

## Histoire du climat et économie : des faits nouveaux, une interprétation différente

Jan Vries

### Abstract

The new evidence presented and analysed in this article represents the annual number of days a Dutch canal was closed by ice in the period 1634-1839. Correlation and regression analysis were used to estimate average winter temperatures. The same techniques were applied to French wine harvest dates to create a companion series of summer temperatures, but the results uncovered important weaknesses in this source which receive detailed analysis.

The resulting long series of winter temperatures is analysed statistically to identify possible long cycles. The conclusion is that periods of maritime and continental climate alternated, and that these periods have been from 60 to 100 years duration. The "little ice age" concept is examined in the light of these findings.

Finally, the effect to annual changes in winter temperatures on six Dutch economic variables is analysed. Various methods are employed but the results are essentially negative. The effect of climate on the economy is real but subtle; the crude historical indicators of climate at our disposal do not suffice to identify the economic impact of annual weather fluctuations.

---

### Citer ce document / Cite this document :

Vries Jan. Histoire du climat et économie : des faits nouveaux, une interprétation différente. In: Annales. Economies, sociétés, civilisations. 32<sup>e</sup> année, N. 2, 1977. pp. 198-226;

doi : <https://doi.org/10.3406/ahess.1977.293810>

[https://www.persee.fr/doc/ahess\\_0395-2649\\_1977\\_num\\_32\\_2\\_293810](https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_1977_num_32_2_293810)

---

Fichier pdf généré le 11/04/2018

## ***HISTOIRE DU CLIMAT ET ÉCONOMIE : des faits nouveaux, une interprétation différente***

Un souci constant des historiens du climat est de substituer à des observations anecdotiques et discontinues, des données objectives quantifiables et formant des séries chronologiques ininterrompues et s'étendant sur de longues périodes. Dans un premier temps, cet article allait dans ce sens ; il présentait une série de températures hivernales moyennes en Hollande à partir de 1634. Cette série comblait mes vœux d'historien de l'économie, dans la mesure où elle permettait de déterminer les conséquences des fluctuations annuelles de température en Hollande sur un certain nombre de variables économiques. C'est en cours d'élaboration puis d'analyse de ma série, que j'ai été amené à prendre en considération des données de l'histoire du climat voisines des miennes. Il m'a fallu finalement reconsidérer la théorie même de l'histoire du climat, ce qui m'entraînait très loin de mon propos initial, et de ma sphère de compétence. L'aide et les conseils — souvent indispensables — de nombreux collègues<sup>1</sup> ont rendu cette tentative possible à quatre niveaux : 1. établir une série valable des températures hivernales moyennes en Hollande et des températures estivales à partir de la date des vendanges en France (ce qui m'a conduit à mettre en question l'importance de ces dates pour l'histoire du climat) ; 2. dégager et analyser les tendances climatiques à long terme de l'Europe du Nord-Ouest ; 3. intégrer ces découvertes dans un contexte théorique susceptible d'intéresser le climatologue autant que l'historien ; 4. délimiter le domaine d'influence des fluctuations du climat hivernal sur les variables économiques de l'Europe pré-industrielle.

### ***Les températures hivernales hollandaises, 1634-1975***

Le temps est révolu — on l'espère en tout cas — où les historiens pouvaient se satisfaire, voire même espérer bâtir leur réputation sur la découverte et la publication de sources nouvelles. Une source n'a d'ailleurs vraiment d'intérêt qu'en fonction des questions qu'on lui pose. Ce qui ne veut pas dire que la découverte heureuse d'une source historique nouvelle ne réjouisse pas l'historien

et ne l'encourage pas à persévérer dans un travail d'archives bien souvent rebutant.

J'ai eu la chance de trouver un tel filon, alors que je travaillais sur des documents qui représentaient en eux-mêmes une mine intéressante. Au début de 1632, les Hollandais entreprirent la construction d'un vaste réseau de canaux permettant le transport des habitants entre les grandes villes de la République. Les archives administratives de cette entreprise fourmillent de renseignements importants pour l'histoire économique de la République ; elles ont permis la rédaction d'une étude à paraître prochainement. Des rapports financiers annuels étaient établis pour la plupart de ces voies d'eau : ils consistaient en des états mensuels sur deux colonnes, recettes et dépenses. J'ai remarqué que les recettes baissaient singulièrement durant les mois d'hiver ; il arrivait même qu'elles fussent inexistantes, et le préposé aux écritures notait en marge : « bevroren vaart », c'est-à-dire canal gelé. Je ne pouvais faire autrement que de tenir compte du climat dans mon analyse des fluctuations à court terme des revenus du canal. Je fus à nouveau favorisé : le registre du canal reliant les villes de Haarlem et de Leiden mentionnait les jours où le canal était fermé pour cause de gel, puis ceux de sa réouverture. En 1665-1666 par exemple, les bateaux s'arrêtèrent le 25 décembre. Le trafic reprit le 12 janvier, mais il fut à nouveau interrompu du 28 janvier au 1<sup>er</sup> février. Et les archives conservent le même luxe de détails de l'ouverture du canal en 1657 jusqu'en 1839, à l'exception de la période 1757-1813, où l'administration du canal fut concédée à une société privée.

TABLEAU IA

Total annuel des jours où le canal de Haarlem-Leiden fut gelé

1634-1657

Année	Total des jours fermés	Année	Total des jours fermés
—	—	—	—
1634	49	1646	59
1635	55	1647	54
1636	24	1648	0
1637	0	1649	44
1638	34	1650	19
1639	14	1651	32
1640	30	1652	30
1641	28	1653	28
1642		1654	10
1643		1655	54
1644		1656	47
1645	12	1657	29

Si un heureux hasard présida à la découverte de ces archives, toute une série de coïncidences bénéfiques allait me permettre d'en tirer un profit incomparable comme indicateurs de la température hivernale. Premier point, ces données sont absolument à l'abri de toute erreur ou altération dans l'observation. La largeur et la profondeur du canal sont restées inchangées de 1657 à 1839. De la même manière, la taille des bateaux assurant la navette — des *trekschuiten* longs et

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

étroits — ainsi que leur force motrice — les chevaux — n'ont pratiquement pas varié. En conséquence, la glace a pu se former à la surface du canal dans des conditions identiques tout au long de la période considérée.

TABLEAU IB

*Total annuel des jours où le canal de Haarlem-Leiden fut gelé*

1658-1757      1814-1839

<i>Année</i>	<i>Total des jours fermés</i>	<i>Année</i>	<i>Total des jours fermés</i>	<i>Année</i>	<i>Total des jours fermés</i>
—	—	—	—	—	—
1658	64	1700	0	1742	27
1659	19	1701	7	1743	35
1660	58	1702	4	1744	44
1661	0	1703	13	1745	15
1662	0	1704	20	1746	51
1663	85	1705	14	1747	25
1664	0	1706	23	1748	58
1665	49	1707	11	1749	0
1666	24	1708	8	1750	13
1667	44	1709	81	1751	33
1668	17	1710	18	1752	0
1669	28	1711	17	1753	28
1670	56	1712	22	1754	26
1671	0	1713	34	1755	64
1672	78	1714	29	1756	0
1673	35	1715	17	1757	59
1674	29	1716	76		
1675	0	1717	6		
1676	0	1718	36	1814	75
1677	47	1719	20	1815	49
1678	29	1720	14	1816	40
1679	78	1721	27	1817	0
1680	0	1722	4	1818	0
1681	73	1723	22	1819	26
1682	14	1724	0	1820	55
1683	10	1725	6	1821	30
1684	63	1726	28	1822	0
1685	37	1727	4	1823	72
1686	0	1728	0	1824	0
1687	25	1729	37	1825	0
1688	33	1730	13	1826	34
1689	39	1731	0	1827	42
1690	22	1732	32	1828	25
1691	68	1733	17	1829	44
1692	68	1734	18	1830	89
1693	11	1735	12	1831	29
1694	28	1736	19	1832	21
1695	73	1737	0	1833	34
1696	17	1738	17	1834	0
1697	83	1739	0	1835	2
1698	68	1740	80	1836	19
1699	0	1741	20	1837	16
				1838	58
				1839	11

Seconde considération, les Pays-Bas sont situés dans une zone de température où, si le thermomètre descend souvent en dessous de zéro, la température hivernale moyenne est néanmoins quelque peu supérieure à zéro (à long terme s'entend) ; ce qui implique que ces données sont susceptibles de constituer un indicateur sensible de la rudesse des hivers.

Troisième aspect, l'Angleterre exceptée, la Hollande est le premier pays à avoir utilisé des instruments météorologiques pour relever directement les températures. A. Labriijn a recueilli toutes les données existantes et les a réunies en une série continue partant de 1735, avec pour référence la station météorologique centrale d'Utrecht-De Built. Mes données peuvent donc être confrontées avec ces observations directes. Enfin, une source supplémentaire permet de prolonger la série en amont, de 1633 à 1657. Les registres du canal mentionnent le nombre de voyages effectués mensuellement par les bateaux de passagers. Les bateaux naviguant selon un horaire strict, toute entorse à celui-ci risque de résulter de la glace qui obstrue le canal. Or, en ce qui concerne la circulation entre Haarlem et Amsterdam, les archives commencent en 1633, un an après la mise en activité de ce canal.

Les données de navigation (après 1633), les indications quant à l'obstruction du canal par les glaces (à partir de 1657) et les observations météorologiques directes, pratiquées dès 1735, ont été combinées grâce au procédé de l'analyse par régression, en une série unique de températures hivernales moyennes ou estimatives (une moyenne des observations quotidiennes pour les mois de décembre de l'année précédente, de janvier et de février) <sup>2</sup>.

L'analyse par régression comporte deux temps ; il a fallu d'abord déterminer les moindres carrés de la droite de régression pour le nombre de voyages des bateaux empruntant le canal chaque hiver de Haarlem-Amsterdam, et le nombre de jours où la voie proche Haarlem-Leiden était prise par les glaces. Les éléments d'information, qui couvrent la période 1658-1682, ont révélé un degré de corrélation fort élevé et significatif. Le coefficient de corrélation R est de  $-0,92$ . On peut donc utiliser sans risque d'erreur l'équation de régression  $Y = 89,72 - 0,055X$ , pour calculer Y (le nombre de jours de gel) pour les années antérieures à 1658, pour lesquelles on ne dispose que de X (le nombre de voyages) <sup>3</sup>. Le tableau I renferme la série des jours de gel obtenue grâce à ce procédé. Seconde étape : calculer la température hivernale moyenne, à partir de la série des jours de gel d'une part, et des séries météorologiques de Labriijn d'autre part, rapportées à Utrecht-De Built. L'analyse par régression a été à nouveau utilisée, pour les périodes 1735-1757 et 1814-1839. Une simple régression des jours de gel (X) à la température hivernale moyenne exprimée en degré centigrades (Y) s'est avérée significative à 1 % près, avec un coefficient de corrélation de  $-0,92$  <sup>4</sup>. On trouvera la série qui en résulte dans le graphique 1. Il faut toutefois apporter deux restrictions à cette série. Si le registre des jours de gel fournit un indicateur sensible de la température hivernale pour la plupart des années considérées, il ne rend absolument pas compte des températures les plus hautes atteintes au cours d'hivers sans glace. Aussi l'estimation est-elle faussée pour les températures élevées. Au-delà de  $+4$  °C, l'estimation n'est plus possible ; or, concernant la période postérieure à 1735, le thermomètre a pu s'élever, pour les hivers les plus doux, de quelques dixièmes au-dessus de ce seuil. On pourrait aussi nous objecter que les estimations de température pour la période antérieure à 1658 reposent sur des estimations d'estimations. Nous

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

acceptons cette réserve, et accordons beaucoup moins de crédit à ces températures qu'à celles postérieures à 1658.

