

Fluctuations climatiques récentes au Québec
Some observations on recent climatic fluctuations in Québec
Einige Beobachtungen über neue Klima Veränderungen in Québec

André Hufty

Volume 35, numéro 1, 1981

Quatrième Colloque sur le Quaternaire du Québec

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000377ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000377ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Hufty, A. (1981). Fluctuations climatiques récentes au Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 35(1), 49–55. <https://doi.org/10.7202/1000377ar>

Résumé de l'article

Le problème des fluctuations climatiques récentes au Québec sera abordé de trois façons différentes, qui se complètent. Une étude des températures au Québec montre des fluctuations sans ordre autour d'une légère tendance à la hausse, plus nette dans la vallée du Saint-Laurent, avec un maximum autour de 1950. Ces variations sont partiellement planétaires, et de nombreux auteurs, notamment Budyko et Bryson, ont tenté de les expliquer à l'aide de modèles de bilan d'énergie, qui montrent l'effet climatique des changements des poussières, du CO² et des éruptions volcaniques. Ces théories climatiques deviennent de plus en plus connues, même en dehors des milieux scientifiques, et il semble que la perception des variations climatiques a davantage changé que le climat lui-même.

FLUCTUATIONS CLIMATIQUES RÉCENTES AU QUÉBEC

André HUFTY, Laboratoire de climatologie, Département de géographie, université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ Le problème des fluctuations climatiques récentes au Québec sera abordé de trois façons différentes, qui se complètent. Une étude des températures au Québec montre des fluctuations sans ordre autour d'une légère tendance à la hausse, plus nette dans la vallée du Saint-Laurent, avec un maximum autour de 1950. Ces variations sont partiellement planétaires, et de nombreux auteurs, notamment Budyko et Bryson, ont tenté de les expliquer à l'aide de modèles de bilan d'énergie, qui montrent l'effet climatique des changements des poussières, du CO₂ et des éruptions volcaniques. Ces théories climatiques deviennent de plus en plus connues, même en dehors des milieux scientifiques, et il semble que la perception des variations climatiques a davantage changé que le climat lui-même.

ABSTRACT *Some observations on recent climatic fluctuations in Québec.* The problem is approached in three separate, but complementary manners centring on a study of temperature regimes in Québec. These regimes indicate irregular fluctuations around a slight tendency upward, that is most evident in the St. Lawrence lowlands and that peaks around 1950. These variations are in part global and a number of authors, in particular Budyko and Bryson, have tried to account for them by means of energy budget models that indicate the climatic consequences of changes in the amount of dust and CO₂ present in the atmosphere, as well as of volcanic eruptions. These climatic theories are becoming better and better known, even outside the scientific community, and there is some indication that the perception of climatic change has increased even more than climate itself.

ZUSAMMENFASSUNG *Einige Beobachtungen über neue Klima Veränderungen in Québec.* Das Problem wird auf drei verschiedene, aber sich ergänzende Weisen angegangen. Ein Studium der Temperaturen in Québec zeigt ungeordnete Schwankungen, die eine schwache Tendenz zur Steigung haben, welche sich mehr im St. Lawrence-Tal zeigt und deren Maximum bei 1950 liegt. Diese Veränderungen sind teilweise global und viele Autoren, besonders Budyko und Bryson, haben versucht sie mit Hilfe von Energie-Budget-Modellen zu erklären, welche die klimatische Wirkung der Veränderung im Staub, im CO₂ und den Vulkanausbrüchen zeigen. Diese klimatischen Theorien werden jetzt immer besser gekannt, sogar ausserhalb der wissenschaftlichen Kreise, und es scheint, dass sich die Auffassung von Klimatischen Veränderungen mehr als das Klima selbst geändert haben.

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Le climat est un système physique très complexe, avec des interrelations multiples entre ses composantes, et c'est simplifier la réalité que de parler de fluctuations « climatiques » à propos des seules variations de température, de précipitations ou d'un quelconque élément isolé du contexte. Cette approche analytique est probablement due à la difficulté d'obtenir une documentation plus globale et à une manière traditionnelle de définir le climat.

L'étude et la modélisation des fluctuations climatiques actuelles peut éclairer le passé. Ce principe de causes actuelles a cependant des limites, car l'équilibre climatique planétaire actuel n'est pas nécessairement le même qu'il y a un million d'années et les coefficients empiriques des équations qui décrivent le système climatique ont pu changer. En d'autres termes, s'il est aisé d'extrapoler de faibles variations autour de la position d'équilibre, il est difficile de prévoir un changement de cette dernière.

ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES RÉGIONALES

1) Ces remarques faites, commençons par regarder l'évolution récente des températures annuelles au Québec. Même si c'est un point de vue très partiel, il nous permettra de montrer les difficultés et les hypothèses inhérentes à ce type d'étude.

La plus longue série de mesures thermométriques provient de la station de Montréal de l'université McGill. Nous commencerons l'analyse en 1875, même si les archives de McGill contiennent des données du demi-siècle antérieur, car à notre connaissance la critique des mesures instrumentales faites avant 1871 est insuffisante pour assurer une homogénéité de la série complète.

Entre 1871 et 1975, les températures annuelles montrent des fluctuations sous la forme de changements irréguliers autour d'une valeur moyenne de 6,3°C; l'écart type de la série est de 1°C. On peut cependant isoler une tendance à la hausse de plus de 2°C de 1885 à 1950. Les variations interannuelles ont des rythmes variables, très irréguliers dans les années vingt, trente et cinquante, et plus stables dans les années soixante.

On peut déceler des périodes plus chaudes ou plus froides en calculant les moyennes simples ou les « moyennes mobiles » sur une période de 8 ans pour tenir compte du même nombre d'années bissextiles dans chaque moyenne (fig. 1).

Il est certain qu'il faudrait utiliser plusieurs stations, mais alors la durée d'observations conjointes se réduit. Une étude sérieuse sur l'ensemble du territoire du Québec, et encore, avec de sérieuses lacunes pour le nord, est en voie de réalisation au Laboratoire de climatologie

de l'université Laval¹. Des premières conclusions, basées sur les pourcentage de stations dont la température annuelle est, pour une année donnée, supérieure ou inférieure à la normale, indiquent, sur tout le territoire, des successions d'années froides plus nombreuses au début des observations et chaudes plus fréquentes autour des années cinquante. Très schématiquement, les années suivantes ressortent (19..): froides: 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 29, 33, 34, 35, 36, 43, 72, 74; chaudes: 21, 31, 37, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 55, 60, 73, 75.

Précisons notre comparaison, en réduisant encore sa durée, avec trois stations: Montréal (McGill) Les Cèdres et Huberdeau², et l'ensemble de l'hémisphère nord (MILES et GILDERSLEEVE, 1977). La figure 2 indique un décalage d'une dizaine d'années entre les maxima hémisphériques et ceux du Québec, une tendance à la baisse ou à la stagnation et une augmentation récente de l'écart entre les trois stations, qui passe de 1,5 à 2°C entre Les Cèdres et Huberdeau, de 0,5°C à 1°C entre Montréal et Les Cèdres et enfin de moins de 2°C à plus de 3°C entre Montréal et Huberdeau. La cause précise de ces phénomènes n'est pas connue; il manque une critique locale des données et des instruments. On peut cependant considérer qu'une partie de l'augmentation relative constatée à Montréal est due à l'urbanisation et que la hausse moins forte à la station des Cèdres est peut-être causée par un réchauffement de la vallée du Saint-Laurent. Ceci reste une hypothèse à vérifier (voir tabl. I; voir également THOMAS, 1975).

2) Comme toutes ces stations présentent les mêmes tendances, il faut évidemment chercher une explication à l'échelle régionale ou hémisphérique. En examinant les séries des températures mondiales, on constate l'existence de fluctuations climatiques de signes opposés dans les grandes aires régionales et de fluctuations climatiques qui ont les mêmes tendances sur tout un hémisphère. Les différences régionales semblent notamment liées aux types de circulation atmosphérique qui prédominent à une période donnée et les variations hémisphériques récentes aux changements de la transparence atmosphérique.

La recherche poursuivie par MIKAMI (1978) est un bon exemple de mise en évidence des fluctuations régionales; nous extrayons quelques points de son article; d'abord, à l'aide d'une analyse en composante principale des températures mensuelles de 90 stations pendant 29 années, l'auteur distingue neuf aires où les

1. Marius Thériault dirige cette recherche et nous a communiqué les résultats que nous utilisons ici.

2. Coordonnées et sites: Montréal, centre-ville (université McGill): 45,5°N et 73,58°O, 57 m; Les Cèdres (vallée du Saint-Laurent): 45,3°N et 74,05°O, 47 m; Huberdeau (plateau au nord de Montréal): 45,9°N et 74,63°O, 213 m.

