis aux variables météorologiques comme les chutes de neige, l'enneigement, le gel, la floraison, la maturation et — pour le vin — l'importance des récoltes. On a traité à part ces informations indirectes.

Après 1755, la série des températures est établie à partir des séries de Bâle qui sont utilisées pour analyser les données indirectes. La mesure des précipitations date de 1708 ; jusqu'en 1778, de brèves séries sont disponibles. La série continue inaugurée à Genève, cette année-là, se poursuit ensuite sans interruption jusqu'à nos jours. On a calculé et uniformisé toutes les séries météorologiques.

Pour la période précédente, la neige et les phénomènes glaciaires peuvent fournir les températures hivernales tandis que les indicateurs de croissance de la végétation donnent les températures printanières et estivales. En revanche, les estimations pour les mois d'octobre et de novembre sont difficiles car on ne dispose fréquemment d'aucune information sur la végétation ou sur l'enneigement à ce moment. En l'absence de mesures plus précises, l'estimation des précipitations est fondée sur le nombre de jours de pluie et de neige fourni par les journaux météorologiques ainsi que sur les mentions d'inondation et de basses eaux. Le nombre de jours de pluie ou de neige est calculé à partir des journaux météorologiques. Des observateurs minutieux ont distingué les jours de fortes

précipitations (plus de 0,3 mm) ; ils ont également indiqué les niveaux de hautes et basses eaux pour mesurer l'importance des inondations et des étiages. Ces composantes, à partir desquelles on peut estimer la température ou établir la répartition des précipitations, ont été quantifiées, calibrées ou recalculées selon le type des données. Tous les témoignages ont, tout d'abord, été standardisés à l'aide d'un code numérique ; ils ont été ensuite triés et convertis en une documentation facile à déchiffrer qui rend possible le traitement et l'interprétation de chaque donnée. La comparaison systématique de tous les témoignages disponibles pour une période précise permet un contrôle mutuel des données directes et indirectes (voir tableau 1).

La méthode fait ensuite appel à un indice pondéré : on choisit la valeur 0 pour caractériser les conditions météorologiques « normales » et les mois pour lesquels on ne possède aucun renseignement ; les valeurs +3 et -3 désignent les mois « extrêmes » ; les valeurs +2 et -2, +1 et -1 caractérisent les situations moins tranchées. Pour déterminer ces pondérations, la distribution des fréquences des types de temps mensuels de la période 1901-1960 a été utilisée comme étalon. Les indices de la période préindustrielle résultent d'une interprétation ; ceux qui proviennent de mesures instrumentales sont strictement déduits de la distribution observée des fréquences²¹.

TABLEAU 1. — Combinaison des données descriptives et indirectes pour l'obtention des indices : exemple d'avril 1723

Avril 1723

— Première période de dix jours : chaud à très chaud, temps surtout ensoleillé (courtes périodes pluvieuses) R : 2 Winterthur : 442 m (Rieter, S 90) ; pluies continues (sans précision). R : 10 Stans : 452 m (Buenti, S 146).

— Deuxième période de dix jours : chaud, surtout ensoleillé (orages isolés) R : 2 Winterthur : 442 m (Rieter, S 90) ; surtout ensoleillé (sans précision). R : 10 Stans : 452 m (Buenti, S 146) ; premières baies rouges le 11 (223) R : 2 Winterthur : 442 m (Rieter, S 90).

— Troisième période de dix jours : chaud, surtout ensoleillé (pluies isolées), R : 2 Winterthur : 442 m (Rieter, S 90), surtout ensoleillé (sans précision). R : 10 Stans : 452 m (Buenti, S 146).

— Ensemble du mois : très chaud, pluies continues. R : 8 St Blaise Ne : 433 m (Peter, S 220) ; chaud, surtout ensoleillé. R : 5 Baettkinderen Be : 473 m (Wieniger, S 268) ; sec 87 mm (moyenne : 132 mm) R : 6 Zuerich : 408 m (Scheuchzer, S 237) ; sec 10 jours de Pr (moyenne : 14 jours), chaud R : 2 Winterthur : 442 m (Rieter, S 90) ; indice de température : 2, chaud, indice des précipitations : -2, sec.

R : nombre de la région
S : nombre de la source

Sources : Pfister, CLIMHIST, banque de données

Les séries qui ont permis la construction du modèle comprennent ainsi trois périodes : une période préinstrumentale (jusqu'à 1708-1755) pendant laquelle les indices sont basés sur les données descriptives et indirectes ; pendant la période suivante (de 1708-1755 à 1863), les indices résultent des mesures et de la

fréquence des relevés météorologiques ; enfin, après 1863, les indices sont déduits de mesures systématiques (pour les précipitations, six séries provenant des différentes régions du pays).

Les éléments pour une pondération satisfaisante ne sont toujours pas réunis pour la période préindustrielle, aussi les indices peuvent sous-estimer la sévérité des contraintes météorologiques dans certains cas. Il faut donc en tenir compte lors de l'interprétation du modèle.

Données sur le prix des grains

Un examen approfondi des influences météorologiques nécessiterait une connaissance sérieuse des prix qui résumerait les principales variations régionales dans le plateau suisse. La qualité des publications suisses sur les prix céréaliers est malheureusement médiocre. Une recherche systématique comparable aux travaux effectués dans les années 1930 par le Comité scientifique international sur l'histoire des prix n'a pas encore été tentée. C'est tout récemment que les chercheurs suisses se sont intéressés à l'histoire économique quantitative. Les publications faites, à ce jour, sont très dispersées, plutôt courtes et pas toujours fiables. Nulle ne peut être comparée en longueur, densité et homogénéité aux résultats des recherches faites dans plusieurs villes françaises ou allemandes et la déflation monétaire n'a pas encore été prise en compte du fait, essentiellement, qu'aucune étude globale sur la valeur de l'argent n'est encore disponible pour la Suisse. La carence de l'histoire des prix reflète aussi le manque de sources appropriées. Les prix de marché n'ont pas été systématiquement enregistrés avant le XVIII^e siècle ; on ne possède que les prix officiels imposés sur certaines places (*Fruchtschlag*). A Bâle, ils étaient établis par le Conseil de la Ville à la Saint-Martin (le 11 novembre) afin d'être utilisés comme étalon pour les ventes de céréales provenant de greniers publics et destinés aux bourgeois et aux pauvres. La différence entre les prix du marché et les prix officiels pouvait être assez importante comme on peut le constater pour la période 1693-1700 pendant laquelle on possède les deux prix. A Bâle, la majeure partie du grain était importée des contrées voisines de l'Alsace et du Pays de Bade²² ; ainsi, les données enregistrent-elles les influences climatiques, celles des guerres et des embargos dans ces régions et pas seulement pour le plateau suisse d'où provient la masse des données climatiques.

Anne Radeff a enregistré les prix du froment, du méteil et de l'avoine à partir des livres de comptes de l'hôpital de Lausanne pour la période 1550-1720²³. Les séries de Lausanne peuvent être étendues jusqu'en 1750 grâce aux données réunies par Chevallaz²⁴. D'importantes lacunes empêchent une analyse détaillée de la période antérieure à 1652²⁵. Bien que les maxima et minima coïncident avec les fluctuations observées dans d'autres régions d'Europe centrale et occidentale, on ne peut dire dans quelle mesure les variations les plus faibles sont représentatives pour le plateau suisse. Les témoignages recueillis par Elsas montrent des différences importantes dans les prix payés par diverses institutions d'une même localité entre 1500 et 1800²⁶. Ainsi la valeur historique des séries de Lausanne demeurera-t-elle aléatoire tant que d'autres données n'apporteront pas un complément d'information.

Pour la période allant de 1750 aux années 1920, on a établi, à partir de

périodiques, les prix mensuels pour la région de Berne ; depuis cette époque, l'agriculture est protégée par un système de tarifs et de quotas. Les prix suisses traduisent davantage le résultat des négociations entre les paysans et le gouvernement que les contraintes du marché²⁷. Il faut donc faire appel aux prix des marchés internationaux.

Pour trouver des renseignements permettant au moins une analyse superficielle, on a répertorié les données de Bâle (de 1550 à 1625 ; de 1634 à 1652) de Lausanne (de 1626 à 1633 ; de 1653 à 1750) et de Berne (de 1751 à 1979). Pour éliminer la tendance de longue durée, une moyenne mobile de trente-cinq ans a été utilisée²⁸. Les résidus sont exprimés en pourcentage de la tendance.

IV. — *Les résultats de la simulation*

La méthode statistique utilisée le plus fréquemment pour estimer les relations entre l'importance des récoltes et les variables climatiques est la régression multiple. Ce type d'analyse ne peut être, cependant, appliqué ici de manière utile pour différentes raisons d'ordre statistique, biologique et historique. Richard W. Katz a attiré l'attention sur les carences d'une telle approche dans l'évaluation des rapports entre récoltes et météorologie aujourd'hui :

— les estimations de la régression multiple peuvent être déformées par la présence de variables corrélées. Si, par exemple, un temps frais et humide ou chaud et sec prédomine, il est difficile de déterminer si ce sont les températures ou les précipitations qui ont une influence plus grande sur les récoltes puisque leurs modalités sont liées ;

— la régression multiple est fondée sur l'hypothèse de linéarité. Cependant, on sait que la relation entre le produit de la récolte et une variable climatique donnée, la température ou les précipitations, n'est pas linéaire. Des précipitations trop importantes ou trop faibles, des températures trop élevées ou trop basses sont des conditions déterminantes pour les rendements. L'hypothèse de linéarité, satisfaisante dans la logique de la « boîte noire », s'accorde mal avec la théorie biologique²⁹.