Limites acceptées, il n'en reste pas moins que l'analyse par régression se caractérise davantage par sa cohérence que par ses lacunes. Le registre du nombre de jours de gel du canal Haarlem-Leiden a démontré qu'il constituait un estimateur remarquablement sensible de la température hivernale moyenne. On est en mesure, grâce à lui, non seulement de savoir si un hiver donné était relativement froid ou doux (les descriptions de contemporains donnent parfois cette même information), mais aussi et surtout de mesurer avec précision la sévérité des hivers selon les critères actuels. Les sautes de la température apparaissent aussi au long de cycles irréguliers qui couvrent cependant des périodes de trois et quatre années. Mais l'apport essentiel d'une série qui s'étend maintenant sur 340 ans est la mise en évidence de tendances et de cycles longs dans le climat de l'Europe occidentale. Évidemment, notre série est muette sur la périodicité des ères du pléistocène. Elle peut néanmoins apporter des arguments dans le large débat des périodicités moindres.

Afin de faciliter l'étude des tendances de température, la série a été convertie en moyennes mobiles de 9 ans (voir graphique 2). Deux modèles cycliques sautent alors aux yeux : des cycles de 7 à 20 ans, et d'autres, plus longs, de plus de 60 ans. Les cycles courts semblent se tasser — aux alentours de 10 ans — dans les phases hivernales froides, alors qu'au contraire ils s'allongent — jusqu'à près de 20 ans — dans les phases douces des cycles longs. En utilisant des moyennes mobiles de 15 à 31 ans, ces fluctuations cycliques à court terme s'estompent, ce qui est normal, mais la distinction fondamentale entre les périodes demeure. Cet aspect des cycles courts a pour seul mérite d'appréhender plus intimement les cycles longs apparents dans la série chronologique des températures hivernales. Ils restent évidents, quelle que soit la technique utilisée pour lisser les courbes construites sur les données de base.

Il est pratiquement impossible de pousser plus avant l'analyse de ces cycles sans recourir à d'autres phénomènes climatiques. La plupart des théories sur les changements de climat ne peuvent être construites qu'avec le renfort de la pluviométrie, de la pression barométrique et de la température estivale moyenne. C'est ce que fit Labriijn pour la période postérieure à 1735 ; on ne dispose malheureusement pour la période antérieure que d'une source complémentaire unique (capable de fournir des observations annuelles s'entend) : la date des vendanges en France. Je me propose donc, du fait de la complémentarité de ces dates avec ma série des températures hivernales pour l'étude des cycles climatiques longs, de les considérer d'un œil critique avant de passer à l'élaboration d'une série d'estimations de la température estivale moyenne.

### *Dates des vendanges et températures estivales*

Les dates de début des vendanges, fixées annuellement par les autorités municipales, permettent de constituer une série continue qui s'étend à un nombre important de localités et remonte jusqu'au début du xvi<sup>e</sup> siècle. Plusieurs chercheurs, d'A. Angot au xix<sup>e</sup> siècle jusqu'à, plus récemment, M. Garnier, mais surtout E. Le Roy Ladurie, ont recensé ces dates pour les combiner en séries chronologiques ; ils ont remarqué la correspondance entre la proclama-

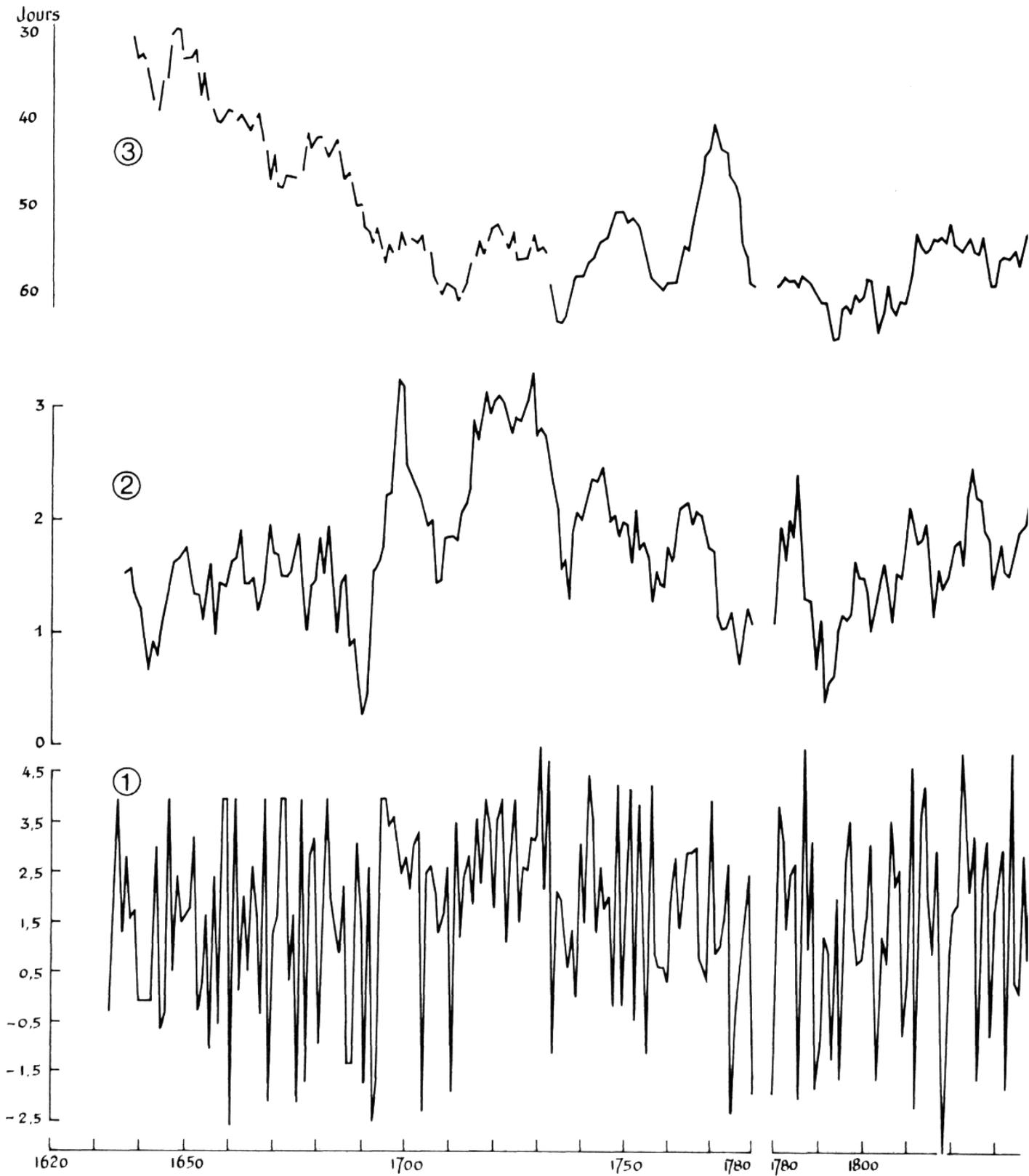
tion d'ouverture de la vendange et le climat de l'été précédent<sup>5</sup>. Le raisin mûrit plus ou moins vite, selon que l'ensoleillement est important ou qu'il pleut, mais la variable la plus décisive semble être la température moyenne de la période qui va de la germination à la vendange, c'est-à-dire d'avril à septembre.

Le Roy Ladurie s'efforce de montrer la corrélation entre les dates de vendanges et la température moyenne du printemps et de l'été ; il recourt pour ce faire à la courbe de la température à Paris et à une série complexe des dates de vendanges au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. Ces séries sont exprimées en moyennes mobiles de cinq ans. En ce qui concerne le XVIII<sup>e</sup> siècle, un relevé précis des températures n'existant pas pour la France, Le Roy Ladurie a recours aux températures du centre de l'Angleterre ; il établit ainsi une série de dates de vendanges avec des moyennes mobiles de deux ans. Dans les deux cas, les courbes tendanciennes ont la même orientation. Le Roy Ladurie en conclut que la précocité des vendanges est fonction de la chaleur du printemps et de l'été, et inversement. Il va même plus loin, et affirme que sa série des dates de vendanges éclaire toute « l'histoire des fluctuations thermiques printanières et estivales de l'Europe du Nord-Ouest<sup>6</sup> ». En privilégiant les dates de vendanges parmi d'autres données climatiques, Le Roy Ladurie vise essentiellement à remettre à sa juste place la masse d'informations anecdotiques et disparates sur laquelle s'était fondée toute l'histoire climatique antérieure. Malheureusement, il ne va pas, comme on aurait pu l'espérer, jusqu'à substituer des mesures de température en valeur absolue à des valeurs relatives. On aurait pu par exemple, toujours en suivant les jalons posés par Le Roy Ladurie, déduire d'une date de vendange  $t$ , plus tardive de dix jours par rapport à  $t - 1$ , que l'année  $t$  était plus froide que l'année  $t - 1$  d'une fraction de degré ou, par exemple, d'un degré complet. Ce qui aurait permis, non seulement de caractériser plus précisément le temps de chaque année, mais aussi de déceler des tendances séculaires.

Si Le Roy Ladurie n'emprunte pas ce parcours logique, c'est, il le reconnaît, parce que les dates de vendanges ne consistent pas uniquement en l'observation d'un phénomène naturel. Les dates étaient parfois fixées plus tôt ou plus tard qu'elles n'auraient dû l'être afin de modifier la qualité du produit final. Par conséquent, les fluctuations caractéristiques de la demande en vin de chaque région productrice impliquent des modulations de la série des dates de vendanges. Le Roy Ladurie estime que ces déformations qui retardent les vendanges d'une semaine à dix jours, intervinrent progressivement entre le règne de Louis XIII et celui de Louis XV. En tout état de cause, même si l'on admet que ces déformations furent rares, les dates de vendanges, sans être abandonnées, méritent d'être maniées avec précaution. Le Roy Ladurie préfère à celles-ci d'autres sources pour étudier les tendances climatiques séculaires, réservant les dates de vendanges à l'analyse des variations annuelles. C'est sans doute pour cela qu'il ne tente pas d'établir une série d'estimations des températures printanières et estivales à partir de ses dates de vendanges.

Afin de posséder une série complémentaire de celle de mes températures moyennes hivernales, je me suis astreint à convertir les dates de vendanges en expressions cardinales des températures printanières et estivales. Le processus est analogue à celui utilisé pour la conversion des jours de gel du canal en estimations de la température hivernale. Là aussi, j'ai eu recours à l'analyse par régression, en me fondant sur les données suivantes : la température moyenne (printemps-été) de la Hollande, à partir de 1735, et deux séries séparées de dates

