

Climats : observations et prévisions

Daniel Levert, membre de la SAGA.

Notre collègue Daniel Levert, qui est un nouveau membre de la SAGA, a présenté ce sujet en Tribune libre lors de la réunion du samedi 14 avril 2012. Nous le remercions vivement de nous avoir transmis le texte de sa conférence pour que nous le publions dans Saga Information.

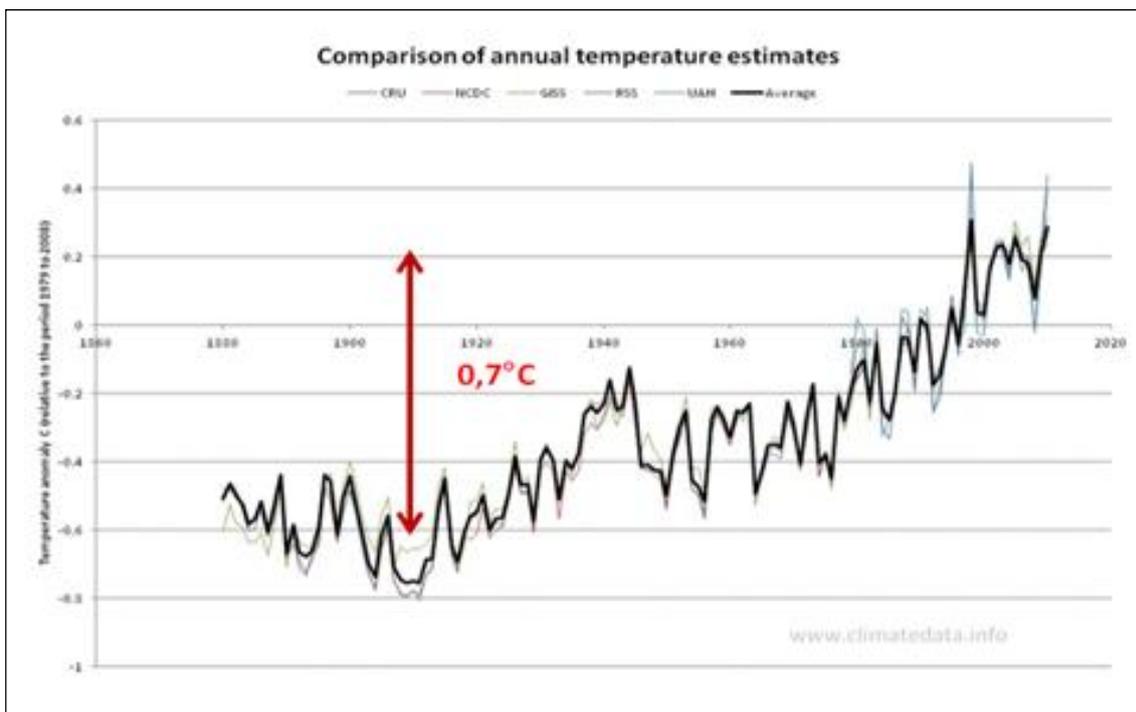


Figure 1. Variation de la moyenne de la température troposphérique de la Terre établie par la moyenne des courbes produites par les cinq principaux centres de recherche météorologiques. La variation de température est de l'ordre de 0,7°C depuis les années 1880.

Introduction

Les dix principaux types de climats sur Terre forment une mosaïque très contrastée de climats équatoriaux, polaires, océaniques, continentaux, etc. chacun répondant à une dynamique propre. Observer des variations du climat de la Terre est un défi d'une grande complexité que la science moderne n'a que partiellement abordé. Cependant, certains jugent possible de dégager une notion de température moyenne de la troposphère du globe terrestre. On parle aujourd'hui d'une phase récente de réchauffement climatique. Les conséquences sociétales de cette

approche peuvent être considérables. Il convient alors de garder une vision rationnelle de la réalité climatique et, pour cela, il est prudent de se référer aux principales observations scientifiques.

Observation de la température moyenne de la troposphère

La température moyenne de la troposphère du globe terrestre est le critère généralement retenu pour parler de réchauffement du climat. Il faut se rappeler que la température est, en physique, une grandeur intensive, non pas une mesure mais un repère, et il n'est pas

possible de faire une moyenne de plusieurs grandeurs intensives brutes. Les relevés bruts des températures des différentes stations météorologiques doivent donc subir un lourd et complexe traitement mathématique pour pouvoir traduire en première approximation une réalité physique globale.