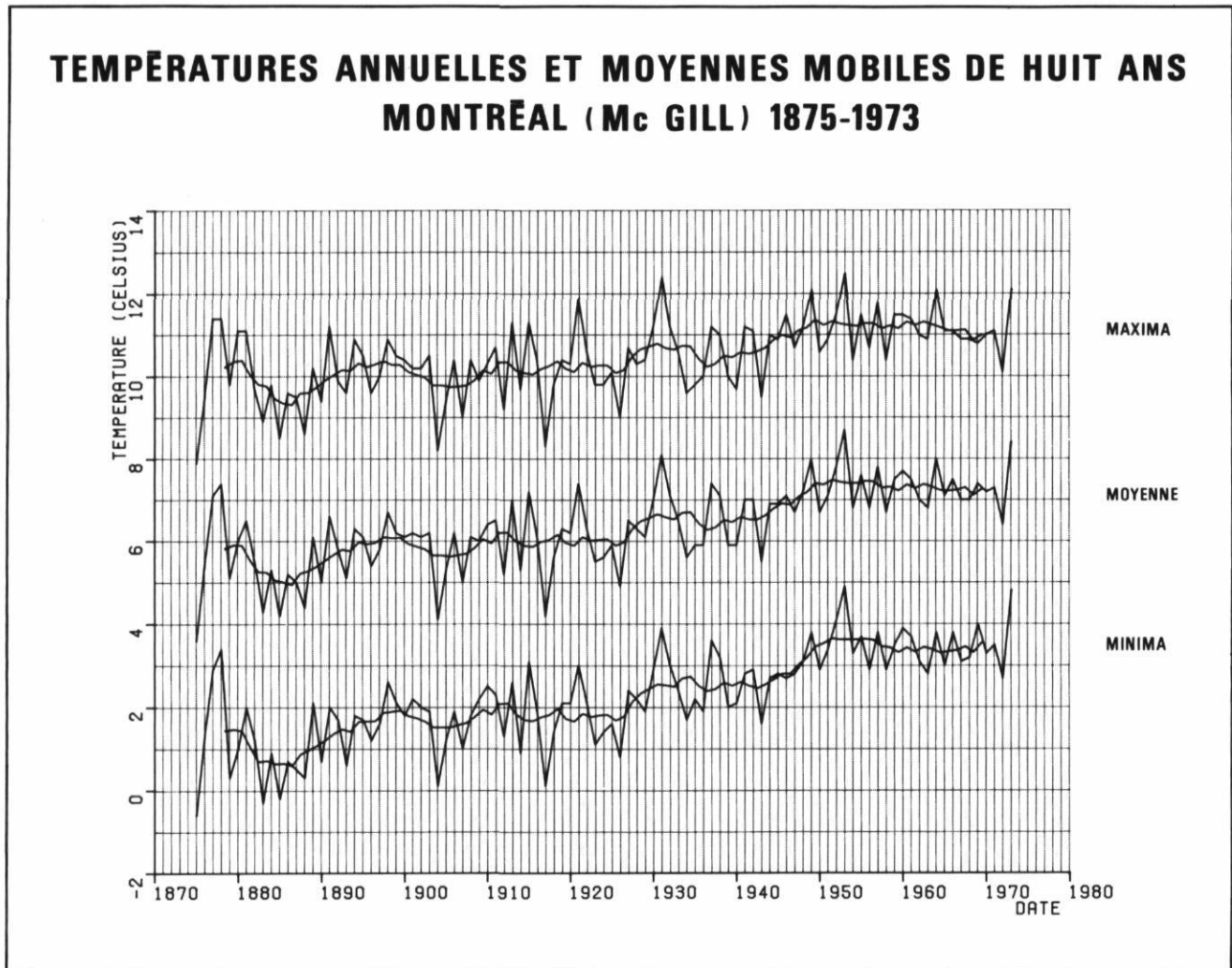


FIGURE 1. Annual temperatures and eight year running means, Montréal (McGill Univ.), 1875-1973.

anomalies de température ont des comportements internes semblables, mais qui se différencient les unes des autres : par exemple, une hausse de l'ensemble des stations de l'Europe du Nord accompagne fréquemment une baisse dans le même temps dans l'Asie occidentale.

Ensuite, le même auteur compare les fréquences des types de circulation atmosphérique à 500 mb (indice de vitesse zonale et axe des vents géostrophiques) et les anomalies de températures. À titre d'exemple, la circulation de type «WM» se caractérise par trois inflexions vers le sud de l'axe des vents moyens, qui correspondent à trois aires anormalement froides : États-Unis de l'Est, Europe du Nord et Asie orientale, et une aire chaude : l'Asie occidentale. Il semble que ce type de circulation ait été prédominant pendant la période froide du Würm et le moins fréquent dans les années 1920-50, considérées comme chaudes.