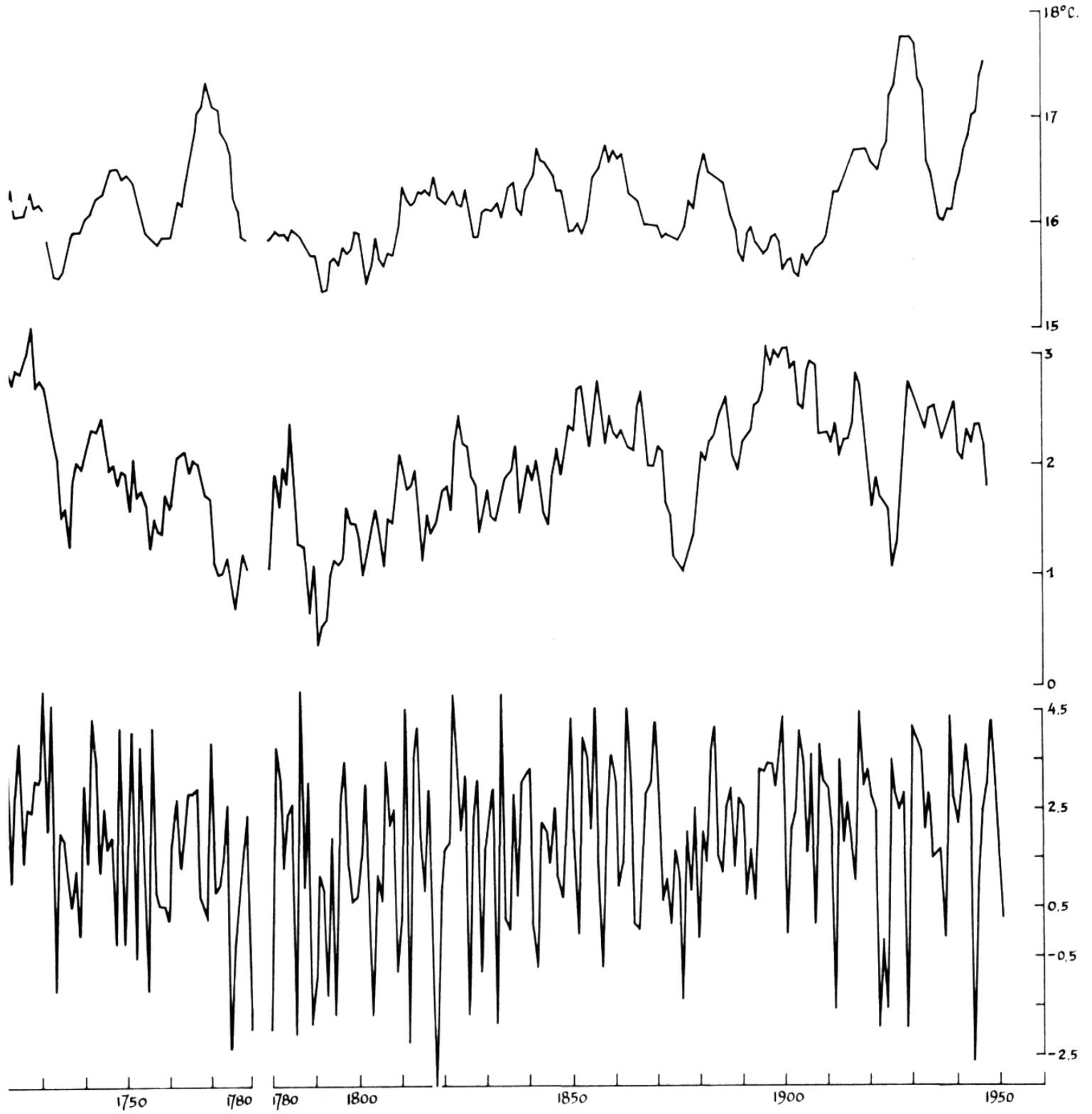
## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE



GRAPH. 1. — Les températures d'hiver, en chiffres bruts.

GRAPH. 2. — Les températures d'hiver, en moyennes mobiles de neuf ans.

GRAPH. 3. — Les températures d'été (estimées d'après les dates de vendanges en France, pour la période 1638-1735).



## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

de vendanges dont la durée est suffisante — en amont, jusqu'au début du xvii<sup>e</sup> siècle, en aval, au-delà de 1735 — pour qu'on puisse déterminer l'équation de régression. L'une des deux séries de dates de vendanges est celle établie par Angot ; elle s'étend jusqu'en 1839 ; la seconde, faite d'éléments composites qui concernent le nord de la France est due à Le Roy Ladurie ; elle va jusqu'en 1791<sup>7</sup>. Ainsi, ces séries de températures printanières et estivales rendent possible l'étude de cycles de températures à long terme. Cependant, compte tenu des précautions et mises en garde de Le Roy Ladurie, notre démarche est-elle justifiée ? Il faut, pour répondre à cette question, approfondir les caractéristiques statistiques des dates de vendanges considérées comme indicatives de la température estivale.

Les coefficients de corrélation calculés à partir de ces séries concernent une période postérieure à l'évolution vers des vendanges plus tardives dont il a été fait mention. Malgré cela, les corrélations sont extraordinairement faibles : le coefficient de corrélation est de  $-0,29$  pour la série Angot (1735-1839), et de  $-0,46$  pour la série Le Roy Ladurie. Même si on se réfère à ce second cas, les dates de vendanges n'expliquent qu'à 21 % (le coefficient de détermination étant  $r^2 = 0,21$ ) les variations des températures estivales moyennes en Hollande<sup>8</sup>.

Pourquoi ce résultat inattendu ? Première objection possible à cette analyse par régression : l'utilisation de données thermiques hollandaises. Nonobstant l'affirmation de Le Roy Ladurie (grâce aux vendanges, une histoire des fluctuations thermiques de l'Europe du Nord-Ouest est possible), l'utilisation de températures estivales hollandaises plutôt que françaises permet de pallier davantage les carences de l'assemblage des séries. Le problème reste de savoir jusqu'à quel point l'utilisation de données climatiques françaises permet d'améliorer les coefficients de corrélations. La série de températures françaises pour Paris et les environs, établie, qui plus est, avec tout le sérieux nécessaire par M. E. Renou, ne commence malheureusement que vers la fin du xviii<sup>e</sup> siècle<sup>9</sup>. Pour la période 1790-1840, on peut comparer les coefficients de corrélation d'une série nationale, mais composite, de dates de vendanges établie par Le Roy Ladurie avec les températures d'avril à septembre pour la Hollande et pour la France. La corrélation avec les températures de Paris est de  $-0,74$  et de  $-0,65$  avec les températures hollandaises. Dans ce cas précis, préférer les températures hollandaises aux parisiennes réduit de 55 à 42 % la variation expliquée. L'emploi des températures françaises laisse apparaître une différence, mais le problème fondamental reste entier.

Un fait est à noter, plus important que la conclusion prévisible selon laquelle les dates de vendanges correspondent mieux aux températures françaises qu'aux températures hollandaises : les corrélations sont beaucoup plus étroites pour cette période (1790-1839) que pour les années envisagées auparavant (1735-1791). Pourquoi cette amélioration importante dans les relevés de températures tant français qu'hollandais ? L'une des raisons réside sans doute dans le fait que les éléments d'informations contenus dans la série composite des dates de vendanges en France sont beaucoup plus nombreux après 1790 qu'auparavant. Mais le hasard a dû lui aussi jouer son rôle.

Ceci nous amène à une autre caractéristique spécifique des dates de vendanges : leur irrégularité. Pour la période 1790-1850, les coefficients de corrélation entre la série nationale de vendanges et les températures printanières et estivales à Paris — pour des sous-périodes allant de 11 à 31 ans — varient de

- 0,47 à - 0,98. La qualité de la période 1790-1839 résulte principalement d'une corrélation extraordinairement élevée (- 0,98) pour les années 1810-1820 (si l'on fractionne au contraire la série 1735-1791 en sous-périodes de 20 ans, les coefficients peuvent varier jusqu'à 50 %).

Seconde objection recevable à la régression des dates de vendanges aux températures estivales moyennes : l'inexistence d'autres variables pertinentes. La maturation du raisin n'est pas simplement fonction de la température moyenne durant les mois d'avril à septembre ; interviennent aussi l'ensoleillement et la pluviosité au cours de cette période. Nous ne connaissons pas le nombre de jours d'ensoleillement dans l'année ; nous disposons en revanche, à partir de 1806 de relevés de la pluviosité à Paris <sup>10</sup>. Une régression multiple couvrant la période 1806-1850, dans laquelle la température estivale moyenne et la pluviosité à Paris sont les variables indépendantes et la série composite nationale des dates de vendanges la variable dépendante, n'améliore en rien la corrélation simple entre température et dates de vendanges. Ce qui ne veut pas dire que la pluviosité n'intervient en rien dans la date de la vendange. Il est bien évident que l'étalement de la pluviosité est au moins aussi important que la quantité de pluie tombée au cours de la période de croissance de la vigne. Simplement, notre approche est trop grossière pour espérer obtenir une corrélation meilleure ; mais ceci implique que l'hypothèse que nous mettons à l'épreuve — selon laquelle la date de la vendange rend compte avec précision de la température estivale moyenne — souffre aussi de la grossièreté avec laquelle elle caractérise les déterminants des dates de vendanges.

Un troisième facteur est à prendre en considération, qui pourrait affecter de manière significative l'utilisation des dates de vendanges en tant qu'indicateurs de la température estivale : peut-on se fier aux observations effectuées par les autorités municipales responsables de la fixation de ces dates ? A la différence du relevé des jours de gel sur les canaux, la proclamation du début de la vendange dépend d'appréciations subjectives sur la maturité du raisin. La distribution des dates de vendanges et des températures estivales moyennes laisse apparaître une tendance des premières à se concentrer davantage autour de la moyenne. Les dates de vendanges s'écartent beaucoup plus rarement de cette moyenne que si elles étaient distribuées normalement. Ce qui laisse à penser que les autorités devaient prendre les contraintes économiques en considération avant de fixer une date. Les conditions locales du marché du travail, par exemple, pouvaient les inciter à avancer ou retarder les vendanges, quelle que fût la maturité du raisin. Des facteurs culturels pouvaient aussi influencer la répartition de ces dates. Les dimanches étaient-ils écartés ? Une distorsion d'une journée est apparemment insignifiante, mais en fait elle peut introduire une déformation notable. Les températures estivales moyennes sont sujettes à infiniment moins d'écarts que les températures hivernales. Pour la période 1735-1791, 80 % des dates de vendanges dans le nord de la France varient de - 6 et + 10 jours par rapport à la date moyenne de vendanges. Pour la même période, 80 % des températures estivales moyennes hollandaises s'inscrivent entre 15,2° et 17,2°. Les choses semblent claires : un écart de 16 jours d'un côté, une variation de 2 degrés de l'autre. Nos températures ayant été évaluées au 1/10 de degré près, on peut envisager qu'une erreur d'une seule journée risque, en principe, d'altérer les estimations de température de plus de 1/10 de degré. En dehors des facteurs économiques et culturels, peut-on imaginer que les autorités

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

pouvaient espérer parvenir à une précision d'observation suffisante pour repérer des différences de 1/10 de degré dans la température moyenne des six mois précédents ?

On peut améliorer le niveau d'exactitude auquel se tenaient les autorités (et tenter une sorte de « subterfuge » afin d'améliorer les coefficients de corrélation) en élargissant les intervalles utilisés dans notre série chronologique. Plutôt que de mesurer les températures en dixièmes de degré, j'ai regroupé les données en intervalles de demi-degrés. De la même manière, les dates de vendanges ont été rassemblées en intervalles croissants de 3, 5, 7 et 9 jours. Assez curieusement, le coefficient de corrélation, qui est de  $-0,46$  pour les données brutes, ne se trouve pas amélioré par ce processus. Il est possible que les sources d'erreur dans l'observation et l'« interprétation » que nous avons relevées auparavant n'aient pas disparu. L'impuissance du procédé à améliorer la corrélation démontre l'existence d'autres carences, plus profondes, qui viennent grever l'hypothèse d'une correspondance étroite et directe entre températures estivales moyennes et dates de vendanges.

Le Roy Ladurie a bien noté les conséquences éventuelles d'une volonté de modifier la qualité du vin sur la date moyenne de la vendange ; mais il en conclut que ces dates ne pouvaient être trompeuses qu'au niveau des tendances de température à long terme. Leur force réside en revanche, selon lui, dans le repérage des changements de la température estivale moyenne d'une année sur l'autre <sup>11</sup>. Je suis enclin à adopter le point de vue contraire. Les relevés évoqués ci-dessus font se poser la question de leur utilité pour le court terme. N'importe quelle date de vendange, prise séparément, s'accorde avec un éventail relativement large de températures estivales moyennes <sup>12</sup>. Ce qui ne veut pas dire que les dates de vendanges sont sans intérêt. Les coefficients de corrélation varient, après tout, entre 0,4 et 0,6. Il paraît raisonnable de conclure que la relation entre température et date de vendange prend sa pleine signification quand les moyennes sont établies sur de longues périodes lorsqu'on étudie les variations de cycles de température tels que ceux décelés dans la série chronologique de température hivernale moyenne.