Différents centres de recherche météorologique, notamment anglo-saxons, ont pratiqué ces traitements des données brutes. Le résultat de ce travail est aujourd'hui généralement publié comme le montre la figure 1.

Cette courbe moyenne montre de larges fluctuations englobant deux paliers thermiques d'environ 40 années chacun, puis un récent palier depuis le début des années 2000, comme le montre plus en détail la figure 2.

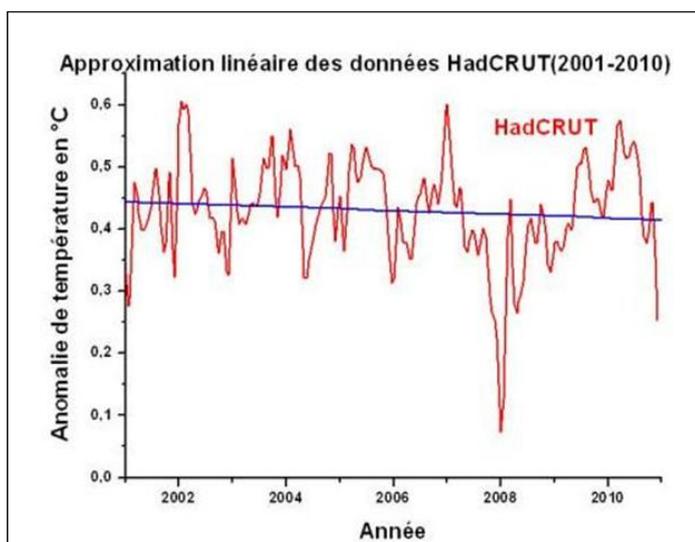


Figure 2. Détail des variations de température au début du XXI^e siècle.

(Source : The Climatic Research Unit (CRU) University of East Anglia (UEA) in Norwich).

Observation de la température au Groenland depuis 4 000 années

L'étude des carottes de glace prélevées au Groenland permet de retracer très valablement les variations de la température locale mais aussi, très certainement dans une large part, de l'hémisphère Nord. La mesure du rapport isotopique oxygène 16/oxygène 18 permet de remonter à la température historique et de mettre en évidence sa variation.

La figure 3 montre que des variations de la température moyenne, d'amplitude allant jusqu'à 3 °Celsius, se sont récemment produites au Groenland. La dynamique de ces variations a varié, à la hausse et à la baisse, de 0,6 °C à 1,8 °C par siècle.

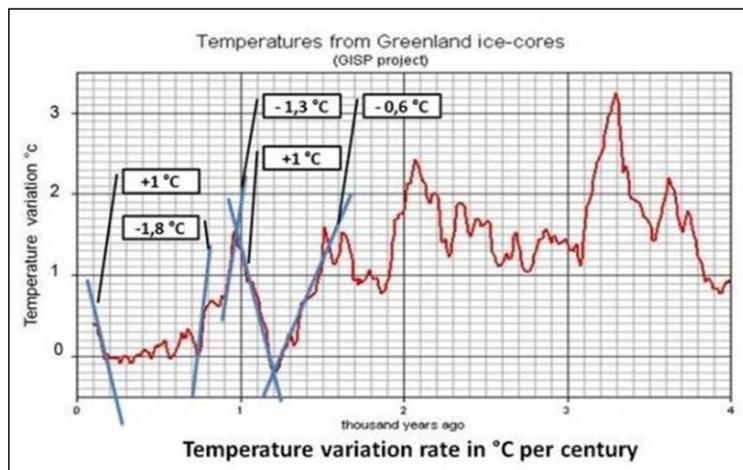


Figure 3. Variation de la température troposphérique au Groenland au cours des 4 000 dernières années.

(Source : Climate Change Research Center Institute for the Study of Earth, Oceans and Space University of New Hampshire).

Observation de l'étendue des glaces de mer sur l'océan Arctique pendant 800 ans

Contrairement au continent Antarctique où on ne remarque aucune tendance de diminution des glaces de mer à son voisinage, on note par contre sur l'océan Arctique une tendance à une réduction de la surface moyenne annuelle des glaces de mer. Ces variations ne s'expliquent pas par des variations de la température troposphérique qui dépasse 0 °C de quelques degrés qu'environ deux mois par an.