Dans le cas étudié, l'analyse implique une relation entre la récolte et le prix. Ce n'est pas une fonction linéaire car la demande n'est pas élastique. De plus, le modèle doit aussi tenir compte des variations dues à la transformation des céréales en farine et des pertes lors du stockage comme on le démontrera. Enfin, on l'a déjà souligné, on ne devrait pas restreindre l'analyse à la seule production de céréales, mais on devrait y inclure la production des principales cultures vivrières. La régression multiple impliquerait l'utilisation de plusieurs modèles météorologie-récoltes qui seraient ensuite rassemblés en un modèle de synthèse. Les données ne sont pas suffisantes pour de telles approches, même au XX^e siècle.

Le manque de données adéquates et les faiblesses apparentes de ce type d'analyse ont entraîné l'adoption d'une autre approche qui peut être appelée « simulation d'influence ». Les influences supposées perturber la production alimentaire ont été estimées à partir des indices de température et de précipitation. La simulation comporte les quatre étapes suivantes :

1. sélection des paramètres météorologiques (variables explicatives) ;
2. estimation des seuils critiques pour chacun des facteurs ;

3. classement et pondération des variables explicatives ;

4. regroupement des variables et calcul des effets cumulatifs.

Ensuite, on compare l'ensemble des facteurs explicatifs avec la courbe des prix. Cette comparaison a permis une meilleure adaptation des propriétés du modèle en remaniant les paramètres, les seuils et les évaluations. On a développé ainsi une autre simulation qui a permis de nouveaux ajustements. Le modèle a ainsi été amélioré jusqu'à son optimalisation.

La structure du modèle a été établie en sélectionnant les paramètres météorologiques d'après les observations historiques et les théories agronomiques. Par ailleurs, les seuils et le classement des facteurs ont été déterminés par une procédure d'essais et d'erreurs. Tenter d'estimer le volume des récoltes dans une vaste région en utilisant quelques variables météorologiques clés semble réaliste compte tenu des récents résultats de modélisation climat-récoltes obtenus par Hanus et Aimiller. Ces derniers ont développé des modèles sophistiqués permettant de prédire l'importance des récoltes avec un remarquable degré d'exactitude pour des régions entières d'Europe comme la RFA. Certains de ces résultats sont surprenants : les paramètres météorologiques essentiels pour le rendement des récoltes peuvent être déduits avec plus de précision d'un petit nombre de stations clés qu'en utilisant de nombreuses stations locales. Ainsi, la production céréalière d'une contrée reflète davantage un enchaînement de situations météorologiques de grande ampleur durant l'année agricole que la somme des différents temps locaux et régionaux. Dans les modèles dérivés, il semble toutefois plus important d'inclure les mouvements météorologiques pour toute une période de croissance végétative plutôt que les différences régionales³⁰.

Ce résultat suggère une certaine similitude du niveau des récoltes sur des superficies considérables. Il contredit le point de vue soutenu par de nombreux historiens économistes selon lequel l'importance de la récolte est, pour l'essentiel, fonction des conditions locales.

On ne devrait pas considérer les influences météorologiques comme des entités homogènes. Ce sont des combinaisons complexes de niveaux mensuels de températures et de précipitations susceptibles d'être regroupés de multiples manières. Les ensembles de modèles climatiques qui caractérisent les crises de subsistance ont été élaborés à partir de la combinaison des sept facteurs suivants³¹ :

- pluviosité excessive en automne ;
- précocité de l'hiver (c'est-à-dire basses températures en automne) ;
- précipitations excessives en hiver ;
- pluviosité excessive de printemps ;
- basses températures au printemps ;
- basses températures en été ;
- pluviosité excessive pendant la récolte.

A partir de ces sept facteurs, on peut obtenir cent vingt-huit cas théoriques différents qui n'ont pas tous été réalisés au cours des quatre cent cinquante dernières années. L'importance des substances nutritives du sol, et en particulier l'azote, semble constituer le facteur essentiel dans le rendement des terres arables. Un excès de précipitations, particulièrement pendant les mois d'automne ou d'hiver, réduit le calcium, les phosphates et l'azote présents dans le sol,

appauvrissant ainsi la récolte. Une suite d'années humides entraîne un phénomène cumulatif³². En Angleterre, comme dans d'autres pays, on constate une relation inverse entre les pluies d'automne et les semences de céréales d'automne, relation qui se répercute sur l'ensemble des semences annuelles³³. Un retard important des semences semble être une des raisons principales des famines de 1693-1694 en France. En octobre 1692, l'intendant d'Auvergne écrivait au contrôleur général de Paris : « ... le mauvais temps a tellement retardé la récolte et les semences que la plupart des gens n'ont pas semé et ceux qui l'ont fait sont convaincus qu'il n'y aura pas de récoltes »³⁴. Le printemps suivant (1693) fut extrêmement humide (du moins en Suisse), entraînant probablement un retard dans les semences et, par suite, une réduction considérable des terres destinées aux cultures de printemps³⁵. Une analyse de la dîme a révélé qu'en Suisse, la partie occidentale, où la culture principale est le froment, semblait plus vulnérable à un excès de pluies d'automne que la région de langue allemande où l'épeautre est la céréale d'hiver dominante³⁶.

Les résultats obtenus par Hanus et Aimiller révèlent que les principaux facteurs qui déterminent l'importance de la récolte ont un effet avant fin avril. Ils considèrent que les températures ont beaucoup plus d'influence sur la fixation de l'azote dans le sol qu'on ne le pensait jusqu'alors. Ceci permet d'estimer que les variations régionales ont moins d'importance qu'on ne le croyait puisque la température est une donnée peu localisée. Le mois d'avril semble être le plus critique pour la future récolte céréalière : encore faut-il déterminer la nature exacte de la relation³⁷. L'importance des températures de printemps est confirmée par l'analyse historique : ainsi, dans la région suisse de langue allemande, les plus mauvaises récoltes de céréales d'hiver résultent de périodes prolongées de froid extrême au cours des mois de mars et d'avril qui provoquent la propagation d'un parasite (*fusarium nivale*) sous le manteau neigeux³⁸. On peut également supposer que l'azote ne peut se fixer dans des conditions aussi sévères. De même, un printemps froid est nuisible aux céréales de printemps³⁹. Des périodes de froid intense au printemps caractérisent le climat du « petit âge glaciaire »⁴⁰. Leur disparition progressive au début du XX^e siècle explique, peut-être, qu'il est rarement fait mention, dans les livres modernes d'agriculture, d'un printemps froid responsable de mauvaises récoltes.

On connaît bien les effets désastreux des longues périodes pluvieuses au moment de la récolte : les épis germent, la farine est médiocre et le taux de moisissure important ; cela entraîne, l'hiver suivant, dans les stocks, des pertes élevées dues aux moisissures et aux insectes. Le grain, attaqué par les charançons devient noir et prend une odeur désagréable⁴¹. Le déficit des réserves peut alors atteindre un tiers de la récolte⁴². Les chiffres fournis par la dîme, qui caractérisent l'importance des récoltes, sont donc trompeurs pour les étés humides car ils surestiment le volume finalement destiné à la consommation. En France, par exemple, à la suite de détériorations, le poids d'un hectolitre de froment moissonné durant l'été très humide de l'année 1816 est tombé à cinquante-six kilogrammes au printemps 1817 ; en revanche, le meilleur froment de 1815 pesait soixante-quinze kilogrammes par hectolitre. En Angleterre, Thomas Tooke remarquait que « la presque totalité de ce qui avait été sauvé de la récolte était en si mauvais état qu'elle était inutilisable dans l'immediat »⁴³. Steven Kaplan résume ainsi la relation quantité-qualité : une récolte

déficitaire a des effets néfastes sur l'approvisionnement. Il en résulte une augmentation du prix des denrées hors de proportion avec l'ampleur de la diminution du volume brut des récoltes⁴⁴. Seule une étude succincte des répercussions météorologiques sur la production laitière a été faite : pour la Hollande, De Vries a découvert que des températures faibles en mars affectent, de manière significative, la taille des troupeaux et la production du fromage en retardant la mise au pâturage⁴⁵. Des études sur la croissance des herbages montrent une corrélation positive d'une part entre la température et la teneur en protéines, d'autre part entre le degré d'intensité lumineuse et la teneur en cellulose⁴⁶. La chaleur et une certaine humidité sont deux éléments favorables à la pousse de l'herbe durant la période de pâturage des troupeaux. En Suisse, la production laitière était de 69 à 80 % plus faible pendant la période où le troupeau se nourrit de foin. Les rendements varient suivant la durée de l'affouragement et la teneur en énergie et en protéines du foin. La première est fonction des températures en octobre et en mars-avril, la seconde est liée aux précipitations pendant la fenaison c'est-à-dire entre fin juin et fin août selon l'altitude. Une longue période de pluies, à cette époque, réduirait d'un tiers au moins la teneur du foin en protéines et en énergie⁴⁷. Les productions laitières et céréalières ont donc au moins deux facteurs d'influence en commun : les printemps froids et les étés humides. On a montré aussi que de faibles températures d'automne perturbaient la production du lait en raccourcissant la période de pâturage. En altitude, après un été frais, une période froide en automne peut affecter la maturation des céréales et, en particulier, de l'avoine. Un manque de chaleur ou un excès de précipitations peuvent également détériorer des produits comme les fruits, les légumes et le vin.