MODÈLES D'ÉVOLUTION HÉMISPHERIQUES DES TEMPÉRATURES

Les variations qui intéressent tout l'hémisphère ont une intensité plus faible. De très nombreux auteurs tentent actuellement de simuler le système atmosphérique, entre autres par des *modèles de bilan énergétique* moyen, pour essayer d'expliquer les effets, sur les températures, de changements externes (constante solaire par exemple) ou internes au système (changement de transparence atmosphérique) (BARRY, 1979 ; BRINKMAN, 1976 ; MILES et GILDERSLEEVES, 1977).

Donnons un premier exemple, en le simplifiant volontairement, d'un modèle de prévision de la température et des fluctuations climatiques, d'après les travaux de BUDYKO (1969, 1977) : quel est l'effet prévisible

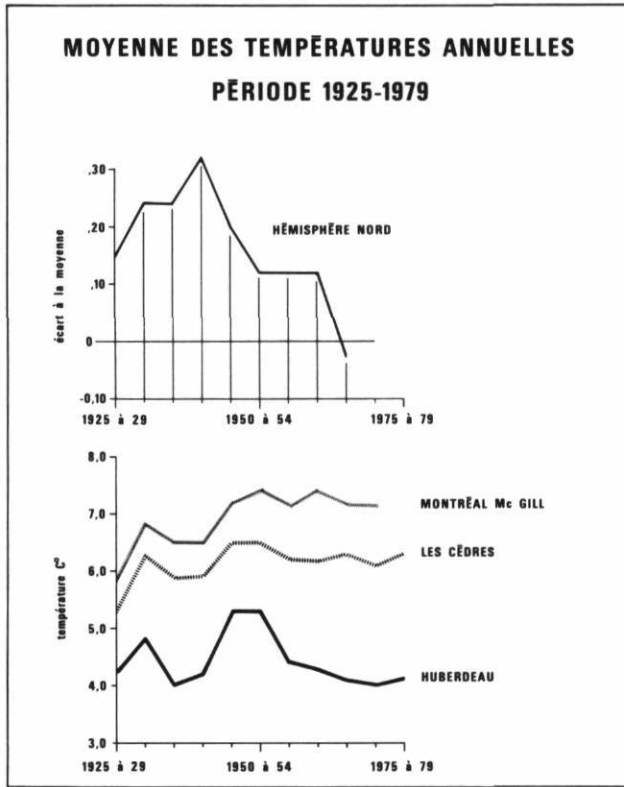


FIGURE 2. Mean annual temperatures, 1925-1979.

TABLEAU I

Causes des variations de températures d'après DETTWILLER (1970)

instrumentales	abri ¹ thermomètre ² calcul de la moyenne ³
réelles	locales ⁴ régionales ⁵ hémisphériques ⁶

1. Changement d'emplacement ou d'environnement, de type d'abri, dégradation de l'abri.
2. Changement d'appareil et vieillissement
3. Heure des relevés, manière de calculer
4. Modifications du sol (végétation, humidité, neige, albédo, eaux usées chaudes,...) ou de l'environnement (constructions nouvelles, apports thermiques, pollution de l'air)
5. Circulation atmosphérique, relief, neiges et glaciers,...
6. Modifications de la transparence atmosphérique, de la constante solaire, des glaces polaires, de l'orographie planétaire,...

d'une variation faible de la constante solaire annuelle sur un hémisphère ?

Il faut poser l'équation de l'équilibre thermique de la Terre ; pour ce faire, calculons d'abord les gains d'énergie :

Désignons la constante solaire par E_s . Chaque unité de surface terrestre reçoit $\frac{E_s \cdot \pi R^2}{4\pi R^2}$ ou $0,25 E_s$. Compte tenu de l'albédo planétaire α_p , le gain réel est de $0,25 E_s (1 - \alpha_p)$ (1)

La terre se refroidit par rayonnement infrarouge. En comparant les mesures de I_s (infrarouge au sommet de l'atmosphère) par satellite avec les températures (température sous abri), on obtient une régression sous la forme :

$$I_s = A + B.t \quad (2)$$

qui est une équation empirique simplifiée tenant compte globalement de l'émission de la surface et de l'effet de serre.