Les variations des volumes et de la surface des glaces de mer sont essentiellement dépendantes de la circulation océanique thermohaline dont les courants qui se

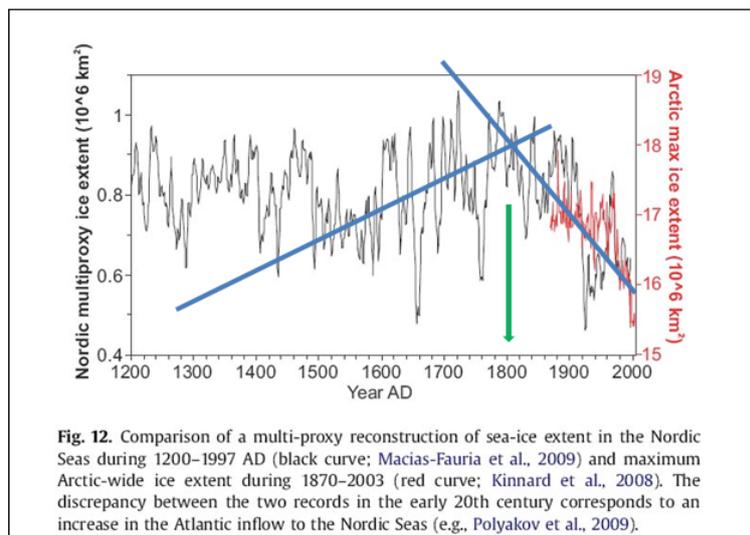


Fig. 12. Comparison of a multi-proxy reconstruction of sea-ice extent in the Nordic Seas during 1200–1997 AD (black curve; Macias-Fauria et al., 2009) and maximum Arctic-wide ice extent during 1870–2003 (red curve; Kinnard et al., 2008). The discrepancy between the two records in the early 20th century corresponds to an increase in the Atlantic inflow to the Nordic Seas (e.g., Polyakov et al., 2009).

Figure 4. Reconstitution par des indicateurs (avant 1900), puis par des observations (à partir de 1900) des variations annuelles de la surface moyenne des glaces de mer.

On remarque une inversion nette de tendance à partir des années 1800. (Source : voir figure).

qui se chargent en calories en Indonésie, puis dans le golfe du Mexique, apportent des quantités variables d'énergie aux glaces du Pôle Nord. Cette circulation thermohaline répète son cycle autour du globe, tous les 70 ans environ.

Observation de la variation du niveau des océans depuis 1870

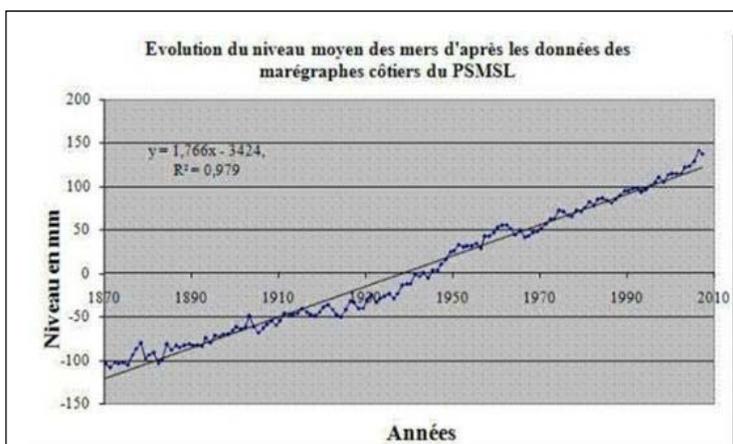


Figure 5. Les relevés des très nombreux marégraphes installés dans les ports de toutes les mers du globe permettent de mettre en évidence une élévation moyenne du niveau des mers de 17,66 cm par siècle, au moins depuis le début des années 1870.

(Source : Permanent Service for Mean Sea Level [PSMSL] National Oceanography Centre, UK).

Le niveau des océans est surveillé méthodiquement, depuis les années 1870, à l'aide de marégraphes situés dans de très nombreux ports ; la valeur moyenne de montée régulière du niveau des mers jusqu'à aujourd'hui est de 17,66 centimètres par siècle. La valeur moyenne du niveau fluctue et, notamment dans les années 1920 à 1960, sa valeur a atteint 33 cm par siècle, ce qui est comparable à ce qui est relevé depuis les années 1980, notamment avec les relevés des satellites Topex, Jason1 et Jason2. Ces satellites détectent depuis le début du XXI^e siècle une stabilisation du niveau moyen. Cette observation est confirmée par la baisse de la charge calorifique des océans dans la même période observée par 3 000 bouées ARGO (*World Ocean Circulation Experiment [WOCE]*) qui explorent les océans sur une profondeur d'eau de 2 000 mètres. C'est la dilatation thermique qui est le facteur prédominant dans la variation du volume des mers ; ARGO a montré que cette charge a diminué au cours des années 2000.