Un modèle incluant les sept variables climatiques explicatives précédentes possède donc une structure analysable en termes agronomiques. Il reste à sélectionner à l'aide d'expériences informatiques les mois clés. Le modèle qui, finalement, correspond le mieux à la courbe des prix du grain comprend les paramètres suivants :

- pluies d'automne (septembre + octobre)/2
- températures en automne (3 septembre + octobre)/- 4
- précipitations hivernales (2 décembre + 3 janvier)/5
- pluies de printemps (2 mars + 2 avril + mai)/5
- températures de printemps (mars + avril)/- 2
- températures d'été (mai + juin + juillet + août)/- 4
- pluies d'été (4 juillet + août)/5.

Pour les températures, les « effets négatifs » c'est-à-dire la chaleur pendant la période de croissance ont également été inclus. Comme les effets ne sont pas linéaires, il faut augmenter le poids des valeurs extrêmes avant de calculer l'influence des variables : on a donc remplacé les indices +3 et -3 par +5 et -5, les indices -2 et +2 par -3 et +3. Les valeurs +1, -1 et 0 sont restées inchangées. De plus, on doit évaluer les seuils au-dessous desquels les influences de chaque facteur sont nulles⁴⁸. L'étape suivante nécessite le classement des sept facteurs en leur attribuant un poids spécifique⁴⁹.

Les influences globales ont été déterminées, dans la plupart des cas, en additionnant les facteurs particuliers. Cependant, les effets retard doivent être inclus dans le programme : ainsi, les conséquences d'un automne pluvieux sur

le prix du grain se répercuteront sur la récolte de l'été suivant et le prix devrait atteindre son point culminant au printemps d'après, juste avant une nouvelle récolte. Ainsi les données concernant l'automne de l'année t-2, aussi bien que l'ensemble des modalités des variables durant l'année t-1, doivent être inclus dans le programme pour comprendre le prix de la courbe des prix au printemps t. Dans le cas de températures froides en mars-avril et de pluies en juillet, l'addition des deux facteurs serait trop faible pour qu'on tienne compte de leur impact sur les prix. Ainsi, les résultats sont considérablement améliorés lorsque les deux facteurs sont multipliés chaque fois qu'un printemps froid coïncide avec un été humide au cours de la même année ou de la précédente. On peut voir la portée de cette combinaison sur les crises de subsistance sur la figure 1.

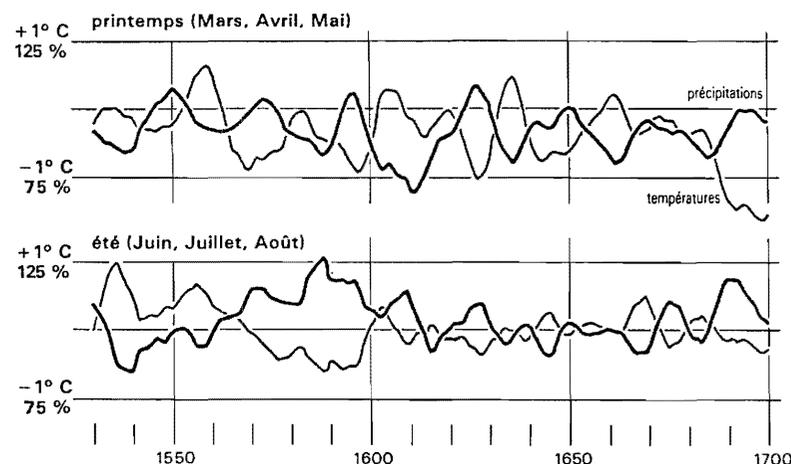
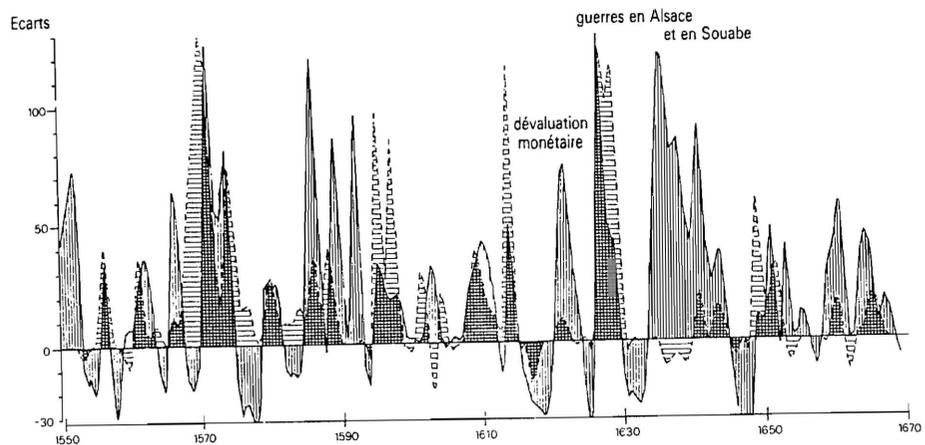


FIG. 1. — Écarts à la moyenne (calculée sur les années 1901-1960) des températures et des précipitations au printemps et en été, 1525-1700

Les points culminants de la courbe des prix en Europe pour 1569-1574, 1586-1589, 1593-1597, 1626-1629 et 1688-1694 sont liés à la présence simultanée des printemps froids et d'étés humides.

Cet effet cumulatif a une répercussion aussi importante sur les prix des céréales car il affecte, simultanément, toutes les ressources alimentaires. A cet égard, le rapport du pasteur d'Obereichsfeld — à la frontière entre la Saxe et la Bohême — qui visita les paysans les plus pauvres pendant la famine de 1772, est instructif : le foin, les légumes, les récoltes d'été et les fruits avaient tous été détruits. Les céréales avaient germé et étaient séchées sur le feu⁵⁰.

HISTOIRE ET MODÉLISATION



Ch. PFISTER

FLUCTUATIONS CLIMATIQUES ET PRIX CÉRÉALIERS

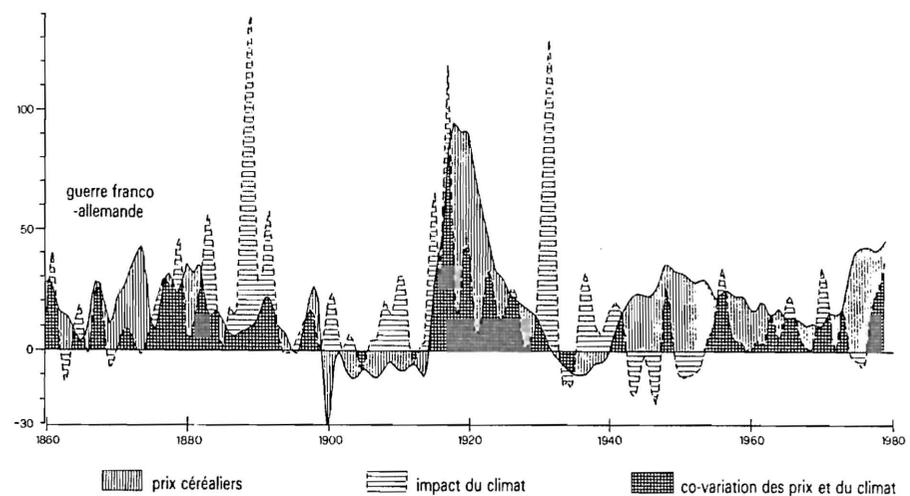
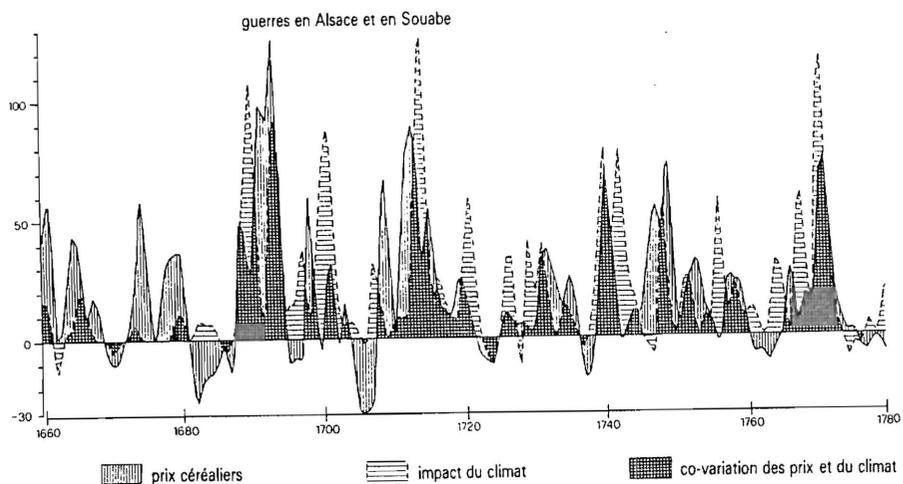
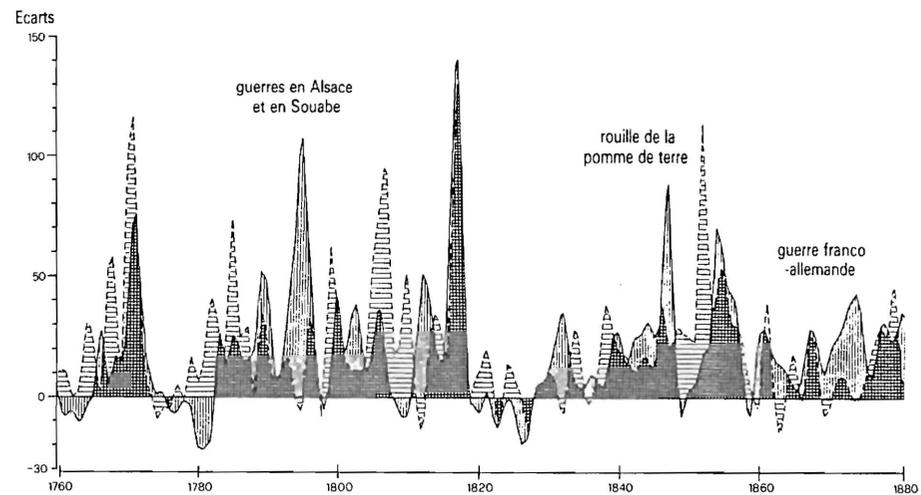