Une telle analyse est possible en considérant le graphique 3, qui reprend la série des températures hivernales moyennes du graphique 2 en y ajoutant les séries de Labrijn pour la température estivale moyenne en Hollande après 1735, et d'A. Angot pour les vendanges pendant le siècle précédant 1735 <sup>13</sup>. Après tout ce que nous avons dit des dates de vendanges, des précautions supplémentaires quant à l'interprétation de la courbe de la température estivale avant 1735 peuvent sembler superflues. Néanmoins, la tendance générale de ces données est si évidente et le changement si important qu'il me paraît justifié de les incorporer dans l'analyse des variations de température à long terme (pour une explication approfondie, cf. ci-après pp. 213-214).

Que montrent les graphiques 2 et 3 ? La série de températures hivernales commence par plusieurs décennies d'hivers froids. La dernière décennie du xvii<sup>e</sup> siècle descend jusqu'au niveau le plus bas (une moyenne de 0,3° sur dix ans) de toute la série. Cette décennie « glaciaire » est immédiatement suivie d'une des décennies les plus chaudes, qui inaugure une période d'hivers exceptionnellement doux. La transition de cette période clémente à un nouveau cycle froid est progressive, mais les vingt dernières années du xviii<sup>e</sup> siècle sont marquées en Hollande par une période tout aussi froide que le xvii<sup>e</sup> siècle. Dans

la première moitié du  $xix^e$  siècle, une autre transition prélude à une seconde période, plus longue, d'hivers doux, interrompue, dans les années 1880, par une brève série d'hivers froids : un même intermède se produit dans les années 1930 ; mais semble inaugurer cette fois une troisième période froide. On connaît parfaitement les tendances longues de la température du siècle dernier, et il n'est pas besoin de s'y attarder. Il est à remarquer cependant, compte tenu de l'opinion selon laquelle le  $xx^e$  siècle fut exceptionnellement chaud, que les températures hivernales les plus chaudes de la dernière période d'hivers doux furent toujours inférieures à celles atteintes au cours du  $xviii^e$  siècle.

La tendance « chaude » du  $xx^e$  siècle apparaît mieux à travers la série des températures estivales. Excepté les températures moyennes élevées des années 1940 et 1960, comparables aux étés des années 1870 et, peut-être à ceux du milieu du  $xvii^e$  siècle, les tendances estivales ne sont pas aussi nettes que celles qui ressortent des séries hivernales. Ce qui ne veut pas dire qu'aucune tendance ne soit décelable. Les températures baissent au cours du  $xvii^e$  siècle, s'élèvent, mais capricieusement, au milieu du  $xviii^e$ , et, après un soubresaut consécutif au « plongeon » des années 1790, elles déclinent, mais sans excès, de 1830 environ jusqu'aux alentours de 1920. Ce n'est qu'alors que commence la sensible « amélioration » du  $xx^e$  siècle. Ces tendances — les plus basses températures des années 1790 mises à part — sont à peu près inverses de celles obtenues à partir des températures hivernales.

### *La théorie*

Comment expliquer cette alternance d'étés et d'hivers plus ou moins chauds, plus ou moins froids, que révèlent nos deux séries de températures hollandaises ? Labrijn, qui a rassemblé les données météorologiques que nous utilisons ici, parle, à propos des 205 années envisagées, de l'intensité, du « caractère maritime » du climat. Il veut indiquer par-là qu'il fut tour à tour caractérisé, si l'on considère de longues périodes, par l'influence modératrice de la mer ou par les conditions climatiques plus extrêmes du continent eurasiatique. Lors des périodes « maritimes », les températures sont relativement douces en hiver, les étés sont modérés et la pluie est abondante. Dans les périodes « continentales », les températures hivernales sont relativement froides, les étés sont chauds et la pluie tombe plus parcimonieusement <sup>14</sup>.

On a, par la suite, utilisé cette opposition dans un contexte plus large. H. H. Lamb a tenté d'expliquer le phénomène décrit par Labrijn et d'autres chercheurs par des variations dans la circulation des couches supérieures de l'atmosphère <sup>15</sup>. Le passage du « Petit âge glaciaire », qui s'achève vers le milieu du  $xix^e$  siècle, à la période plus chaude qui suivit, fut concomitant, selon Lamb, d'une baisse de la pression atmosphérique sur l'Atlantique nord qui se prolongea de la fin du  $xviii^e$  au début du  $xx^e$  siècle. En conséquence, l'intensification de la « circulation zonale » — caractérisée par la fréquence des courants d'air occidentaux sur l'Atlantique nord — accrut l'influence océanique, particulièrement en hiver.

Ces périodes dominées par la circulation zonale, et par l'influence maritime sur l'Europe du Nord-Ouest, alternent avec des époques de « circulation frontale », circulation zonale moins intense. Les systèmes climatiques de l'Europe du Nord-Ouest ont alors tendance à se stabiliser, et les anticyclones, plus nom-

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

breux, freinent le déplacement des masses d'air vers l'est. D'où des influences océaniques moins prononcées et des hivers froids et secs.

Derek Winstanley a étendu l'analyse de ces modèles alternatifs de l'Europe du Nord-Ouest à l'ensemble de l'hémisphère oriental<sup>16</sup>. L'élément-clé de son analyse est le caractère des courants d'ouest circumpolaires, ou jet-stream (cf. figure I). Avec une forte circulation zonale, les ondes des courants d'ouest circumpolaires sont longues, mais restreintes à un petit nombre de latitudes. Une tendance chaude se manifeste, et la pluie tombe en abondance sur la mer du Nord. Il pleut assez peu par contre sur la Méditerranée et le Moyen-Orient. Cette circulation zonale s'accompagne, par ailleurs, d'une forte circulation méridionale sous les tropiques. Ces masses d'air se déplacent très loin sur des contrées telles que le Sahel, le cap Horn et l'Inde septentrionale, apportant avec elles les pluies de mousson.

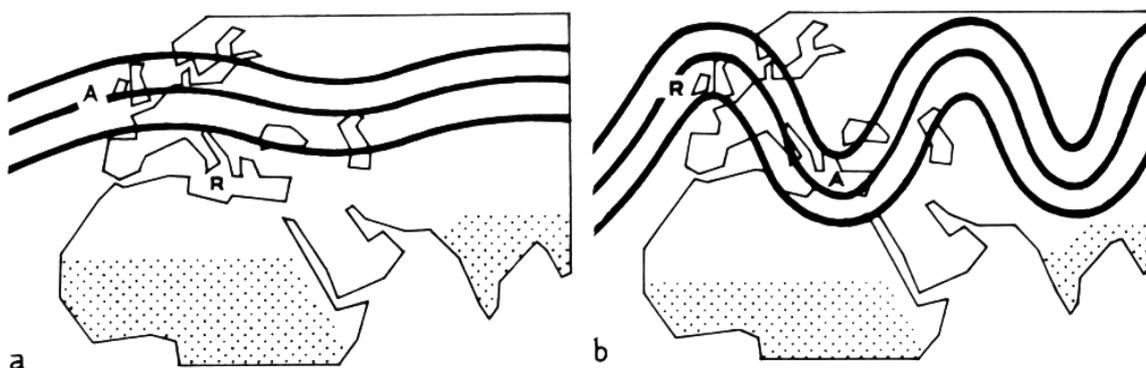


FIG. I. — Représentation graphique des types de circulation extrême et des modes de pluviométrie qui leur sont associés dans l'hémisphère Nord. a) Forte circulation zonale = pluie abondante sur l'Angleterre, pluies de mousson qui s'étendent largement sur le nord de l'Afrique et de l'Inde. b) Faible circulation zonale, pluie rare sur l'Angleterre, les pluies de moussons sont arrêtées au nord. (D'après Derek Winstanley, « Rainfall patterns and general atmospheric circulation », *Nature*, 245, 28 septembre 1973, p. 193.)

Quand la circulation zonale est faible (cf. figure Ib), les ondes des courants d'ouest circumpolaires sont contenues, en sorte qu'elles doivent se déplacer latéralement vers le nord et le sud. D'où des ondes qui serpentent sur un éventail plus large de latitudes. Une tendance froide se développe et la pluie est moins abondante sur la mer du Nord, à l'inverse de la Méditerranée et du Moyen-Orient. Finalement, cette faible circulation zonale oblige la circulation méridionale des tropiques à se diriger vers le sud, ce qui a pour effet de réduire l'incidence des pluies de mousson sur le Sahel, le cap Horn et l'Inde septentrionale.

C'est dans ce contexte d'un modèle large, à l'échelle du monde, de la circulation atmosphérique — et dans les conséquences qu'il implique — que les climatologues espèrent comprendre, et prévoir, le phénomène de la sécheresse en Afrique et en Inde. Un modèle d'une telle envergure pourrait aussi influencer les études historiques : des phénomènes restés jusqu'à présent isolés et obscurs, phénomènes naturels autant que politiques et économiques, trouveraient ainsi à s'insérer dans des ensembles larges et cohérents. Réciproquement, l'étude historique de ces modèles alternatifs pourrait réduire l'incertitude qui pèse actuel-

lement sur la durée probable des périodes zonales fortes et faibles, et aider au repérage des retournements de tendance.

### ***Les cycles longs dans le climat de l'Europe du Nord-Ouest***

Labrijn, Lamb et Winstanley ont élaboré, chacun de leur côté et successivement, des modèles climatologiques de plus en plus complexes ; tous néanmoins s'accordent globalement sur l'affirmation selon laquelle l'Europe du Nord-Ouest fut alternativement sous le coup d'influences maritimes et continentales<sup>17</sup>. Influences océaniques : elles modèrent les températures estivales et hivernales. Influences continentales : l'écart des températures se creuse alors de façon substantielle. Autrement dit l'écart entre moyennes d'été et d'hiver croît (quand le climat est continental ou la circulation frontale), ou décroît (quand le climat est maritime et la circulation zonale) alternativement.

L'existence de ce type de tendances de températures peut aisément être prouvée grâce à l'analyse par régression. Le coefficient de corrélation de la série de températures hivernales moyennes et des deux séries de vendanges d'Angot et de Le Roy Ladurie — si l'on ramène toutes les données à des moyennes mobiles de 31 ans — est de 0,81 pour la période 1634-1839 et de 0,68 pour les années 1634-1691 (étant donné la relation inverse entre température estivale et dates de vendanges, ces résultats démontrent la corrélation inverse des tendances de températures hivernales et estivales). Les données rapportées à des moyennes mobiles portant sur de longues périodes laissent évidemment apparaître de forts coefficients de corrélation. Mais le point capital est ici le *sens* (la direction) de la relation<sup>18</sup>. On obtient des résultats identiques en utilisant des moyennes mobiles de 15 et 9 ans. Il faut se souvenir que la plupart des fluctuations qui sont à l'origine de ces changements proviennent des mouvements de la température hivernale. La température estivale est beaucoup plus stable ; ses tendances (jusqu'à ce siècle en tout cas) s'inscrivent sur une gamme restreinte de températures.