Observation de la variation de glaciers européens

Les glaciers de la vallée de Chamonix et ceux du Val d'Hérens, en Suisse, ont été étudiés depuis les années 1870. Les courbes de réduction d'importance des huit principaux glaciers de ces vallées montrent toutes que les glaciers ont entamé leur remontée avant 1870, puis il y a eu une période de stabilisation qui a débuté en 1960 jusqu'à 1970 en Suisse, alors que dans la vallée de Chamonix une nouvelle remontée des glaciers est observée. Il est important de noter que cette remontée des glaciers a été déclenchée avant 1870.

Observation de l'activité cyclonique

L'énergie totale des cyclones de l'hémisphère Nord est mesurée depuis 1979 par des satellites du COAPS, de l'Université de Floride, qui ne détecte aucune augmentation mais plutôt une décroissance sur 30 ans au point que les observateurs ont déclaré récemment : « 2004 saw over twice the activity as 2007 », soit : « 2004 montre une activité supérieure au double de celle de 2007 ».

Que disent les observations des principaux révélateurs climatiques globaux ?

Les observations par les scientifiques des principaux indicateurs climatiques ne montrent rien qui s'éloigne de la variabilité climatique naturelle. Cependant, certains pensent et affirment que le gaz carbonique serait un perturbateur des climats alors que, comme nous nous venons de le voir, la variabilité naturelle habituelle peut très bien englober la variation de 0,7 °C de la température lors du siècle dernier.

Afin de justifier un rôle du gaz carbonique, des modèles numériques sont souvent utilisés. Les modèles numériques sont utilisés en science pour contraindre une théorie afin de vérifier sa cohérence avec le réel observé. Cependant, dans le domaine climatique, les modèles sont utilisés à une toute autre fin : prévoir le futur, sans pouvoir aujourd'hui contraindre la théorie. Cette remise au futur d'une quelconque vérification est une faiblesse définitive pour la robustesse des prévisions numériques. Ceci est illustré par les résultats d'observation du satellite ERBE qui montrent une perte thermique par radiation des océans lorsque la température s'élève alors que tous les modèles numériques prévisionnels montrent une accumulation thermique par l'océan.

Ces modèles, tout au plus, présentent une corrélation entre deux variables mais, en aucun cas, ils permettent d'établir un lien de causalité entre variation de la concentration du gaz carbonique et température moyenne de la troposphère.

En tentative d'appui à la faiblesse fondamentale des modèles, des observations sont aussi utilisées et

notamment celles issues des carottages des glaces de Vostok au Pôle Sud.

Ces courbes ont été abondamment utilisées pour montrer la corrélation, si ce n'est la causalité, de la relation du gaz carbonique avec la température de la troposphère. Les travaux de Caillion, parus dans la revue Science en 2003, montrent que la température s'élève puis ensuite, soit 800 ans plus tard, le gaz carbonique croît. L'augmentation de la teneur en gaz carbonique des 400 000 dernières années est principalement provoquée par l'élévation de la température de la troposphère. Les courbes de Vostok montrent aussi qu'une augmentation de 100 ppm du gaz carbonique correspond à 8 °C d'augmentation de température. Alors si la relation de causalité était vraie, ce n'est pas de 0,7 °C mais de 8 °C que la température de la troposphère aurait dû augmenter. Cela n'a pas été le cas.

en gaz carbonique.

Les géologues ont souvent reconstitué (figure 7), sur des périodes similaires, les variations de température et de concentration de l'atmosphère en gaz carbonique mais ne peuvent dégager une corrélation entre les deux observations. Leurs analyses, sans être en accord avec celle des glaciologues, permettent de penser que des teneurs très élevées, jusqu'à vingt fois le teneur actuelle, n'ont jamais correspondu avec une variation de température.

On remarque aussi qu'au Silurien des teneurs en gaz carbonique de la troposphère, dix fois supérieures à la teneur actuelle, ont été concomitantes avec la prolifération des premiers coraux. L'acidification supposée des océans n'a aucunement freiné cette prolifération.

Le climat varie, mais quel est donc le moteur principal ?