FIG. 2. — Fluctuations du climat et des prix des céréales en Suisse.
 1550-1625 : Bâle, 1626-1633 : Lausanne, 1634-1635 : Bâle, 1652-1749 : Lausanne, 1750-1797 : Berne.
 Écart : en pourcentage par rapport à une moyenne mobile de 35 ans.

V. — Types de temps et fluctuations des prix : le court terme

La courbe des influences climatiques et celle des prix céréalières seront comparées dans le court terme afin de tester la validité du modèle (figure 2). Étant donné la sensibilité importante aux extrêmes, les faiblesses inhérentes aux deux séries de données seront d'abord mises en valeur. Outre les données incomplètes et sans homogénéité des séries de prix, il s'agit, principalement, de la pondération incertaine des indices, conséquence des lacunes des sources et des erreurs d'interprétation. Ainsi, les facteurs climatiques et les prix dessinent-ils souvent des courbes de même tendance mais disproportionnées. Il existe aussi un décalage entre les maxima climatiques et les maxima des prix car on ne dispose pas des prix par année-récolte.

Ces imperfections mises à part, le schéma permet néanmoins de distinguer trois types de fluctuation des prix :

- les fluctuations liées aux répercussions météorologiques ;
- les fluctuations indépendantes des conditions météorologiques mais liées principalement aux guerres et aux embargos ;
- l'addition des effets météorologiques et des autres.

Pour la région de la Basse-Meuse en Belgique orientale, Myron Gutman remarque que les effets du mauvais temps durent rarement plus de deux ans sans connaître d'amélioration alors que la présence militaire ne permet pas un tel répit. Les habitants souffrent davantage (et les prix sont plus élevés) lorsqu'une guerre se combine avec des conditions climatiques suffisamment mauvaises pour réduire la production agricole⁵¹.

Pour la période 1550-1670, la courbe des prix est pratiquement synchrone avec la courbe des influences climatiques jusqu'au début des années 1630. La concordance est particulièrement remarquable pour les grandes crises européennes de 1568 à 1574 car non seulement la crête de la courbe des prix pour 1571, mais également sa forme bimodale, sont simulées par le modèle. Pour les crises des années 1580, l'augmentation des prix dépasse celle des effets climatiques ; on constate l'inverse au milieu des années 1590 et aux environs de 1614. Pour le début des années 1590, la crête de la courbe des prix semble indépendante du climat. L'augmentation très importante des prix, au début des années 1620, est le résultat d'un temps humide et froid au milieu de l'été 1621 et des effets inflationnistes, conséquence de la guerre de Trente Ans⁵².

On explique la sévérité et la durée de la crise du début des années 1570 par une double combinaison d'influence : la première crête des prix en 1570-1571 résulte de l'accumulation d'un hiver humide, d'un printemps froid et d'une période pluvieuse pendant la récolte de 1570 qui fut suivie d'un autre printemps froid et d'une autre récolte par temps pluvieux l'année suivante ; la seconde crête, plus faible, de 1573-1574, résulte de quatre facteurs : un automne très froid et très humide (en 1573) suivi d'un printemps froid et d'un été pluvieux. En Europe, l'augmentation des prix fut très forte dans les régions de l'intérieur ; sur la côte, les prix restèrent raisonnables grâce aux importations provenant de la Baltique⁵³. Moins de quinze années plus tard, les effets défavorables du climat se sont à nouveau fait sentir entre 1585 et 1589. En 1588, année de la défaite de l'Armada espagnole, le scientifique Renward Cysat, chancelier

de Lucerne, ne compte pas moins de soixante-dix-sept jours de pluie au cours des trois mois d'été ; en 1589, il en compte à nouveau soixante-quinze alors que le maximum dénombré au cours de notre siècle est de soixante⁵⁴. Les cartes météorologiques dressées à partir des journaux de l'astronome danois Tycho Brahe et des carnets de bord de l'Armada révèlent que, pendant l'été 1588, les dépressions suivaient un chemin beaucoup plus méridional qu'actuellement⁵⁵. La perte des récoltes et la pénurie agricole sont des éléments importants de la crise que connut la majorité de l'Europe au cours des années 1590. Il existe des rapports sur des étés extrêmement humides en Angleterre, en Irlande et aux Pays-Bas, sur la présence de pluies prolongées et de gels graves autour de Paris et dans le Midi, sur une alternance de périodes de sécheresse et de pluies torrentielles en Sicile et sur des inondations dans le Nord de l'Italie. Valence et Murcie connaissent une suite exceptionnelle d'années humides entre 1589 et 1598⁵⁶. En Suisse, les effets les plus nets sont à nouveau ceux des étés pluvieux (1594-1596) et des printemps froids les années suivantes (1595-1597).

Entre 1620 et 1680, on peut à nouveau déduire une certaine concomitance dans la variation des courbes du climat et des prix (figure 2) ; mais, à plusieurs reprises, de faibles perturbations climatiques correspondent à des maxima de prix (début des années 1640 et 1670) ; on assiste même à une montée en flèche des prix pendant les années 1630 alors que le temps est parfaitement clémente. Ce phénomène s'explique par les répercussions des guerres frontalières qui accaparent les réserves de vivres de la Suisse proche⁵⁷. Entre 1627-1629 et 1688-1693, l'existence simultanée de conditions climatiques défavorables et des conséquences des guerres et des embargos, provoque des crises particulièrement aiguës⁵⁸. En 1627-1629, on note une suite de printemps froids et d'étés pluvieux pendant trois années consécutives. En 1627, la combinaison des facteurs climatiques est presque identique à celle de 1570 exception faite du printemps qui ne fut pas seulement froid mais aussi très humide. L'été 1628 est le plus froid depuis 1500 à l'exception de 1816⁵⁹. En 1688, l'augmentation des prix reflète davantage les répercussions de la guerre qui sévit dans le sud de l'Allemagne que les influences climatiques. En 1687 et en 1688, l'automne est très humide et froid et les températures printanières descendent largement au-dessous de la moyenne. On a observé le schéma-type de la crise — printemps froid et été pluvieux — au cours de deux années consécutives de 1689 et 1690 ainsi qu'en 1692. L'extrême humidité de l'automne de cette dernière année, qui fut désastreuse pour les récoltes françaises, n'a pourtant pas été relevée en Suisse. En revanche, si l'on compte le nombre de jours de pluie, le printemps 1693 semble avoir été l'un des plus humides. Ainsi, durant ces deux périodes de 1627-1629 et de 1688-1694, de vastes régions de l'Europe furent affectées par l'insuffisance des récoltes.

De 1700 à la fin de l'ancien régime économique, qui s'achève aux environs de 1870⁶⁰ avec l'extension du réseau ferroviaire européen, de nombreuses fluctuations à court terme du prix des céréales sont à nouveau liées aux rigueurs variables des contraintes météorologiques. On connaît bien la dimension européenne des crises des années 1740, 1770 et 1816. Le groupe rassemblé autour de Tom Wigley à l'Université de Norwich (Climatic Research Unit) a reconstitué la série des moyennes mensuelles de la pression atmosphérique en Europe. La carte concernant l'été 1816, le plus froid des cinq cents dernières années révèle