Les pertes égalent les gains, ce qui se traduit par :

$$0,25 E_s (1 - \alpha_p) = A + B.t \quad (3)$$

Une diminution de E_s sous la forme ΔE_s va correspondre à une baisse de la température hémisphérique moyenne Δt , qui s'écrit, en supposant un α_p constant :

$$\Delta t = \frac{0,25 \Delta E_s (1 - \alpha_p)}{B} \quad (4)$$

La résolution numérique de cette équation est la suivante, si on suppose une baisse de 1% de la constante solaire :

$$\begin{aligned} B &= 1,58 \\ \alpha_p &= 0,32 \\ E_s &= 1370W.m^{-2} \end{aligned}$$

$$\text{et } \Delta t = \frac{-0,25 \times 1370 \times 0,01 \times (1 - 0,32)}{1,58} = -1,47^\circ C$$

Une telle baisse de température se traduit par une rétroaction sur l'albédo planétaire. D'après une carte des températures moyennes, la limite nord des glaces polaires se déplacerait d'environ $1,5^\circ$ de latitude vers le sud, et cette augmentation de 1% des glaces donnerait, compte tenu d'un albédo polaire moyen de 0,6 et non polaire de 0,3, une variation de $\Delta \alpha_p$ de 0,003. Si on introduit cette variation dans l'équation (4), le calcul donne, au dénominateur, une valeur de $1,58 + \frac{\Delta \alpha_p}{\Delta t} \times 0,25 E_s$,

c'est-à-dire 0,88. Le Δt correspondant est d'environ $-2,6^\circ$ soit une baisse de température moyenne plus forte.

Cet exemple est évidemment très simplifié, mais il nous indique clairement la voie à suivre pour construire un modèle numérique de prévision de changement de climat.

3) Nous prendrons, comme deuxième exemple, le modèle de BRYSON et DITTBERNER (1979). La modélisation du bilan d'énergie à la surface de la terre, présentée par ces deux auteurs, permet une prévision numérique des fluctuations climatiques mineures causées par la hausse du taux de CO₂ de l'atmosphère, les poussières volcaniques et la pollution d'origine humaine (fig. 3).

Ce modèle suppose au départ que ni la constante solaire ni l'albédo de surface ne varient et que les changements de nébulosité ont un effet négligeable; il tient compte de la possibilité de stockage ou d'emprunt de chaleur dans le sol et l'eau à l'échelle de la décennie (10 ans), donc d'un couplage air-océan.

1. LES GAINS D'ÉNERGIE SOLAIRE ABSORBÉE PAR LA SURFACE

Ils proviennent de l'absorption par la surface d'une somme d'énergie formée du rayonnement solaire direct, du rayonnement solaire diffus et du rayonnement infrarouge émis vers le bas par les particules atmosphériques qui ont absorbé l'énergie solaire.

Considérons d'abord une couche atmosphérique, dont le coefficient de transparence vaut x. Un rayonnement solaire I arrive au sommet de la couche et un rayonnement Ix en sort à la base. La quantité absorbée et diffusée dans la couche est égale à I(1 - x). Une fraction de cette quantité sort également vers le bas; si cette fraction vaut f_x, le rayonnement total qui sort de la couche, sous forme de rayonnement solaire direct, diffus ou infrarouge est égal à I{x + f_x (1 - x)}

Les auteurs séparent l'atmosphère en trois couches: la stratosphère (transparence a) avec des poussières volcaniques, la troposphère avec de la vapeur d'eau, où joue surtout la diffusion de Raleigh (transparence c) et la troposphère inférieure, avec les poussières (transparence b).

Les valeurs retenues par les auteurs sont les suivantes:

- c = 0,50 à 0,55
- c + f_c (1 - c) = 0,76
- a et b = 0,93 à 0,99
- f_a et f_b = 0,91

La quantité d'énergie qui arrive à la base de la couche supérieure est évidemment équivalente à la quantité qui pénètre au sommet de la couche sous-jacente. Le sol reçoit, après la traversée des trois couches atmosphériques (si Q_s est l'énergie au sommet de l'atmosphère):

$$B_1 = Q_s \{ a + f_a (1 - a) \} \cdot \{ B + f_b (1 - b) \} \cdot \{ C + f_c (1 - c) \}$$

Les nuages diminuent cette quantité B₁; il faut également tenir compte de l'albédo du sol (α₀). Si N dési-