Il suffit de se pencher sur les graphiques 2 et 3 pour constater qu'il existe un modèle qui répond *grosso modo* à la théorie de l'alternance de types climatiques maritime et continental. Pour établir une périodicité sûre de ces cycles longs, j'ai eu recours au test de la « différence de moyennes ». J'ai calculé l'amplitude (température estivale moyenne moins température hivernale moyenne) pour chaque année entre 1634 et 1839<sup>19</sup>. Il apparaît après examen que la transition entre une période d'étés chauds et d'hivers froids (climat continental) et une autre d'étés froids et d'hivers doux (climat maritime) se situe à peu près entre les années 1680 et 1700. La transition inverse intervient entre 1755 et 1785. En recourant à des intervalles de deux ans dans ces deux périodes de transition, j'ai pu repérer toutes les combinaisons de sous-périodes possibles entre 1634 et 1839. L'amplitude de température moyenne a ensuite été calculée pour chaque sous-période. L'ultime étape a consisté à identifier la combinaison de sous-périodes pour laquelle la différence totale entre les amplitudes moyennes était maximale. En réalité, pour chaque combinaison de sous-périodes, j'ai retranché de l'amplitude moyenne de la sous-période I l'amplitude de la sous-période II ; j'ai ajouté au résultat obtenu la différence entre l'amplitude de la sous-période III et l'amplitude de la sous-période II. La combinaison des années pour

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

lesquelles ce résultat global est maximal correspond aux données employées pour la périodicité des cycles climatiques. Ce test des « différences de moyennes » permet de conclure sans risque d'erreur que les années 1634-1698, 1699-1757 et 1758-1839 correspondent à des périodes du climat tour à tour continental, puis maritime, puis continental à nouveau <sup>20</sup>.

TABLEAU II

### A. Températures moyennes et écarts-type

Modèle A : Climat continental, circulation frontale

Modèle B : Climat maritime, circulation zonale

Modèle	Années	Températ. estivales moyennes		Températ. hivernales moyennes	
		moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
A	1634-1698	15,91 <sup>1</sup>	-- <sup>2</sup>	1,43 <sup>3</sup>	1,99 <sup>3</sup>
B	1699-1757	15,61	0,72	2,50	1,55
A	1758-1839	16,14	0,94	1,61	1,93
B	1840-1939	16,17	0,88	2,32	1,56
A	1940-1970	17,04	1,25	1,91	1,98

### B. Chiffres cités par Angot

Dates moyennes des vendanges et écarts-type

Modèles A et B : mêmes que ci-dessus

		moyenne <sup>4</sup>	écart-type
A	1634-1698	41,7	11,9
B	1699-1757	56,4	8,8
A	1758-1839	46,2	9,9

1. Les chiffres des températures estivales utilisées pour cette période et pour la moitié de la période suivante, sont des estimations faites à partir des chiffres cités par Angot sur les vendanges. Ils ne sont pas exacts, mais il faut se reporter au tableau II B ci-dessus, qui confirme la possibilité de les utiliser pour établir des variations de températures à long terme.

2. Les écarts-type des chiffres de températures estivales (1634-1738) n'ont pas été calculés, en raison de leur inexactitude qui tient au fait qu'ils se limitent à une gamme trop restreinte de températures. Consulter le tableau II B pour avoir confirmation du modèle d'écart-type entre les périodes A et B.

3. La température moyenne et l'écart-type sont légèrement sous-estimés en raison de l'équation régressive qui a tendance à abaisser les températures hivernales dans les années les plus chaudes. Cette tendance affecte, à un moindre degré, la période suivante jusqu'à 1734.

4. Noter que la méthode qui permet de fixer les dates des vendanges fait apparaître que ces dates varient en fonction inverse de la température moyenne estivale.

Quel est l'écart entre température estivale moyenne et température hivernale moyenne, entre chacune de ces périodes ? La réponse apparaît sur le tableau II, qui rassemble non seulement les données correspondant aux trois périodes dont on vient de parler, mais aussi celles qui intéressent les périodes postérieures à 1839 <sup>21</sup>. Les moyennes hivernales peuvent varier d'un degré en plus par rapport à l'autre ; l'écart est moindre pour les moyennes d'été. Aucune période, jusqu'en 1940 n'a varié par rapport à une autre de plus d'un demi-degré. Les périodes estivales et les périodes hivernales présentent une température moyenne qui ne diffère de manière significative que de 1 %. Si on fait appel aux tests Z, l'hypothèse zéro suivant laquelle la température hivernale moyenne n'est pas plus élevée en 1699-1757 qu'en 1758-1839 est exclue. On a vérifié, au contraire, l'hypothèse zéro d'une température hivernale moyenne, ni plus grande ni plus petite en 1758-1839 qu'en 1634-1698. Des tests analogues effectués sur les températures estivales donnent des résultats identiques.

Les écarts-types, qui se retrouvent dans le tableau II, devraient confirmer l'existence des cycles climatiques supposés. Les périodes de climat maritime, au cours desquelles les températures sont modérées par l'influence océanique, devraient se caractériser par une température relativement stable ; dans les périodes de climat continental, cette influence modératrice étant moins accentuée, les sautes devraient être plus fréquentes. Et non seulement les températures hivernales et estivales moyennes occuperaient des positions extrêmes, mais les variations annuelles au sein d'une telle période devraient être plus prononcées. Le calcul des écarts-types confirme bien cette hypothèse : les moyennes de températures sont bien différentes, ainsi que les fluctuations des températures par rapport à leur moyenne annuelle.

La figure II fait apparaître de façon globale les différences de « comportement » des températures hivernales à l'intérieur de chaque type de climat. Il est à noter que les hivers très doux ne sont pas beaucoup plus fréquents dans les périodes de climat maritime, et ce en dépit d'une température moyenne plus chaude d'environ un degré. Par ailleurs, du fait d'une température hivernale moyenne plus élevée et qui connaît des variations limitées, les périodes de gel y sont excessivement rares. Cette gamme restreinte de températures hivernales possibles lors des périodes maritimes peut peser davantage sur l'histoire écono-

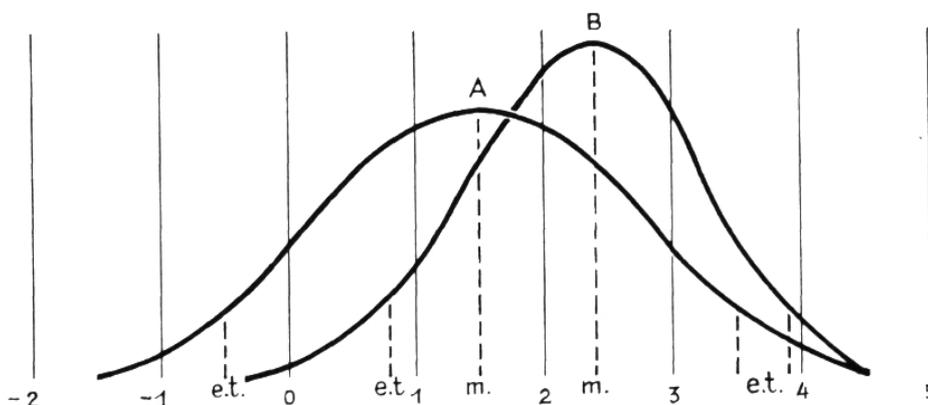


FIG. II. — Répartition générale des températures hivernales moyennes dans les périodes A : continentales, zonales faibles et B : maritimes, zonales fortes (m : moyenne — e.t. : écart-type par rapport à la moyenne).

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

mique et l'environnement que le niveau absolu de la température moyenne. Je reviendrai sur ce point dans la dernière partie de cet article.

La partie B du tableau II présente les moyennes et les écarts-types de la série de dates de vendanges d'A. Angot. Les différences marquées entre les périodes correspondent exactement aux températures de la partie A et confirment l'hypothèse des types de climats alternatifs. Même si l'on admet avec Le Roy Ladurie que les contraintes du marché pouvaient faire différer la date de la vendange (jusqu'à dix jours) au xvii<sup>e</sup> et au début du xviii<sup>e</sup> siècle, les différences subsistantes suffisent à corroborer le modèle de variations thermiques dégagé auparavant. Et ceci me conforte dans l'opinion déjà exposée : quoi qu'en pense Le Roy Ladurie, les dates de vendanges peuvent servir à l'étude des changements à long terme de température, en dépit de leur inaptitude à rendre compte des variations de température d'une année sur l'autre.

Cet exercice de périodisation a permis de mettre en évidence cinq périodes qui varient entre 59 et 100 ans, où l'on retrouve des types de température correspondant aux cycles alternatifs (climat continental-circulation frontale, et climat maritime-circulation zonale) qui caractérisent l'Europe du Nord-Ouest :

	<i>Continental-frontal</i>	<i>Maritime-zonal</i>
avant	1634-1698	1699-1757
	1758-1839	1840-1939
	1940 à aujourd'hui	

Il est à remarquer que 1634 n'est pas l'année précise du début de la première période continentale ; simplement, on ne dispose pas de données pour les années précédentes. Par ailleurs, étant donné que la période actuelle est en gros la date de départ retenue (1940) elle est sujette à révision. Et la tendance générale chaude qui caractérise les températures estivales pose un problème supplémentaire pour l'identification de l'actuel type de climat.

Les travaux des climatologues doivent nous aider dans l'étude des changements climatiques récents. L'abondance des données climatologiques doit permettre l'emploi de modèles beaucoup plus élaborés que ceux utilisés ici. Inversement, la recherche historique peut ouvrir de larges perspectives dans l'évaluation des données contemporaines. L'époque est révolue des « climatologues » qui, se fondant sur une série d'observations de 30 ans, retrouvaient partout des caractéristiques climatiques « normales <sup>22</sup> ». Car si la période type 1900-1930 peut permettre de déterminer ce qui est normal, elle peut aussi, sous maints aspects, être considérée comme anormale. Ne pouvant négliger les tendances à long terme, la recherche historique ne peut éluder certaines questions fondamentales : quelles variations climatiques méritent d'être retenues ? à quel rythme ces variations doivent-elles intervenir ? quelle est la durée des cycles climatiques ?

Je me suis aperçu, au cours de ma recherche sur les variations de la température hollandaise — dont les résultats valent probablement pour toute l'Europe du Nord-Ouest —, que les moyennes thermiques hivernales fluctuaient d'environ un degré quand les moyennes estivales n'oscillaient qu'autour d'un demi-degré, ceci avant la période actuelle (postérieure à 1940). Affirmer que ces variations sont significatives ne va pas de soi. On en dira quelques mots par la suite, mais il faut se rappeler que les changements de la circulation de l'air à l'origine de ces variations dans l'Europe du Nord-Ouest ont d'autres conséquen-

ces, sans doute plus significatives, sur la température, la pluie et les variations saisonnières de ces variables dans d'autres parties du monde.

L'espace de temps qui sépare un type de climat d'un autre peut être très bref. La transition du climat continental du xvii<sup>e</sup> siècle au climat maritime des années 1699-1757 se fit très brutalement en l'espace d'une seule décennie. Mais d'un autre côté, les autres transitions — celles qui encadrent la période de climat continental 1757-1839 — ont été progressives, sur plusieurs dizaines d'années. La durée des types de climat varie, si l'on s'en tient à nos techniques de périodisation, entre 59 et 100 ans. Cet éventail n'est en aucune façon définitif, puisqu'il ne repose que sur trois périodes complètes. Cette périodisation admet une autre critique : n'existe-t-il pas des cycles plus longs, susceptibles d'inclure les variations que nous avons dégagées, et d'un bien plus grand intérêt pour l'histoire du climat ? Notre série d'observations annuelles, quoique couvrant 340 années, est évidemment impuissante à rendre compte de cycles s'étendant sur plusieurs siècles. Elle peut néanmoins jeter quelque lumière sur le bien-fondé des arguments invoqués pour confirmer l'existence du phénomène climatique le plus connu et qui couvre des époques de variations climatiques pluri-séculaires : le « Petit âge glaciaire ».