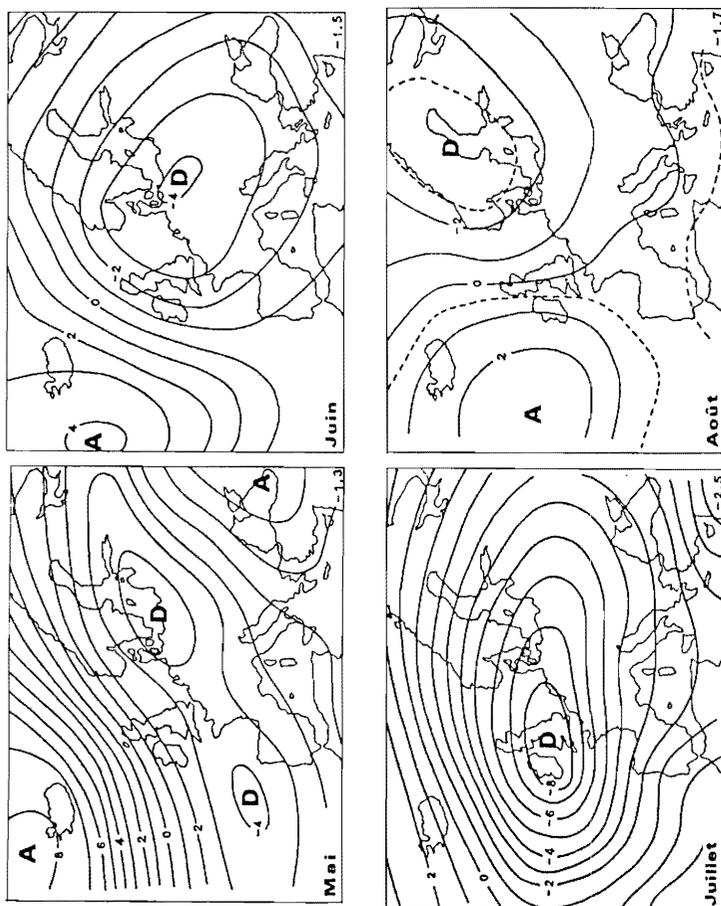


Fig. 3. — Les zones de pression sur l'Europe pendant l'été 1816, d'après KELLY (P.), WIGLEY (T.), JONES (P.D.), *op. cit.*

l'étendue de cet « été pourri » (fig. 3) : de mai à août le continent fut soumis à une vaste zone de basses pressions qui attirait les masses d'air humide et froid de l'Atlantique. Des températures inhabituellement froides sont enregistrées également au nord-est des États-Unis⁶¹. D'autre part, les prix élevés du début des années 1850 correspondent à une période de mauvais temps. En France également, la production alimentaire baisse au cours de ces mêmes années⁶².

Dans quelle mesure l'importance des facteurs climatiques a-t-elle diminué avant l'arrivée du chemin de fer, c'est là une question difficile à résoudre à partir des données dont on dispose. De toute évidence, l'apparition de la pomme de terre, qui fut l'atout maître dans la diversification des récoltes, modifie la balance entre les influences météorologiques et la production alimentaire. On note une diminution de la vulnérabilité de l'agriculture vis-à-vis de facteurs climatiques comme les précipitations d'automne et d'hiver ou le temps froid de mars qui frappent exclusivement les céréales d'hiver. En revanche, le gel, les faibles températures de mai et la sécheresse d'été, qui gênent la récolte des pommes de terre mais non celle des céréales d'hiver, commencent à influencer la formation des prix. Les autres variables du modèle, en particulier les basses températures d'avril et l'humidité de juillet, exercent toujours leurs effets⁶³. L'importance considérable de la nouvelle culture est parfaitement illustrée par les prix très élevés de 1847 provoqués par la maladie de la pomme de terre.

Les effets de la guerre émergent en 1713. Conséquence de la guerre civile en Suisse, l'année précédente de nombreux champs ne furent pas ensemencés. La Souabe, à son tour, devint un champ de bataille⁶⁴. De même en 1793-1795, les importations à partir de la Souabe et du Pays de Bade sont entravées par un embargo destiné à empêcher les marchands suisses d'approvisionner l'armée française⁶⁵. Le même phénomène se reproduit pendant la guerre franco-allemande de 1870-1871.

La déconnexion, grâce à la liaison par rail entre les greniers céréaliers des États-Unis et de l'Europe de l'Est, entre les prix et les facteurs climatiques est démontrée à partir du cas des années 1889-1890 et 1931-1932. Les rigueurs climatiques sont en 1889-1890 les plus importantes jamais enregistrées durant la période où l'on dispose de mesures instrumentales, et peut-être même depuis l'époque de la Réforme. En Suisse, cependant, la production céréalière avait tellement diminué, après son intégration au marché mondial, que le niveau des récoltes n'avait pratiquement plus d'influence sur le prix des céréales. On peut supposer que dans la structure économique et technologique de l'ancien régime, l'ensemble des facteurs climatiques aurait modifié l'indice des prix dans des proportions comparables à celles des années 1570 ou 1817. Si l'on imagine les tensions sociales, les décès dus à la faim et aux épidémies, conséquences des crises classiques de subsistance, on peut aisément comprendre la valeur politique et sociale de la sécurité alimentaire qui résultait de la modernisation.

Cependant, l'exemple de la première guerre mondiale révèle la grande vulnérabilité d'une économie à faible autosuffisance face à l'addition d'une série d'embargos et de facteurs climatiques imprévus. En 1917, les importations de vivres diminuent et celles de fourrage disparaissent complètement⁶⁶. A cette situation critique viennent s'ajouter un printemps froid et un été pluvieux ; le résultat est une montée en flèche des prix jusqu'à un niveau jamais atteint

HISTOIRE ET MODÉLISATION

depuis 1817, tandis que les salaires réels diminuent sensiblement. Les tensions qui en résultèrent constituèrent un ferment pour la grève générale de 1918 qui fut la plus sérieuse crise politique de l'histoire de la Suisse contemporaine.

La deuxième guerre mondiale présente un tableau différent. Non seulement l'économie agricole est prête à faire face aux conditions imposées par la guerre⁶⁷, mais, cette fois, les contraintes climatiques sont beaucoup moins sévères.

Au total, on remarque donc un fort degré de similitude entre les fluctuations à court terme des prix et la courbe des contraintes climatiques, ce qui confirme la validité du modèle comme indicateur des pressions météorologiques. D'autre part, cela souligne, également, les limites d'une interprétation qui cherche à quantifier un seul élément dans un jeu très complexe de variables.

VI. — Influences dans le long terme du changement climatique

Le modèle, calibré à partir de la simulation des fluctuations annuelles des prix céréaliers, sera utilisé dorénavant pour mesurer les variations de longue durée. Depuis longtemps, la plupart des historiens et des économistes ont considéré les changements climatiques de manière beaucoup trop simpliste et superficielle. Se référer à des périodes dites « froides », « chaudes », « sèches », ou « humides », n'est pas suffisant pour démontrer leurs répercussions sur les sociétés humaines si l'on ne spécifie pas à quelle saison ou à quel mois elles correspondent. D'autre part, il est difficile de situer, par rapport à un tableau du mouvement saisonnier ou même mensuel de précipitations ou de températures, des notions familières comme celle du petit âge glaciaire par exemple⁶⁸. Il y a peu d'espoir d'introduire un concept tel comme variable fictive dans les équations économiques comme l'a suggéré De Vries⁶⁹. De même, les différences de moyennes de températures ou de précipitations entre deux périodes sont des mesures inadéquates car elles ne tiennent pas compte du caractère non linéaire des effets du climat.

Dans les pages qui suivent, les influences moyennes seront comparées, pour des périodes de 16 à 63 ans avec la moyenne des principaux facteurs d'influence, températures d'avril et précipitations de juillet. Pour les xix^e et xx^e siècles, les cycles de Kondratieff suivent assez bien la courbe des influences météorologiques ; pour la période antérieure, la périodisation a été déduite de la représentation graphique. L'influence moyenne, pour la première période de 1525 à 1565, est probablement trop faible car on manque de renseignements, en particulier en automne. Cependant, les données peuvent suffire pour comparer la pluviosité de juillet et les températures d'avril.

Les différences à long terme des niveaux d'influence et des variables météorologiques sont extrêmement importantes. Il existe une alternance entre les périodes qui échappent pratiquement aux effets du climat (comme le second tiers du xvi^e siècle, les années 1630 à 1678, 1817 à 1844, 1891 à 1914 et de 1933 à nos jours) et les cycles qui subissent très fréquemment ces contraintes ; parlant du xvi^e siècle, Fernand Braudel a anticipé cette découverte⁷⁰. En fait, entre 1566 et 1629, où l'effet du climat fut six fois plus élevé, les pluies de juillet furent 10 % plus abondantes et les températures d'avril furent moins élevées

Ch. PFISTER

FLUCTUATIONS CLIMATIQUES ET PRIX CÉRÉALIERS

TABLEAU 2. — Écarts des influences météorologiques moyennes sur les récoltes dans le plateau suisse de 1525 à 1979

Période	Influences	Préc. juillet % (1)	Temp. avril (2)
—	—	—	—
1525-1565	1,2	95	-0,1
1566-1629	12,7	109	-0,8
1630-1678	2,0	96	-0,1
1679-1720	13,1	103	-0,9
1721-1766	9,7	105	-0,2
1767-1817	13,9	106	-0,1
1818-1844	5,5	96	-0,1
1845-1873	10,6	92	-0,1
1874-1890	16,4	104	+0,6
1891-1914	6,1	98	-0,1
1915-1932	19,0	110	-0,9
1933-1979	2,9	89	+0,4

(1) 100 : moyenne entre 1901 et 1960 dans le plateau suisse.