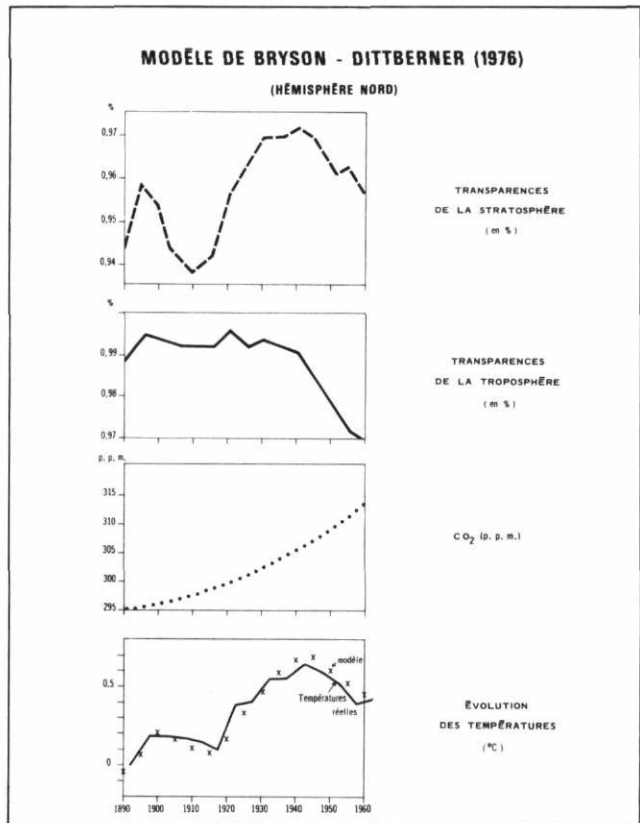


FIGURE 3. BRYSON et DITTBERNER model (1976) applied to the northern hemisphere.

gne un coefficient d'opacité globale des nuages (en moyenne N = 0,4), on obtient:

$$B_2 = B_1 \cdot (1 - N) (1 - \alpha_0)$$

2. L'ÉNERGIE INFRAROUGE

On sait que le bilan d'infrarouge de la surface par temps clair vaut ε_s σT₀⁴ (1 - ε_c) où ε_s est le coefficient d'émission du sol (~ 0,9) et ε_c celui de l'atmosphère, lui-même composé de vapeur d'eau et d'ozone (coefficient «ajusté» à 0,60) et de CO₂, dont le coefficient partiel, qui s'ajoute au précédent, peut s'évaluer par la formule: ε_{CO2} = 0,0235 1n (CO₂) (x 1n) + 0,0537 où CO₂ est en ppm, 300 en moyenne.

Compte tenu des nuages et de l'émissivité de l'atmosphère entre le sol et les nuages, les auteurs obtiennent pour le bilan d'infrarouge:

$$B_3 = (1 - N) \epsilon_s \sigma T_0^4 (1 - \epsilon_c) + 2N \epsilon_s T_0^3 (1 - 0,2 \epsilon_c)$$

3. AUTRES VARIABLES ET ÉQUATION FINALE

L'énergie disponible sert à échauffer l'air et à évaporer l'eau du sol. Désignons par C les flux de chaleur sensible et latente (valeur de 94W.m⁻², d'après Sellers).

On peut tenir compte des variations de stockage d'énergie dans le sol et l'eau des océans à l'échelle d'une décennie sous la forme :

$$m^* \frac{dT_o}{dt}$$

où m^* est la capacité thermique du substrat ($0,635W$. décennie⁻¹ m⁻² °K⁻¹).

$$L'équation finale devient : B2 + B3 + C + m^* \frac{dT_o}{dt} = 0$$

4. ANALYSE DES RÉSULTATS (fig. 3)

(a) *Exemples de la sensibilité du modèle.* Un changement de 1% de la constante solaire produit une différence de 2°C au sol.

Une hausse de ± 1% du CO₂ se traduisait par une variation de +0,08°C. Il faut cependant considérer qu'une hausse de CO₂, due aux fumées industrielles, se combine à un accroissement des aérosols dans les basses couches, qui diminue le coefficient b. Compte tenu des relations entre ces deux paramètres, le résultat final d'une hausse de 1% de CO₂ est une *diminution* de la température de 0,01°C.

(b) *Comparaison entre les températures observées et les températures calculées, en fonction des variations annuelles de la transparence a et b du CO₂.* Le produit abc a été estimé à l'aide des données hémisphériques annuelles du rayonnement direct depuis 1888 publiées par Budyko est considéré comme une constante ; a et b sont recalibrés annuellement par régression respectivement avec la fréquence des éruptions volcaniques importantes et avec les données annuelles de pollution des glaces du Groenland et des poussières du Caucase.