### ***Le Petit âge glaciaire : mythe ou réalité ?***

Aucun « événement » de l'histoire climatique des époques historiques n'a autant retenu l'attention que la période pluri-séculaire de températures relativement froides que l'on a baptisée « Petit âge glaciaire ». Les climatologues (parmi lesquels C. E. P. Brooks, F. E. Matthes, H. Kinzl, F. Mayr et H. H. Lamb) aussi bien que les historiens (tels Gustav Utterström et E. Le Roy Ladurie) ont consacré des efforts considérables pour cerner et expliquer le Petit âge glaciaire, entre autres cycles climatiques pluri-séculaires d'ailleurs<sup>23</sup>. Ce qui explique pourquoi il n'est pas facile de découvrir ce qui se cache sous l'expression « Petit âge glaciaire ». On ne sait pas très bien s'il s'agit d'une période de température moyenne annuelle particulièrement froide, ou si les seules températures hivernales sont concernées ; on ne sait pas davantage quand le « phénomène » commence et quand il se termine. Selon Lamb, le Petit âge glaciaire commence aux environs de 1430 ou 1450, mais il parle ailleurs du xvi<sup>e</sup> siècle. Quant à la fin de l'événement, elle se situe entre 1700 et... 1850. On doit à Le Roy Ladurie une critique de la « littérature » parue sur le sujet. Se fondant sur l'étude des glaciers et des dates de vendanges en France, celui-ci estime que le Petit âge glaciaire a commencé en 1540-1550 et s'est achevé en 1840-1850. Ces dates reposant sur des bases scientifiques plus sûres que les autres dates avancées, nous admettrons avec Le Roy Ladurie que le Petit âge glaciaire s'est étendu sur trois siècles au cours desquels les températures hivernales moyennes furent, de manière significative, plus basses qu'au cours de l'amélioration pluri-séculaire du Moyen Age et de la période pluri-séculaire postérieure qui se prolonge jusqu'à nos jours<sup>24</sup>.

Selon quels critères reconnaît-on le Petit âge glaciaire (et les cycles pluri-séculaires qui l'encadrent) ? On est étonné de leur ambiguïté, de la difficulté à les faire entrer dans des explications non climatiques. Les « signes multiples » de Lamb, par exemple, reposent essentiellement sur des observations telles que, l'arrêt de la culture céréalière dans l'Islande médiévale, la disparition des forêts

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

le long de la côte du nord-ouest de l'Écosse au XVIII<sup>e</sup> siècle, et la préférence marquée des Anglais à bâtir leurs maisons dans des lieux abrités au-delà d'une date non spécifiée. La faiblesse de ce type de preuves a déjà été suffisamment démontrée et il paraît superflu d'y revenir ici.

Autre type de preuve : on peut démontrer de manière convaincante que les températures hivernales postérieures à 1850 ont été sensiblement plus douces que celles des décennies précédentes. Ce qui évidemment concorde avec notre exposé préalable mais ne prouve en rien qu'une période d'hivers froids longue de trois siècles a précédé le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle.

On doit à Le Roy Ladurie le meilleur repérage du début du Petit âge glaciaire ainsi que la démonstration la plus concluante quant à l'unité de cette période longue de trois siècles. Il a pour cela utilisé des estimations de la taille des glaciers ainsi que les tendances climatiques tirées des dates de vendanges. Le témoignage de l'avance et du recul des glaciers est fondamental : vers la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, les preuves s'accumulent d'une importante avance glaciaire en cours ; plusieurs périodes de maxima glaciaires peuvent être identifiées aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, mais aucun changement important n'intervient avant les années postérieures à 1850, marquées par le début d'un retrait glaciaire de longue durée. De ces éléments d'information, soigneusement recueillis et analysés, Le Roy Ladurie conclut que « la période 1590-1850 connaît... ses propres fluctuations internes... mais ces oscillations sont secondaires par rapport au fait primaire : la continuité longue de la crue 'moderne' (1590-1850), contrastant avec la moindre crue 'médiévale' et avec la décrue 'contemporaine' (après 1850) <sup>25</sup> ». Le Roy Ladurie pense en trouver une confirmation dans le fait que « on ne note, entre 1590 et 1850, aucun épisode de déglaciation séculaire qui soit comparable en ampleur » ... à la tendance séculaire au réchauffement postérieure à 1850. Aussi « une telle absence postule logiquement l'absence simultanée » ... d'une tendance séculaire au refroidissement. Par conséquent « il n'y aurait donc eu, entre 1590 et 1850, aucune période de réchauffement marqué, qui soit du moins comparable à la nôtre, en ampleur et en durée <sup>26</sup> ». Une telle assertion, note Le Roy Ladurie, paraît logiquement inattaquable, encore qu'on puisse lui opposer un certain nombre de faits.

Il est d'abord à remarquer que les affirmations de Le Roy Ladurie relatives aux tendances des températures reposent sur l'étude des glaciers. Or, de par leur nature même, la taille des glaciers est fonction de la température moyenne, *mais aussi* des précipitations, et par ailleurs, ces variables (températures et précipitations) n'influent pas sur les glaciers de façon immédiate (un glacier est comparable à un stock dans un problème de flux). Aussi l'existence d'une période de réchauffement marqué qui soit comparable à la nôtre (quoique légèrement plus brève) pourrait très bien ne pas être enregistrée par un grand mouvement glaciaire. Une autre caractéristique des glaciers vient conforter cette hypothèse : leurs maxima coïncident souvent avec des périodes d'étés frais. Le Roy Ladurie affirme que les tendances de températures hivernales et estivales concordent, arguant de la correspondance de ces tendances au XX<sup>e</sup> siècle <sup>27</sup>. Malheureusement, notre analyse des températures hivernales et estivales au cours de la période 1634-1839 aboutit à la relation inverse : les étés frais sont associés à des hivers doux. Ainsi que Le Roy Ladurie lui-même le reconnaît, il est peu probable que les variations de la température hivernale soient responsables au premier chef des transformations de la taille des glaciers puisque les hivers,

fussent-ils les plus doux, peuvent comporter dans les régions glaciaires des températures très en dessous de zéro. Les variables essentielles sont très probablement d'une part la faible ablation provoquée par des étés frais, et d'autre part les précipitations hivernales, qui atteignent leur maximum dans les périodes de climat maritime. Ceci ressort de l'exemple des années 1740-1757 : un maximum glaciaire prononcé répond à la culmination d'une période hivernale douce, de climat maritime. En résumé, les périodes d'avancée et de recul glaciaires ne correspondent pas nécessairement à des périodes de hautes et basses températures hivernales.

La théorie d'un Petit âge glaciaire et de cycles climatiques pluri-séculaires pourrait continuer d'être soutenue, mais à deux conditions : que le réchauffement du xx<sup>e</sup> siècle se poursuive, afin que les températures hivernales et estivales moyennes soient nettement supérieures à celles des périodes analysées dans cet article ; qu'il puisse être démontré que les températures hivernales moyennes antérieures à 1550 ont été supérieures de plus d'un degré à la moyenne des périodes de climat continental du xvii<sup>e</sup> siècle et de la fin du xviii<sup>e</sup> siècle. La chaleur de ce siècle n'est cependant pas sans précédent dans les 340 dernières années. Nous serons mieux à même, dans 30 ou 40 ans, de déterminer si la première condition a été réalisée. Afin de montrer que les hivers furent plus doux avant 1550 qu'au cours du xvii<sup>e</sup> siècle, Le Roy Ladurie produit, en plus des dates de vendanges, toute une série de témoignages contemporains faisant état de la rigueur des hivers. Partant du postulat de la corrélation entre les tendances des températures hivernales et estivales, il n'est pas en peine de démontrer, à partir des dernières dates de vendanges de la seconde moitié du xvi<sup>e</sup> siècle, la fraîcheur correspondante des hivers. Nous avons déjà exposé nos objections à une telle approche. Le Roy Ladurie en arrive finalement à dater le début du Petit âge glaciaire, concluant que les températures des hivers antérieurs à 1550 n'excédèrent probablement pas d'un degré centigrade celles des hivers du xvii<sup>e</sup> siècle <sup>28</sup>.

A moins de parvenir à démontrer que les hivers antérieurs à 1550 furent non seulement plus chauds que ceux du xvii<sup>e</sup> siècle, mais qu'ils eurent de surcroît des températures supérieures de bien plus de 1 degré à celles du xvii<sup>e</sup> siècle, les oscillations à l'intérieur de la période 1550-1850 continueront d'apparaître comme n'ayant rien de secondaire. En l'absence d'une telle démonstration, il ressort de cette étude que le Petit âge glaciaire est en fait une combinaison de deux époques similaires d'hivers froids, séparées par un xviii<sup>e</sup> siècle d'hivers doux comparables à ceux de la période douce qui vient de s'achever.

Si l'on veut malgré tout continuer de réunir sous un même vocable nos deux périodes froides, l'expression « Petit âge glaciaire » doit être utilisée à titre descriptif et non pour délimiter une période climatique.

### ***Le climat hivernal et l'économie préindustrielle***

Plus personne aujourd'hui n'oserait nier l'importance des variations climatiques pour les sociétés humaines. L'absence récente de pluies de mousson sur l'Afrique sub-saharienne, aggravée par la politique économique poursuivie par les puissances coloniales dans un cycle climatique de pluies relativement abon-

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

dantes, menace d'extinction un nomadisme vieux de plusieurs siècles et a provoqué la chute de plusieurs gouvernements. Depuis une époque récente, une grande partie de la population mondiale en est arrivée à dépendre, pour son bien-être, des fluctuations climatiques des plaines de l'Amérique du Nord, seule région du monde dont les exportations de blé soient régulières. La moindre fluctuation de la température hivernale moyenne est maintenant capable de provoquer des changements dangereux dans la position de la balance des paiements des pays importateurs de pétrole. Et il est vraisemblable que les habitants des époques préindustrielles subissaient tout autant que nous les fluctuations annuelles ainsi que les cycles climatiques plus longs. (Cette proposition aurait été lue différemment il y a seulement quelques années.)

Notre série hollandaise de températures hivernales moyennes peut-elle nous aider à mieux cerner les influences du climat sur l'histoire humaine ? Afin de répondre à cette question, partiellement s'entend, je me propose de déterminer, en recourant à l'analyse par régression, l'influence de la température hivernale moyenne de la Hollande des années 1634-1839 sur plusieurs variables économiques pour lesquelles on dispose de séries à long terme (tableau III). Ces variables sont le prix du seigle à Utrecht, le prix du beurre à Leyde, le montant des cargaisons de céréales à travers le Sund (pour l'ensemble des navires ainsi que pour les seules cargaisons hollandaises) et le nombre d'inhumations dans les villes de Rotterdam et Edam <sup>29</sup>.

On devrait, dans l'idéal, mesurer l'influence des températures d'hiver sur ces variables indépendantes au moyen de modèles qui tiennent compte simultanément des autres variables significatives dépendantes. Le prix du grain par exemple est autant fonction du prix des années antérieures et du revenu de la population que des variables climatiques qui font les bonnes ou les mauvaises récoltes. Un tel modèle devrait aussi inclure les caractéristiques du marché des grains — s'il existe des marchés à terme et des capacités d'emmagasinage importantes. Malheureusement, on ne dispose jamais des données susceptibles d'éclairer une ou plusieurs de ces variables capitales. Aussi je limiterai mon analyse à celle de simples régressions de la température et des variables économiques.

Les fluctuations annuelles retiennent plus l'attention que les tendances à long terme de ces variables <sup>30</sup>. En conséquence, les données doivent être transformées afin d'éliminer l'influence des tendances (ainsi l'influence de l'inflation sur les prix ou celle des variations de la population d'une ville sur le nombre d'enterrements) sur les variables longues. J'ai adopté le procédé d'élimination le plus simple : la transformation des données en différences premières (la différence première d'une variable pour une année  $t$  correspond à la différence entre sa valeur pour l'année  $t$  et sa valeur de l'année précédente). En calculant les coefficients de corrélation pour les données ainsi transformées, on peut se rendre compte de l'importance de la relation entre les changements annuels de la température hivernale et, pour prendre un exemple, les variations du prix du seigle. Le prix du seigle augmente-t-il dans les mêmes proportions que la température hivernale,  $r$  sera proche ; un changement donné de la température hivernale est-il au contraire sans conséquence sur un mouvement désordonné des prix,  $r$  sera alors proche de 0.