(2) Écarts de moyennes à Bâle par rapport à 1901-1960. Les deux estimations ont été programmées à partir des indices en utilisant l'équation de Pfister, *Klimageschichte*, tableaux 1/27 et 1/28.

d'environ 7 % par rapport aux périodes antérieures et suivantes. Entre 1630 et 1680, le degré de tension climatique fut imprévisiblement bas. Entre 1665 et 1686, les conditions météorologiques furent à peu près idéales pour la culture des grains : automnes et hivers secs, printemps plus chauds, étés sans humidité excessive (sauf en 1675). La culmination de la courbe pendant la période suivante jusqu'en 1720 est due aux pics de la fin des années 1680 et du début de la décennie suivante, ainsi qu'aux années encadrant 1714. Les contrastes sont moins prononcés au xviii^e siècle. La diminution de ces effets climatiques défavorables, dans la période 1720-1766, doit être principalement attribuée aux années 1721 à 1738. Au xix^e siècle et au début du xx^e siècle, la similitude avec les cycles de Kondratieff est frappante bien que les liens de cause à effet n'aient pas encore été mis en évidence. Par exemple, on constate une diminution de l'activité industrielle au cours de la période 1817-1844 soumise à de faibles contraintes météorologiques alors qu'elle augmente pendant la période similaire de 1895 à 1914. Les trois décennies allant de 1845 à 1874 forment une sorte de transition ; on peut les diviser en une sous-période au taux élevé d'influence climatique (1845-1856) suivie d'une phase d'influence modeste (1857-1873). Pendant la période qui précède 1850, les contrastes relevés dans la longue durée sont, sans aucun doute, assez importants pour modifier l'intensité, la durée et peut-être même l'existence des cycles commerciaux. Ce résultat va à l'encontre de l'analyse essentielle de E. Le Roy Ladurie pour qui les conséquences humaines de la longue durée climatique semblent « faibles, peut-être négligeables, et à coup sûr difficiles à déceler »⁷¹. C'est là une remise en question de l'hypothèse élaborée par la plupart des historiens économistes selon laquelle les variables météorologiques devraient normalement produire, à long terme, des fluctuations aléatoires autour de la moyenne. La figure 2 prouve, au contraire, que les crises d'origine météorologique ne sont pas réparties au hasard dans le

temps mais ont une nette tendance à se regrouper. Ainsi peut s'expliquer la découverte d'Anne-Marie Piuze : le prix des céréales et les dates des vendanges sont, à l'évidence, en corrélation dans le long terme⁷², car, il est bien connu que les étés humides (et froids) et les printemps froids, principaux déterminants météorologiques des augmentations de prix, sont aussi les facteurs qui retardent la maturation du raisin.

Entre 1627 et 1713, la guerre a, de même, un effet sur la longue durée. A maintes reprises, l'Alsace et la Souabe deviennent des champs de bataille. En Suisse, trois conflits mineurs éclatent à cette période (la guerre des Paysans de 1653 et les guerres civiles de 1656 et de 1712). La fréquence de l'activité militaire, par comparaison avec les périodes antérieures et futures, masque les effets à la baisse du climat sur les prix entre 1630 et 1680 (ou 1684), alors qu'elle accroît la poussée des prix au cours des trois décennies suivantes, période où la présence de contraintes météorologiques coïncident avec des activités militaires sur les frontières suisses.

Beaucoup d'historiens économistes pensent que le climat change de manière lente et progressive, permettant ainsi une réponse des sociétés humaines à la pénurie croissante, les modifications et les adaptations du comportement et même du savoir jouant un rôle prépondérant⁷³. Cependant, le schéma des fluctuations des influences climatiques (figure 2) confirme, à une plus petite échelle, le témoignage fourni par les scientifiques pour l'époque glaciaire : les climats changent souvent, de façon rapide et par paliers successifs entre des phases de relative stabilité⁷⁴. Pour prendre un exemple, le changement survenu à la fin des années 1680 s'est déroulé en moins de cinq années : la moyenne des précipitations de juillet fut de 34 % plus élevée en 1688-1697 que durant la décennie précédente, et pendant la même période, les températures⁷⁵ de mars chutèrent de près d'un degré et celles de mai de 2,5°. Les problèmes d'adaptation s'intensifièrent alors, particulièrement dans les sociétés traditionnelles disposant de mécanismes de compensation insuffisants et d'un faible niveau technique, lors des passages des périodes de faible tension aux périodes de forte tension météorologique.

Cette constatation suggère donc d'inclure le changement climatique parmi les variables qui expliquent la « révolution des prix » au XVI^e siècle. Les historiens économistes ont justifié la constante augmentation des prix, dans toutes les régions d'Europe, par deux causes primordiales : l'augmentation du prix des métaux précieux après la découverte du Nouveau Monde et la croissance démographique. L'explication métallique se fonde sur la théorie quantitative de la monnaie : lorsque la demande est stable, le niveau du prix des marchandises est déterminé par la quantité d'argent disponible. Toute augmentation du flux monétaire devrait provoquer une montée des prix. Ce fut probablement le cas au XVI^e siècle, mais il est bien connu que les prix des denrées alimentaires augmentèrent environ deux fois plus que ceux des autres produits ; l'inflation fut sélective en affectant les aliments de base toujours plus demandés par une population en pleine croissance⁷⁶.

L'écart croissant entre la population et les ressources a jusqu'à présent été expliqué seulement par le fait que la demande surpassait la production. Étant donné la forte intensité des contraintes climatiques après 1565, il semble bien que le niveau de la production alimentaire globale a dû baisser au cours des der-

nières décennies du siècle. Pour la Suisse, on a établi, approximativement, la différence de la production moyenne de céréales, de vin et de lait pour deux périodes subissant des effets du climat différent : 1530-1560 et 1560-1600. La production céréalière a été estimée sur la base des rapports semence-récolte, la production viticole sur les rendements à l'hectare et la production laitière à partir de modèles agro-écologiques. Selon ces estimations, la production céréalière aurait diminué de 10 000 à 33 000 tonnes par an, la production viticole de 150 000 à 200 000 hectolitres, tandis que les diminutions annuelles de la production laitière s'établissaient entre 0,5 et 1,9 million d'hectolitres⁷⁷. Une question demeure : dans quelle mesure ces conclusions restent-elles valables dans un contexte géographique plus vaste ? La réponse exige de nouvelles recherches.

★

La portée de la théorie des crises céréalières associée au nom de Labrousse a été testée, pour la Suisse, en simulant les fluctuations annuelles des prix des céréales sur un modèle élaboré à partir de variables météorologiques. La technique de la simulation nécessite la connaissance des données mensuelles de températures et de précipitations. Le modèle devait posséder une structure répondant au savoir agronomique et tenir compte du caractère non linéaire des relations climat-récoltes. Ce test devait pouvoir être étendu aux périodes qui ont précédé les débuts des mesures instrumentales du temps, car un important ensemble d'observations descriptives et de données indirectes permettait de caractériser celles-ci.

En Europe continentale, avant l'arrivée du chemin de fer, l'élément essentiel de la formation du prix des céréales était l'importance de la production vivrière, et donc les problèmes climatiques sous-jacents. D'après les résultats récemment obtenus par les agronomes pour les régions européennes, la production céréalière globale d'un pays reflète davantage l'enchaînement de vastes situations climatiques sur l'année-récolte que la somme des données météorologiques locales et régionales.

Les combinaisons climatiques qui déclenchent les crises de subsistance associent les éléments suivants : un automne humide, un hiver précoce, un printemps froid et neigeux, un été humide, en particulier en juillet ; les deux derniers éléments ont l'impact le plus important. On les retrouve, généralement, pendant plusieurs années consécutives, dans les modèles météorologiques qui coïncident avec les crises suivantes : 1569-1574, 1586-1589, 1594-1597, 1627-1630, 1688-1694, 1714-1715, 1769-1771, 1816-1817, 1845-1855. Des périodes humides pendant la récolte entraînent de lourdes pertes dues à la présence de moisissure, à la germination des épis, à l'apparition d'insectes et à la diminution du rendement en farine. Cependant, on ne peut mesurer ces effets en termes quantitatifs, et cela peut être l'une des raisons de l'augmentation disproportionnée du prix des denrées alimentaires par rapport au déficit du volume brut des récoltes.

Cette approche permet de distinguer les répercussions climatiques et non climatiques (principalement les effets des guerres et des embargos en Alsace et en Souabe, considérées comme les greniers du nord de la Suisse). On a aussi inter-

prété la courbe des prix selon sa vulnérabilité vis-à-vis des influences climatiques. La comparaison entre prix et influences météorologiques révèle que les prix alimentaires auraient dû augmenter de manière dramatique en 1889-1890 et en 1931-1932 si les systèmes de transport modernes n'avaient pas été développés. D'un autre côté, les prix extrêmes de 1917-1918 semblent résulter, à la fois, des embargos et du schéma classique des conditions météorologiques : printemps froid et été humide.

Dans la longue durée, l'importance de la variation des influences climatiques est très grande. Les périodes relativement libres des contraintes météorologiques (1530-1565, 1630-1678, 1818-1844 et 1891-1914) sont séparées par des cycles où l'influence est forte et répétée (1566-1629, 1679-1720, 1874-1890). Durant la période qui précède l'apparition du chemin de fer, les différents niveaux d'influence climatique à long terme sont, sans aucun doute, liés à la durée et peut-être même à l'existence des cycles commerciaux. L'hypothèse d'un changement climatique à la fin du XVI^e siècle, ainsi que la proposait F. Braudel, dès 1949, s'est révélée parfaitement valable à la lumière des données quantitatives analysées ici. Désormais, le changement climatique doit être inclus parmi les variables qui expliquent la révolution des prix.