De 1890 à 1960, le CO₂ augmente de 295 à 314 ppm ; le coefficient fluctue entre 0,939 (1910) et 0,970 (1940) et le coefficient b de 0,930 (1935) à 0,962 (1895).

L'auteur calcule les températures moyennes de l'hémisphère nord avec son modèle et les compare avec les moyennes observées. Le coefficient de corrélation de 0,92 indique que la reconstitution des températures à partir de trois variables simples (poussières volcaniques, CO₂ et pollution) semble possible et donc que le modèle fonctionne, du moins à court terme (l'albédo, le rayonnement solaire, les glaces polaires, la vapeur d'eau, le flux de chaleur et la nébulosité sont considérées comme des constantes ou comme ayant des effets qui s'accumulent).

(c) *Une remarque finale.* Ces modèles fonctionnent dans les limites des climats actuels et deviennent peu à peu un moyen puissant de prévision climatique de changement des températures occasionnées par une action humaine. Cependant les fluctuations les plus

importantes sont naturelles (par exemple le volcanisme) et échappent actuellement à toute prévision.

PERCEPTIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1) Il n'est pas sans intérêt de se demander pourquoi on observe un regain d'intérêt récent pour les fluctuations climatiques.

Même si nous commençons à comprendre et à craindre que les actions anthropiques puissent perturber les phénomènes naturels, c'est-à-dire à réaliser que nous faisons partie nous-mêmes du système de la nature, nécessairement limité par la taille de la planète Terre, les fluctuations actuelles ne semblent pas anormales par rapport au passé et ont des valeurs absolues qui ne suffisent pas à expliquer ce regain d'intérêt.

Il semble que la perception du climat a évolué. La population mondiale est en augmentation rapide et, dans les années cinquante, cette hausse avait été rendue plus tolérable par une conjonction de gains technologiques, dans lesquels on peut ranger la «révolution verte», et de climat favorable. Au moment où cette «révolution» s'essouffle, des années climatiques plus défavorables arrivent ; ces dernières sont «normales» ou prévisibles à l'échelle du siècle mais avaient été oubliées.

Il y a un mélange de changement de perception du climat (les conditions actuellement ressenties comme «normales» semblent être au-dessus de la moyenne séculaire) combiné à l'apparition d'une fragilité plus grande de l'économie à des situations exceptionnelles. On croyait avoir maîtrisé la nature en oubliant le retour «statistique» des phénomènes rares (suite d'années défavorables) et «*the events of recent years have shaken our false sense of technological invulnerability*» (MITCHELL, 1976). (Voir NORWINE, 1978.)

Citons quelques exemples simples, pour préciser notre pensée :

a) Dans le Sahel africain, une succession de périodes survenues entre 1968 et 1973 causa des dégâts catastrophiques, surtout pendant la dernière année. Cette sécheresse n'était pas un événement imprévisible pour le climatologue, mais elle a frappé des populations dont le genre de vie avait changé récemment à la suite de nouvelles conditions politiques et économiques développées pendant une période climatiquement humide.

L'expansion des cultures s'était faite dans des zones très marginales en détériorant le milieu écologique ; les troupeaux s'étaient accrus et avaient été partiellement stabilisés, causant un surpâturage et offrant aussi une possibilité d'adaptation moins grande que celle par exemple des touaregs, face à une diminution des pâturages, causée par la sécheresse (GLANTZ, 1980).

b) Dans les sociétés d'économie agricole de marché très spécialisé, le calendrier de vente des produits est devenu de plus en plus serré : telle région va vendre sa production maraîchère ou fruitière de telle date à telle date, puis céder sa place à une autre région concurrente. Un calendrier climatique régional en avance ou en retard d'une quinzaine de jours peut être catastrophique, et les planifications faites à partir des conditions météorologiques moyennes sont insuffisantes. De la même façon qu'une station de ski a besoin de la neige à Noël et pas 15 jours après (fig. 4).

2) En conclusion, la nature n'a pas modifié son irrégularité en face d'une économie de plus en plus exigeante et des distorsions entre les deux systèmes sont apparues. Cette sensibilité nouvelle au climat s'accompagne de la peur des interférences des actions humaines, volontaires ou non sur le climat, qu'on pense à la pollution industrielle, les pluies acides, la possibilité de détourner des cyclones tropicaux, etc.