Les résultats du tableau III ne sont guère encourageants. Les coefficients sont tous très proches de 0, sauf deux, intéressant les cargaisons de grains en

provenance de la Baltique et les prix du seigle, qui sont significatifs à 5 % près<sup>31</sup>. On n'a évidemment aucune raison d'attendre des coefficients de corrélation élevés. On a déjà noté l'influence indéniable d'un grand nombre de facteurs, d'autres variables climatiques même, sur nos variables dépendantes. Néanmoins, les faibles corrélations et les résultats peu encourageants des statistiques *t* (ce qui est surprenant, étant donné le grand nombre d'observations — plus de 200) laissent supposer l'inexistence de relations intéressantes.

TABLEAU III

*Analyse des corrélations entre température hivernale et quelques variables économiques choisies*

X = différence initiale de la température moyenne hivernale

Y = différence initiale :

	Données statist.		Significatif à 5 % près
	<i>r</i>	<i>t</i>	
	—	—	—
Inhumations à Rotterdam, 1646-1819	-,09	-1,14	
Inhumations à Edam, 1651-1784	,05	0,56	
Cargaisons de céréales aux Pays-Bas, 1636-1760	-,15	-1,63	
Total des cargaisons de céréales, 1636-1760	-,19	-2,05	*
Prix du beurre à Leiden, 1635-1839	-,03	-0,34	
Prix du seigle à Utrecht, 1635-1839	-,14	-1,99	*

Nous n'en persistons pas moins à vouloir prouver ici l'existence d'une relation linéaire entre la température hivernale et les récoltes de céréales (lesquelles sont mesurables indirectement à travers les cargaisons et les prix). Le sens commun ou les observations des agronomes n'étayent en rien notre conviction. Il est possible, d'abord, que les fluctuations de la température hivernale qui ne s'éloignent que très peu de la moyenne soient sans conséquence pour la production de céréales ou de l'une ou l'autre de nos variables. Il est aussi vraisemblable qu'il n'y ait que les écarts extrêmes à affecter les variables. On peut enfin penser que les changements de température de ces zones extrêmes peuvent influencer les variables, mais dans une direction différente. On sait par exemple que la culture des céréales dans les régions où le gel est fréquent n'est pas affectée par des hivers froids, hormis les cas extrêmes, quand le gel pénètre profondément dans le sol. A l'inverse, les hivers très doux peuvent être défavorables, aucune couche de terre gelée ne protégeant plus les récoltes lors des quelques jours de gel rigoureux.

Pour mesurer l'influence des températures hivernales extrêmes sur les variables économiques, il est nécessaire, dans un premier temps, de définir quelles sont les températures « extrêmes ». Une répartition par fréquences des données montre que celles-ci sont normalement distribuées ; les valeurs extrêmes se définissent comme celles qui sont supérieures à l'écart-type par

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

rapport à la moyenne. Selon ce critère, la période 1634-1839 possède 73 années de températures « extrêmes » : 35 de températures inférieures à 0,1 degré ; 38 supérieures à + 3,7 degrés. L'influence du trend sur les données économiques a été éliminée par la soustraction de chaque donnée de la moyenne mobile, de 15 ans centrés sur l'année considérée.

Des analyses par régression séparées ont été pratiquées sur les années de haute et basse températures. Les résultats sont intéressants, mais ils ne sont pas significatifs. On a cherché à associer les températures les plus élevées de ces groupes de haute et basse températures avec la tendance du prix du seigle à s'élever. Ainsi, la pente des équations de régression était inverse à l'équation de régression de l'ensemble des données. Aucun des coefficients n'est significatif à 5 % près.

Mais peut-être empruntons-nous une mauvaise voie. Peut-être les températures hivernales plus ou moins basses ont-elles une influence faible — sinon nulle — sur la plupart de ces variables économiques ? Il est plus important de savoir si le gel persiste jusqu'au printemps retardant ainsi les plantations. Un météorologiste hollandais, J. P. M. Woudenberg, a déterminé le profil du climat idéal pour la croissance des céréales ; il y apparaît que l'absence de gelée printanière intervient pour beaucoup dans le succès de la récolte <sup>32</sup>.

Il est facile, grâce au tableau I, de repérer les années de la période 1658-1757 au cours desquelles le canal Haarlem-Leyde fut pris par les glaces au moins deux jours dans le courant du mois de mars. Ce fut le cas pour 20 des 100 années considérées. Deux groupes apparaissent : les 20 années de gel en mars, et les 80 autres. Plutôt que de nous demander si les jours de gelée influencent d'autant plus les variables économiques qu'ils sont nombreux en mars (ce qui aurait demandé une analyse par régression), nous avons préféré poser la question suivante : les variables économiques présentent-elles des valeurs moyennes très différentes selon qu'on considère un groupe d'années ou l'autre ? Ce qui revient à se demander : la différence est-elle significative au point de ne pouvoir être attribuée au seul hasard ? Une erreur type du test par différence répond à cette question.

Le tableau IV présente les résultats de ce test. Afin de rendre suffisamment différentes les deux moyennes (à 1 % près), Z, l'écart-type « normal », doit excéder le chiffre de 2,58. Seuls les prix du beurre semblent affectés par les gelées de mars, et réagissent nettement au test. La différence absolue entre les prix moyens du beurre (colonne 3) est de 2,56 florins par schippond (36,288 kg). L'erreur type de la statistique des différences permet d'établir un intervalle de confiance. Cet intervalle est de 2,56 florins + 2,06 florins (à 1 % près, l'erreur type étant X 2,58). Il y a donc 99 chances sur 100 pour que les prix « vrais » du beurre aient été (au cours des années où il a gelé en mars) supérieurs de 0,50 à 4,62 florins aux prix pratiqués les autres années. Dans tous les autres cas, les intervalles de confiance incluent la valeur moyenne des années qui n'ont pas connu de gelées en mars. Il est probable par conséquent que pour les autres variables, si une différence existe entre les moyennes, elle peut être tout bonnement le fruit du hasard.

La relation entre les prix du beurre et le gel des canaux en mars peut s'expliquer par le manque probable de fourrage de printemps au cours de ces années et par la diminution consécutive des troupeaux pendant l'été et l'automne suivants <sup>33</sup>. Il pouvait en résulter une baisse de la production des produits laitiers

TABLEAU IV

*Erreur-type du test par différence, les gelées de mars prises comme variables*

<i>Variable</i>	<i>Moyenne annuelle de gelées en mars</i>	<i>Moyenne des autres années (1-2)</i>	<i>Différence absolue (1-2)</i>	<i>Erreur-type de la différence</i>	<i>Écart-type normal</i>	<i>Significatif à 1 % près (2,58 et au-delà)</i>
Prix du beurre	22,96	20,40	2,56	,80	3,20	*
Cargaisons en bon état aux Pays-Bas	18 058,60	19 288,56	1 229,96	3 491,91	0,35	
Total des cargaisons en bon état	24 468,85	24 760,02	291,17	4 302,95	0,07	
Prix du seigle	5,79	5,49	,31	,50	0,62	
Morts à Rotterdam	1 811,50	1 811,21	,29	82,32	0,004	
Morts à Edam	131,20	132,55	1,35	11,39	0,118	

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

capable, compte tenu de l'élasticité de la demande en beurre, de faire monter les prix de près de 10 %. Pour la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, on dispose de données permettant de chiffrer la baisse de la production — de fromage dans le cas considéré — dans les années de gelée en mars. La série des jours de fermeture des canaux s'interrompant après 1757, j'ai eu recours à la série de températures de Labrijn. J'ai réparti les chiffres des quantités de fromage expédiées sur tous les marchés du nord de la Hollande au cours des années 1766-1804 en deux groupes : les années où la température est descendu en dessous de 3 degrés en mars, et toutes les autres <sup>34</sup>. L'erreur type du test de différence a précisé la différence entre les deux moyennes à 5 % près. Dans les 12 années de gelée en mars, il parvint une moyenne de 15,8 millions de livres de fromage sur les marchés. Il en arriva 17,2 millions de livres les 23 autres années. Il y a 95 chances sur 100 pour que la différence entre les deux moyennes ne soit pas le fruit du hasard. Les hivers prolongés eurent des conséquences démontrables sur l'industrie laitière hollandaise ; nous n'avons pas dit conséquences désastreuses : quand la production baissait d'environ 8 %, les prix s'élevaient d'environ 10 % <sup>35</sup>.

L'étude des gelées de printemps devrait ouvrir la voie aux historiens soucieux d'éclairer les conséquences des fluctuations climatiques sur la société. Amalgamer les chiffres des températures estivales et hivernales moyennes et ceux des précipitations annuelles ne fait guère avancer l'explication. Une fluctuation climatique est importante pour l'agriculture quand un phénomène climatique spécifique intervient dans une période critique de l'année agricole. L'importance du temps selon les saisons jointe au fait que les relations entre le temps et l'agriculture ne sont pas linéaires à travers l'ensemble des observations, nécessite le recours à un modèle très élaboré, plutôt qu'à de simples corrélations entre données éparses, si on veut parvenir à mesurer l'impact des fluctuations climatiques sur l'économie <sup>36</sup>.

En ce sens, le fait que l'éventail des températures estivales et hivernales se referme quand on passe d'une période de climat « continental-frontal » à une période de climat « maritime-zonal » peut être porteur de plus de sens que la différence réelle entre les températures moyennes : au niveau, non seulement de l'environnement naturel de certains types de végétation, mais aussi de la décision du fermier pesant le pour et le contre avant de pratiquer telle ou telle culture. Un tel ajustement, progressivement réalisé pendant une période de climat maritime, pourrait expliquer la sévérité extrême avec laquelle l'hiver de 1740 fut ressenti en Hollande. Les historiens lui ont attribué des conséquences déterminantes pour l'agriculture hollandaise. Pourtant, le siècle précédent connut au moins quatre hivers aussi froids ou aussi prolongés. Ce qui distingue l'hiver de 1740 est le fait qu'il soit survenu après une période de 31 ans caractérisée par l'extrême rareté des hivers même modérément rigoureux.



A quoi aboutissons-nous après tant d'acrobaties statistiques ? Notre série des températures hivernales moyennes en Hollande constitue, je le crois, un apport sérieux et significatif à l'histoire du climat européen. D'un autre côté, dans ma

tentative pour utiliser les dates de vendanges en France, j'ai identifié des carences qui font se poser la question de leur validité en tant qu'indicateurs des fluctuations annuelles de la température estivale moyenne. Subsistent par ailleurs les problèmes, importants, et déjà signalés, de leur utilisation pour l'analyse des tendances à long terme de la température estivale ; mais ces problèmes me semblent revêtir moins d'acuité en ce sens qu'il est possible d'y trouver des solutions compensatoires.

J'ai donc pu combiner ces dates de vendanges à mes données hivernales pour construire une série chronologique de 340 années qui m'a permis de dégager des périodes climatiques. Ces périodes remettent en question l'existence du Petit âge glaciaire ainsi que le modèle cyclique de variations de température qui lui est associé. J'ai pu, dans le même temps, repérer un modèle cyclique plus court, que j'ai tenté d'intégrer à un modèle simple de changement climatique.

Cette étude avait finalement l'ambition de déceler l'influence des fluctuations climatiques sur les sociétés préindustrielles. Au lecteur perplexe qui s'étonnerait de voir aborder le point de départ d'une recherche à la fin de cette étude, et presque à titre de post-scriptum, je répondrai que je n'ai fait que suivre le cours de ma pensée. Les tentatives trop directes pour mesurer les influences du climat sur les variables économiques sont généralement peu fructueuses, pour la simple raison que ces influences — si on veut bien admettre qu'elles existent — suivent des chemins dont le moins qu'on puisse dire est qu'ils ne sont pas sans détour. L'importance de la température d'une année donnée pour un certain nombre de variables économiques n'est sans doute rien, comparée à l'incidence saisonnière de variables (et de combinaisons de variables) climatiques spécifiques, ainsi qu'à celle des prévisions des contemporains quant aux contraintes climatiques de telle ou telle année. On n'a fait ici que commencer à montrer ce qui pouvait être fait à travers l'analyse de déterminations plus fines.