Christian PFISTER
Université de Berne

BIBLIOGRAPHIE

- ABEL, Wilhelm, *Massenarmut und Hungerkrisen im vorindustriellen Deutschland*, Göttingen, 1972.
- APPLEBY, Andrew B., « Grain Prices and Subsistence Crises in England and France (1590-1740) », *The Journal of Economic History*, 1979, 4/39, pp. 865-887.
- BADOIN, Robert, *Agriculture et équilibre économique*, Paris, 1961.
- BODMER, Walter, « Ursachen der Veränderungen des Verkehrsvolumens auf der Wasserstrasse Walenstadt-Zürich von 1600 bis 1800 », *Schweiz Zeitschrift f. Geschichte*, 1977, 27, pp. 1-60.
- BORCK, Heinz-Günther, *Der Schwäbische Reichskreis im Zeitalter der französischen Revolutionskriege (1792-1806)*, Stuttgart, 1970.
- BRAUDEL, Fernand, *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II*, New York, 1972. (Édition originale française, 1949 ; édition revue et corrigée, 1966, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, Paris, Armand Colin, 592 p. et 632 p.)
- *Capitalism and Material Life (1400-1800)*, New York, 1973. (Édition originale française, 1966, *Civilisation matérielle et capitalisme, XV^e-XVIII^e siècle*, Paris, Armand Colin.
- BROECKER, W. S., PETEET D. N., RIND D., « Does the Ocean-Atmospheric System have more than one Stable Mode of Operation ? », *Nature*, 1985, 315, pp. 21-26.
- BRÜCKNER, Eduard, « Der Einfluss der Klimaschwankungen auf die Ernteerträge und Getreidepreise in Europa », *Geogr. Zeitschrift*, 1, 1/1895, pp. 39-51, 100-108.
- CHEVALLAZ, Georges-André, *Aspects de l'agriculture vaudoise à la fin de l'Ancien Régime. La terre, le blé, les charges*, Lausanne, 1949.

- CLARK, Peter éd., *The European Crisis of the 1590's. Essays in Comparative History*, Londres, George Allen and Unwin, 1985, xi-324 p.
- DE VRIES, Jan, « Measuring the Impact of Climate on History : The Search for Appropriate Methodologies », *Journal of Interdisciplinary History*, 1980, 10/4, pp. 599-630.
- DOUGLAS, K. S., LAMB, H. H., *Weather Observations and a Tentative Meteorological Analysis of the Period May to July 1588. Research Paper*, Norwich, Climatological Research Unit, 1979.
- DREYFUS, François, *Histoire de l'Alsace*, Paris, Hachette, « Littérature », 1979, 422 p.
- DUBLER, Anne-Marie, *Das Fruchtwesen der Stadt Basel von der Reformation bis 1700*, Bâle, 1969, Separatdruck aus Jahresbericht des Staatsarchivs Basel-Stadt 1968.
- ELSAS, *Umriss einer Geschichte der Preise und Löhne in Deutschland*, Leyde, 1936, 1949, 2 vols.
- GEISLER, Gerhard, *Ertragsbildung von Kulturpflanzen. Erträge der Forschung*, Darmstadt, 1981.
- GEORGELIN, Jean, « L'écologie du froment en Europe occidentale », *Cahiers des Études rurales*, IV, pp. 569-582.
- « Venise au siècle des Lumières », *Civilisations et Sociétés*, Paris, 41, 1978.
- « Les mouvements de longue durée des prix (Kondratieff), leurs liens avec la production agricole et les variations du climat en Europe occidentale : XVII^e-XX^e siècle », *Bulletin d'Histoire économique de l'Université de Genève*, 1979, pp. 12-28.
- GOUBERT, Pierre, *Beauvais et le Beauvaisis de 1600 à 1730*, Paris, 1960, 2 vols.
- GOY, Joseph, LE ROY LADURIE, Emmanuel éd., « Prestations paysannes, dîmes, rente foncière et mouvement de la production agricole à l'époque préindustrielle », *Cahiers des Études rurales*, Paris, 1982, IV.
- GUNNARSSON, Gisli, « A Study in the Historiography of Prices », *Economy and History*, Lund, 1976, vol. XIX : 2, pp. 124-141.
- GUTMAN, Myron P., *War and Rural Life in the Early Modern Low Countries*, Assen, 1980.
- HANUS, H., AIMILLER, O., *Ertragsvorhersage aus Witterungsdaten*, Beiheft z. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Berlin, 1978, 5.
- IMHOF, Arthur E., *Aspekte der Bevölkerungsentwicklung in den nordischen Ländern (1720-1750)*, Berne, 1976, 2 vols.
- JÖHR, Walter Adolph, *Die Konjunkturschwankungen. Theoretische Grundlagen der Wirtschaftspolitik*, Tübingen, 1975.
- KAMEN, Henry, *European Society (1500-1700)*, Londres, 1984.
- KAPLAN, Stephen L., *Bread, Politics and Political Economy in the Reign of Louis XV*, La Haye, Martinus Nijhoff Publishers, 1977, 2 vols.
- KATZ, Richard W., « Assessing the Impact of Climatic Change on Food Production », *Climatic Change*, Bd 1, 1977, pp. 84-96.
- KELLY, P., WIGLEY, T., JONES, P. D., *The Summer of 1816*, Norwich, Climate Monitor, University of East Anglia, Climatological Research Unit, 1984/14.
- KÖRNER, Martin, *Luzerner Staatsfinanzen 1415-1789*, Lucerne, 1981.
- LE ROY LADURIE, Emmanuel, « Zero Population Growth. Population and Subsistence », *Sixteenth Century Rural France Peasant Studies Jg. 1*, 2/1972, pp. 60-65.
- *Times of Feast. Times of Famine. A History of Climate since the Year 1000*, New York, 1972. (*Histoire du climat depuis l'an mil*, Paris, Flammarion, « Nouvelle bibliothèque scientifique », 1967, 384 p.)
- MANDROU, Robert, *La France aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, PUF, « Nouvelle Clio », 1967, 338 p.

MANLEY, Gordon, « Central England Temperatures : Monthly Means 1659 to 1973 », *Quarterly J. Roy. Meteor. Soc.*, 100, pp. 389-405.

MATTMÜLLER, Markus, *Bauern und Tauner im schweizerischen Kornland um 1700*, Schweizer Volkskunde, 70/4, pp. 49-64.

MAURER, Peter, *Anbauschlacht. Landwirtschaftspolitik, Plan Wahlen, Anbauwerk (1937-1945)*, Zurich, 1985.

MORINEAU, Michel, « D'Amsterdam à Séville : de quelle réalité l'histoire des prix est-elle le miroir ? », *Pour une histoire économique vraie*, Lille, 1985, pp. 49-74.

PARKER, Geoffrey, *The Thirty Years War*, Londres, 1984.

PARRY, Martin L., *Climatic Change Agriculture and Settlement*, Dawson, 1978.

PFISTER, Christian, *Agrarkonjunktur und Witterungsverlauf im westlichen Schweizer Mittelland zur Zeit der Oekonomischen Patrioten (1755-1797)*, Berne, 1975.

— « Climate and Economy in Eighteenth Century Switzerland », *Journal of Interdisciplinary History*, 1978, 9/2, pp. 223-243.

— *Klimageschichte der Schweiz (1525-1860), Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft*, Berne, 1985, vol. 1, 2nd éd.

— *Bevölkerung, Klima und Agrarmodernisierung 1525-1860, Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft*, Berne, 1985, vol. 2, 2nd éd.

— *CLIMHIST - a Weather Data Bank for Switzerland 1525 to 1863*, Berne (disponible à METEOTEST, Fabrikstr. 29 A, CH - 3012 Berne).

PIUZ, Anne-Marie, « Climat, récoltes et vie des hommes à Genève (xvi^e-xviii^e siècle) », *Annales ESC*, 1974, 3, pp. 599-618.

POST, John D., *The Last Great Subsistence Crisis in the Western World*, Baltimore, 1977.

— *Food Shortage, Climatic Variability and Epidemic Disease in Preindustrial Europe. The Mortality Peak of the Early 1740's.*, Ithaca-Londres, Cornell University Press, 1985, 303 p.

PRICE, Roger, *The Modernization of Rural France. Communications Networks and Agricultural Market Structures in Nineteenth Century France*, Londres, Hutchinson, 1983, 503 p.

RADEFF, Anne, « Le prix des céréales à Lausanne de 1550 à 1720 », *Revue historique vaudoise*, 1978, pp. 11-20.

SCHUMPETER, Joseph A., *Konjunkturzyklen. Eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses*, Göttingen, 1961.

SIMIAND, François, *Recherches anciennes et nouvelles sur le mouvement général des prix du XVI^e au XIX^e siècle*, Paris, 1930-1932.

SIROL, Jean, *Le rôle de l'agriculture dans les fluctuations économiques*, Paris, 1942.

SLICHER van BATH, B. H., « Agriculture in the Vital Revolution », *Cambridge Economic History of Europe*, Cambridge, 1977, 5, pp. 42-132.

STORM, Peter-Christoph, *Der Schwäbische Kreis als Feldherr, Untersuchungen zur Wehrverfassung des Schwäbischen Reichskreises in der Zeit von 1648 bis 1732*, Berlin, 1974.

TOOKE, Th., NEWMARCH, W., *Die Geschichte und Bestimmung der Preise während der Jahre (1793-1857)*, Dresde, 1862.

WMO éd., *Conference Statement of the international assessment of the role of Carbon-dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts*, Conference of Villach (Autriche) du 9 au 15 octobre 1985, sous le patronage de UNEP, WMO, ICSU.