Cette nouvelle perception favorise les recherches scientifiques pour mieux connaître la « machine atmosphérique » afin de prévoir les effets naturels et anthropiques sur d'éventuels « changements » de climat. Dans

l'immédiat cependant, les influences humaines réelles sont encore à une échelle locale ou régionale, et les fluctuations naturelles du climat conservent, à l'échelle planétaire, un ordre de grandeur supérieur. Ces dernières fluctuations sont malheureusement largement imprévisibles (qu'on pense aux éruptions volcaniques par exemple) et l'adaptation passe par un certain type de stratégie : le vieux conseil de Joseph au Pharaon dans la Bible reste toujours d'actualité : faire des réserves en période de vaches grasses pour les distribuer en période de vaches maigres... (SCHNEIDER, 1976).

BIBLIOGRAPHIE

- BACH, W. (1979) : Short term climatic alterations caused by human activities : status and outlook, *Progr. Phys. Geogr.*, vol. 3, n° 1, p. 55-83.
- BARRY, R.G. (1979) : Recent advances in climate theory based on simple climate models, *Prog. Phys. Geogr.*, vol. 3, n° 1, p. 119-131.
- BRINKMAN, W. (1976) : Surface temperature trend for the northern hemisphere updated, *Quat. Res.*, vol. 6, p. 355-358.
- BRYSON, R.A. et DITTBERNER, G.J. (1976) : A non-equilibrium model of hemispheric mean surface temperature, *J. Atmospheric Sc.*, vol. 33, p. 2094-2106
- BUDYKO, M.I. (1969) : The effect of solar radiation variation on the climate of the Earth, *Tellus*, vol. XXI, n° 5, p. 611-619.
- (1977) : On present day climatic changes, *Tellus*, vol. XXIX, n° 3, p. 193-204.
- DETTWILLER, J. (1970) : Évolution séculaire du climat de Paris, influence de l'urbanisation, *Mémorial de la météorologie nationale* (Paris), n° 52, 1 p.
- GLANTZ, M.H. (1980) : Intérêt d'une prévision météorologique à long terme pour le Sahel ouest africain, traduction dans *Feuillet météorologique*, Serv. de la météorologie, Québec, vol. XIX, n° 6, p. 92-108, n° 7, p. 110-120.
- MIKAMI, T. (1978) : Regional differences of temperatures variations over the northern hemisphere, *Bull. Dept. Geography, Univ. of Tokyo*, n° 10, p. 11-30.
- MILES, M.K. et GILDERSLEEVES, P.B. (1977) : A statistical study of the likely causative factors in the climatic fluctuations of the last 100 years, *Meteorological Mag.* vol. 106, p. 314-322.
- NORWINE, J. (1978) : *Climate and Human Ecology*, Houston, Armstrong, 239 p.
- SCHNEIDER, S.H. (1976) : *The genesis strategy*, New York, Plenum Press, 419 p.
- THOMAS, M.K. (1975) : *Recent climatic fluctuations in Canada*, Ottawa, Environment Canada, Climatic study n° 28, 91 p.

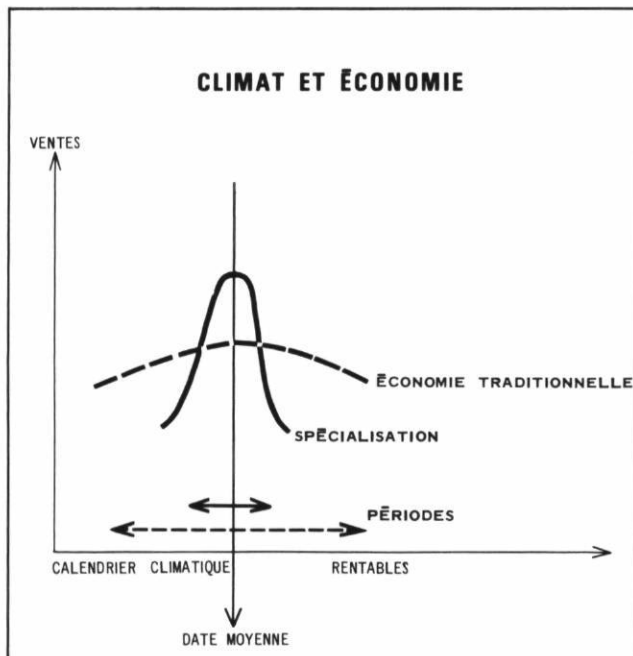


FIGURE 4. Climate and economy.