Pour l'essentiel, les influences du climat sur la société sont limitées ou hypothétiques, il est au moins possible de tirer une conclusion ferme et claire de notre série de températures hivernales moyennes : les peintures, si fréquentes au xvii<sup>e</sup> siècle hollandais, où sont figurées des scènes de patinage sur les rivières et les canaux gelés sont fidèles à la réalité. Aujourd'hui les occasions de patiner sont rares ; si bien que certains historiens de l'art se sont interrogés sur le réalisme de l'art hollandais au xvii<sup>e</sup> siècle. Cet article aura du moins permis de répondre à ce problème.

Jan de VRIES  
*Département d'Histoire*  
*Université de Californie*

#### NOTES

1. Si cet article présente quelque intérêt, je le dois pour l'essentiel à mon assistant de recherches David Lansky. Non content de mener à bien les études statistiques, il s'est attelé à la longue et lourde tâche de trouver, et mettre au point, une méthode susceptible de remplacer celles, peu rentables, utilisées jusque-là. Je remercie vivement aussi les membres de la *Climate Research Unit* du K.N.M.I. (Royal Dutch Meteorological Institute), dirigé par le professeur docteur F. H. Schmitt, le docteur C. S. A. Schuurmans a aidé le novice que je suis à se familiariser avec les études de météorologie. Les professeurs Nicholas Crafts et A. Roger Byrne, de l'Université de

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

Californie, ainsi que les participants au Colloque d'histoire économique de Berkeley-Stanford, m'ont assisté de leurs suggestions et m'ont fourni les références indispensables.

2. Gemeentearchief Haarlem, Oud Archief 1313-1323 (n° 1 078), Commissarissen der Leidsche Trekvaart, Rekeningen ; A. LABRIJN, « Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en een halve eeuw », *Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut, Mededeelingen en Verhandelingen*, n° 49, 1945.

3. Cette équation a aussi été appliquée aux quelques années postérieures à 1658 pour lesquelles ceux qui dressaient les états mensuels n'ont que les chiffres approximatifs des jours de gel sur les canaux.

4. Une seconde méthode a été tentée, qui consistait à considérer la variable dépendante, la température hivernale moyenne, comme une fonction de ( $X_1$ ), le nombre de jours de gel sur le canal, plus ( $X_2$ ), la période continue la plus longue de gelée. On espérait que la dernière variable indiquerait les chutes de températures au-dessous de zéro les plus spectaculaires, et préciserait le mouvement dégagé par la régression simple décrite ci-dessus. En fait, la différence entre les deux approches n'apporta rien de neuf : régression multiple :  $Y = 4.13 - .6\bar{x}_1 - .02x_2$   $r = .92$  ; régression simple :  $Y = 4.16 - .08x$   $r = .92$ . La régression simple pouvant être utilisée pour la période antérieure à 1658 pour laquelle on ne dispose que du nombre total des jours de gel sur le canal, on s'en est servi pour calculer la température hivernale moyenne des cent années précédant 1735.

5. A. ANGOT, « Étude sur les vendanges en France », *Annales du bureau central météorologique de France*, 1883 ; Marcel GARNIER, « Contributions de la phénologie à l'étude des variations climatiques », *La météorologie*, n° 40, 1955, pp. 291-300 ; E. LE ROY LADURIE, *Times of feast, times of famine*, Garden City, New York, 1971, publié d'abord sous le titre *Histoire du climat depuis l'an mil*.

6. LE ROY LADURIE, *op. cit.*, p. 60.

7. ANGOT, *op. cit.*, pp. B 71-B 74 et LE ROY LADURIE, *op. cit.*, pp. 368-370.

8. C'est évidemment la température qui détermine la date des vendanges, mais dans la mesure où on tente d'utiliser ces dates en tant qu'indicateur de la température hivernale, le repérage des variables dépendantes et indépendantes a été inversé.

9. M. E. RENOUE, « Études sur le climat de Paris (troisième partie, température) », *Annales du bureau central météorologique de France*, vol. I, 1887, pp. B 196-B 226. Les observations de Renou commencent plus tôt dans le XVIII<sup>e</sup> siècle mais elles ne sont pas considérées comme fiables. Garnier s'est d'ailleurs intéressé à l'étude des dates de vendanges en partie pour corriger ce qu'il y avait de par trop erroné chez Renou.

10. M. E. RENOUE, « Études sur le climat de Paris (2<sup>e</sup> partie : La pluie depuis 1688) », *Annales du bureau central météorologique de France*, 1887, p. 273.

11. LE ROY LADURIE, *op. cit.*, p. 64.

12. C'est évidemment l'erreur type de l'estimation qui permet de mesurer l'éventail.

13. Les dates de vendanges reportées sur le graphique 3 n'ont pas été transformées en estimations de température. Elles ont été au contraire reportées telles quelles une fois l'échelle verticale inversée et sa taille rapportée à l'amplitude des fluctuations de la température estivale après 1735.

14. LABRIJN, *op. cit.*, pp. 84-85.

15. H. H. LAMB, *The changing climate, selected papers*, Londres, 1966.

16. Derek WINSTANLEY, « Rainfall patterns and general atmospheric circulation », *Nature*, 245, 28 septembre 1973, pp. 190-194.

17. Pour une analyse plus fouillée en conformité avec cette généralisation, voir H. VON RUDLOFF, *Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa*, Braunschweig, 1967 et LE ROY LADURIE, *op. cit.*, pp. 296-305.

18. Les deux équations de régression sont :  $Y = -1.16 + .06X$  ( $r = .81$ ) pour 1634-1839 ( $Y$  = température hollandaise hivernale,  $X$  = série de vendanges d'Angot) et  $Y = 1.99 + .06X$  ( $r = .68$ ) pour 1634-1791 ( $Y$  = température hivernale hollandaise,  $X$  = série des vendanges du nord de la France). Toutes ces données sont exprimées en moyennes mobiles de 31 ans.

19. Dans ce but, les dates de vendanges ont été converties en estimations de la température estivale pour les années antérieures à 1735. On s'est servi des séries de vendanges du graphi-

que 3 ; les températures furent estimées à l'aide de l'équation de régression  $Y = 17.53 - .04X$  ( $r = .46$ ).

20. Les autres combinaisons d'années présentant une différence des valeurs moyennes proches de celles-ci correspondent aux années immédiatement antérieures et postérieures.

21. La méthode utilisée pour identifier les périodes antérieures à 1839 fut écartée pour les années postérieures.

22. Voir LAMB, *The changing climate et Climate : present, past and future*, Londres, 1972, vol. 1.

23. C. E. P. BROOKS, *Climate through the ages*, Londres, 1949 ; F. E. MATTHES, « Glaciers », dans O. E. MEINZER, ed., *Hydrology*, New York, 1942 ; H. KINZI, « Die grösten nacheiszeitlichen Gletschervorstösse in den schwezen Alpen und in der Mont-Blanc Gruppe », *Zeitschrift für Gletscherkunde*, 1932 ; F. MAYR, « Untersuchungen über Ausmass und Folgen der Klima und Gletscherschwankung seit dem Beginn der postglaziaten Wärmzeit. Ausgewälte Beispiele aus dem Stubaier Alpen im Tirol », *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1964.

24. Même si la relation inverse entre les tendances des températures estivales et hivernales n'exigeait pas que la définition du Petit âge glaciaire se référât à la température hivernale plutôt qu'annuelle, il ne serait pas sans intérêt de s'attacher à la température hivernale, dans la mesure où ses fluctuations dominant celles de la température estivale dans le calcul des moyennes annuelles.

25. LE ROY LADURIE, *op. cit.*, p. 225.

26. *Ibid.*, p. 227.

27. *Ibid.*, p. 237.

28. *Ibid.*, pp. 243-244.

29. Les prix sont tirés de N. W. POSTHUMUS, *Inquiry into the history of prices in the Netherlands*, v. 2, Leyde, 1964 ; les cargaisons de céréales sont de N. E. BANG et K. KORST, *Tabeller over skibsfart og varetransport gennen oresund, 1497-1660 et 1661-1783*, 7 vol., Copenhague, 1906-1953 ; les enterrements à Rotterdam sont d'A. M. VAN DER WOUDE et G. J. MENTINK, *De demografische ontwikkeling te Rotterdam en Cool*, Rotterdam, 1965 ; les enterrements à Edam sont d'A. M. VAN DER WOUDE, *Het Noorderkwartier*, v. 3, Wageningen, 1972, pp. 635-638.

30. Les conséquences sur l'économie des périodes climatiques identifiées dans cet article sont évidemment d'un grand intérêt, mais les techniques utilisées ici ne permettent pas de déceler les conséquences à long terme. Les données disponibles sont incapables de rendre compte de toutes les variables et des processus d'adaptation qui interviennent dans le long terme (et dont on peut faire fi pour le court terme).

31. Dans une autre tentative, on a effacé l'influence des tendances à long terme sur les variables économiques en ayant recours aux écarts des moyennes mobiles de 50 ans, tandis que les températures hivernales étaient exprimées en écarts par rapport à la température moyenne de l'ensemble de la période. On a obtenu des coefficients de corrélation presque semblables à ceux adoptés ici.

32. J. P. M. WOUDEBERG, « Het verband tusschen het weer en de opbrengst van wintertarwe in Nederland », *Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut, Mededeelingen en Verhandelingen*, n° 50, 1946.

33. Voir dans A. M. VAN DER WOUDE, *Het Noorderkwartier*, v. 3, pp. 654-659, les chiffres annuels des têtes de bétail dans la Hollande des trente dernières années du XVIII<sup>e</sup> siècle. Il apparaît que le nombre de têtes diminue en quantités variables les années où les températures sont froides au mois de mars. Cette baisse est particulièrement sensible en 1785-1786, 1795 et 1800.

34. P. N. BOEKEL, *De zuivelexport van Nederland tot 1813*, Utrecht, 1929, pp. 210-211.

35. Un autre produit était directement affecté par les variations de la température hivernale moyenne : la tourbe, qui était le principal combustible de la Hollande. Malheureusement, les trois séries du prix de la tourbe dont on dispose sont incomplètes et on ne peut s'y fier entièrement. Les institutions qui fixaient les cotations payaient parfois les mêmes prix pendant plusieurs années consécutives. On ne peut pas savoir, par conséquent, si les prix étaient relativement stables ou si cette stabilité apparente était le fait de contrats d'approvisionnement à long terme. En outre, les cotations étant annuelles, il est impossible de discerner les pointes saisonnières qui devraient

## LE CLIMAT DANS L'HISTOIRE

correspondre aux hivers particulièrement rigoureux. Néanmoins, en dépit de ces imperfections, ces séries de prix laissent apparaître des hausses sensibles pour les années débutant par des hivers très froids. C'est le cas des années 1672, 1679, 1692, 1709, 1740, 1763, 1785 et 1795. Mais tous les hivers froids n'eurent pas de telles conséquences. On ne connaît que le cours annuel de la production de tourbe. On peut admettre que la production était élastique, en sorte que les hivers froids avaient pour conséquence de donner du travail à des milliers de chômeurs qui trouvaient à s'employer dans les tourbières. Ce travail ne s'effectuant pas l'hiver, on peut penser qu'il était nécessaire que fussent dressés de larges inventaires. Malheureusement, on ne sait pratiquement rien de cette industrie, essentielle pour l'économie de la République hollandaise.

36. Voir L. P. SMITH : « The significance of climate variations in Britain », dans UNESCO, *Changes in climate, proceedings of the Rome symposium*, Nations unies, 1963, pp. 455-463.