WUNDER, Bernd, *Frankreich, Württemberg und der Schwäbische Kreis während der Auseinandersetzungen über die Reunionen (1679-1697). Ein Beitrag zur Deutschlandpolitik Ludwigs XIV*, Stuttgart, 1971.

NOTES

1. Th. TOOKE, *History* ; E. BRÜCKNER, « Klimaschwankungen » ; W. A. JÖHR, *Konjunkturschwankungen*, p. 153 ss. ; J. DE VRIES, « Climate », p. 619 ; J. GEORGIN, « Venise » ; M. MORINEAU, *Histoire des prix*.

2. F. BRAUDEL, *Civilisation matérielle*, p. 32.

3. J. DE VRIES, « Climate », p. 602.

4. R. PRICE, *Modernization*, p. 92.

5. J. A. SCHUMPETER, *Konjunkturzyklen*, p. 186.

6. WMO, *Conference Statement*.

7. E. LE ROY LADURIE, *Histoire du climat*, p. 92.

8. J. DE VRIES, « Climate », p. 624.

9. J. DE VRIES, « Climate », p. 608.

10. M. MATTMÜLLER, *Bauern und Tauner*.

11. P. GOUBERT, *Beauvaisis*.

12. P. GOUBERT, *Louis XIV*, p. 361 (cité par A. B. Appleby).

13. A. B. APPLEBY, « Grain Prices ».

14. J. GOY, « Prestations paysannes ».

15. Ch. PFISTER, « Climate and Economy », p. 228.

16. F. BRAUDEL, *La Méditerranée*, 1966, p. 251.

17. J. GEORGIN, « Écologie », p. 578. Un bon aperçu de ce récent article est fourni par H. HANUS et O. AIMILLER, *Vorhersage*.

18. G. MANLEY, « Central England Temperatures ».

19. E. LE ROY LADURIE, *Histoire du climat*, p. 28.

20. Ch. PFISTER, *Klimageschichte*.

21. Les indices sont publiés dans l'ouvrage de Ch. PFISTER, *Klimageschichte*, tableau 1/30.

22. A. M. DUBLER, *Fruchtwesen*, p. 28.

23. A. RADEFF, « Céréales ».

24. G. A. CHEVALLAZ, *Aspects*, p. 182.

25. On a utilisé les données de 1626 à 1634 car la crête des prix pour l'Europe de 1627 à 1630 apparaît à peine dans les séries de Bâle.

26. ELSAS, *Geschichte der Preise und Löhne*, vol. 1, 1936.

27. Ch. PFISTER, en préparation.

28. Pour supprimer l'effet Slutsky, on a comparé les moyennes mobiles selon la formule :

$$a = \frac{1}{2n+2} * \sum_{i=-n}^{+n} \frac{1 + \cos(\pi * i)}{n+1} * P(i)$$

Dans cette formule, 2n + 1 est le pas de lissage.

29. R. W. KATZ, « Impact », p. 86 ss.

30. H. HANUS et O. AIMILLER, *Vorhersage*, p. 54.

31. Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 34 ss.

32. B. H. SLICHER van BATH, « Agriculture », p. 59 ; J. GEORGIN, « Écologie », p. 573 ss.

33. M. L. PARRY, *Climatic Change*, p. 70.
34. A. M. BOISLISLE, « Correspondance des contrôleurs généraux des finances avec les intendants des provinces, Paris, 1864-1897 », citée par E. LE ROY LADURIE, dans *Times of Feast*, p. 69 ss.
35. Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 103.
36. Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 35 ss.
37. H. HANUS et O. AIMILLER, *Vorhersage*, p. 79 ss.
38. Ch. PFISTER, *Agrarkonjunktur*, p. 114 ss. ; Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 35 ss.
39. On a remarqué que de faibles températures de printemps sont nuisibles au rendement du froment dans le Bassin parisien ; voir J. SANSON, « Facteurs climatologiques et rendement du blé dans la région parisienne », *Bulletin des Engrais*, 1937, pp. 294-295, cité par J. GEORGELIN dans « Écologie », p. 573. Pour l'orge, un printemps froid est également nuisible. Pour l'avoine, un printemps froid retarde l'époque des semailles. Comme les cultures ont besoin d'une longue période pour arriver à maturation, l'été ne doit pas être trop court : ce fut le cas, en Écosse, par exemple, pendant les « sept mauvaises années » à la fin du XVII^e siècle (M. G. PARRY, *Climatic Change*, p. 164 f.).
40. Ch. PFISTER, *Klimageschichte*, p. 149.
41. A. M. DUBLER, *Fruchtwesen*, p. 37.
42. Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 36.
43. J. D. POST, *Subsistence Crisis*, p. 41.
44. Pour une discussion sur la production nette des céréales, le rendement en farine et les effets multiplicatifs, voir S. KAPLAN, *Bread*, vol. 1, pp. 253-254. Pour une discussion de ces problèmes dans le cas des mauvaises récoltes en 1816 en Europe, voir J. D. POST, *Subsistence Crisis*, p. 41.
45. J. DE VRIES, « Climate », p. 609 ss.
46. B. M. SLICHER van BATH, *Agriculture*, p. 58.
47. Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 37 ss. La preuve agronomique est mentionnée.
48. Seuils : pluies d'été 1,4 ; pluies d'automne et d'hiver 2 ; pluies de printemps 1,8 ; températures d'été et d'automne 2 ; températures de printemps 1,7.
Pondérations : pluies d'automne, printemps, hiver 2 ; pluies d'été 1,5 ; températures de printemps et d'été 1,5.
Pour les années au cours desquelles un printemps froid coïncide avec un automne froid, c'est-à-dire lorsque la période de croissance se trouve raccourcie aux deux extrémités, les effets doivent être multipliés par 1,2 pour tenir compte de l'effet cumulatif.
50. W. ABEL, *Massenarmut*, p. 49.
51. M. P. GUTMAN, *War and Rural Life*, p. 198 ss.
52. M. KÖRNER, *Staatsfinanzen*, p. 55.
53. W. ABEL, *Massenarmut*, p. 39 ss.
54. Ch. PFISTER, *Klimageschichte*, p. 116 f. et tableau 1/31.
55. K. S. DOUGLAS et M. M. LAMB, *Weather Observations*.
56. P. CLARK, *Crisis*, p. 8.
57. Au milieu des années 1630, les Suédois envahirent les régions frontalières au-delà du Rhin et les Français tentèrent d'occuper la Franche-Comté. En 1643, les armées de l'empereur et les Français s'engagèrent dans des opérations militaires (W. BODMER, « Verkehrsvolumen », p. 8 ; G. PARKER, *Third Years War*, p. 150 ss.). Dans les années 1670, les guerres de Louis XIV dévastèrent l'Alsace (F. DREYFUS, *Alsace*, p. 156) et la Franche-Comté fut occupée par les Français (R. MANDROU, *France*, p. 44).
58. Entre 1627 et 1629, une armée Habsbourg vécut sur les réserves céréalières de l'Alsace et de la Souabe (W. BODMER, « Verkehrsvolumen », p. 8). De 1688 à 1697, à nouveau, la guerre sévit presque constamment dans les greniers céréalières de la Suisse (B. WUNDER, *Frankreich*).
59. Ch. PFISTER, *Klimageschichte*, p. 140.

60. J. SIROL, *Agriculture*, p. 364 ; A. EIRAS ROEL, *Ensayo de Tratamiento per ordonador de los precios del trigo en Francia*, séries de E. LABROUSSE. Dans *Historia moderna*, Saint Jacques de Compostelle, 1975, vol. 3, pp. 623-643, cité par J. GEORGELIN, dans « Mouvements », p. 28.
61. P. KELLY, T. WIGLEY, P. D. JONES, *Summer* ; J. D. POST, *Subsistence Crisis*, p. 7 ss.
62. R. PRICE, *Modernization*, p. 150 ss.
63. Ch. PFISTER, *Climate and Economy*, p. 235.
64. En 1712, en maintes régions, les céréales de printemps ne furent pas semées car la plupart des paysans furent appelés à rejoindre les deux armées. (J. H. FRIES, *Wellliche, meist vaterländische Geschichten*, Manuscrit de la Bibliothèque centrale de Zurich, Mss B 186 a-c). En 1713, au cours de sa phase finale, la guerre de Succession d'Espagne eut surtout lieu en Souabe (P. Ch. STORM, *Schwäbischer Kreis*, p. 106).
65. H. G. BORCK, *Reichskreis*, pp. 115-124.
66. P. MAURER, *Anbauschlacht*.
67. P. MAURER, *Anbauschlacht*.
68. Ch. PFISTER, *Klimageschichte*, p. 149.
69. J. DE VRIES, « Climate », p. 624.
70. F. BRAUDEL, *Méditerranée*, p. 251.
71. E. LE ROY LADURIE, *Histoire du climat*.
72. A. M. PIUZ, « Climat », p. 603.
73. N. ROSENBERG, « Perspectives on Technology », Cambridge, 1976, p. 281, cité par J. DE VRIES dans « Climate », p. 625.
74. W. S. BROECKER *et alii*, « System ».
75. Ch. PFISTER, *Klimageschichte*, tableaux 1/31 et 1/32.
76. Cet argument suit l'analyse de H. KAMEN dans *European Society*, p. 54 ss.
77. Ch. PFISTER, *Bevölkerung*, p. 84 ss.