Le climat peut être étudié à différentes échelles de temps car les tendances climatiques s'expriment naturellement à différentes fréquences. Comme nous avons choisi de l'étudier à l'échelle de quelques dizaines de siècles, nous ne pouvons prendre en compte, par exemple, la théorie de la dérive des continents, ou même la théorie astronomique des climats dite de Milankovitch.

Nous montrerons que le Soleil, qui est notre principale source d'énergie, est également le moteur principal des variations climatiques à l'échelle de quelques siècles. Cette thèse correspond à la théorie solaire des climats.

Le Soleil est un corps gazeux composé de matière ionisée, un plasma. Il est structuré essentiellement en une zone radiative interne et une zone convective externe. Ces deux masses de plasma ne tournent pas à la même vitesse, ce qui engendre dans l'interface appelée tachocline de très fortes lignes de champ magnétique qui se regroupent en tubes magnétiques, puis débouchent périodiquement en surface sous forme de taches solaires. Le nombre de taches est un très bon indicateur du niveau d'activité magnétique du Soleil.

Lors d'une activité magnétique élevée, le Soleil émet abondamment des vents solaires et inversement lors d'une activité basse. L'activité du Soleil varie en fonction de la somme des cycles de base que l'on doit considérer comme des harmoniques de l'intensité magnétique solaire globale. Ce sont les cycles de :

- Schwabe : environ 11 ans ;
- Hale : environ 20/22 ans ;
- Gleissberg : environ 90 ans ;
- De Vries/Suess : environ 200 ans ;
- Hallstattzeit : environ 2 300 ans ;

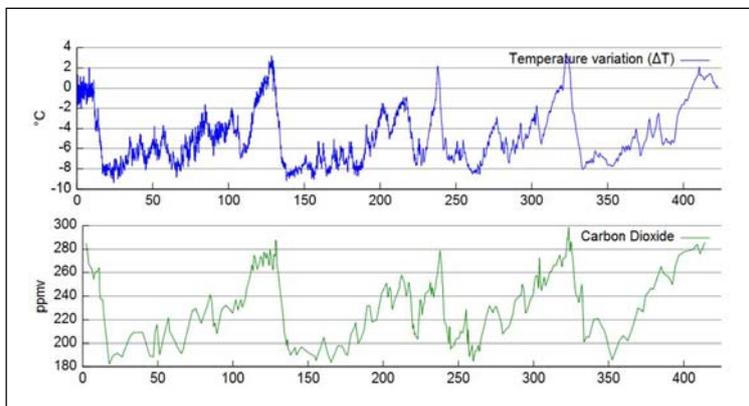


Figure 6. Variations pendant 400 000 ans de la teneur en gaz carbonique des bulles d'atmosphère piégées dans les glaces de l'Antarctique et variation de la température restituée par l'étude du rapport isotopique oxygène 16/oxygène 18.
(Source : European Project for Ice Coring in Antarctica [EPICA]).

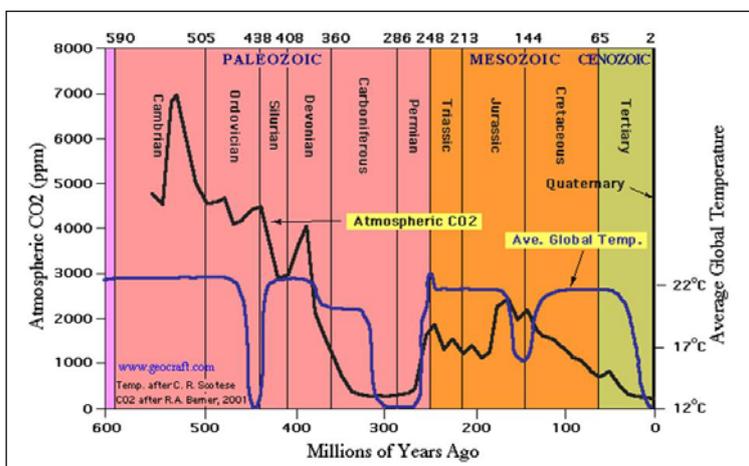


Figure 7. Reconstitution par les géologues des variations de température et de concentration de la troposphère

- et un cycle d'environ 11 300 ans.

Origine des variations cycliques de l'activité magnétique solaire

Si le Soleil était seul pour dispenser son énergie, aucun cycle magnétique ne rythmerait son activité. Les cycles magnétiques du Soleil, comme ceux des autres étoiles, sont provoqués par le déplacement de l'étoile par rapport au centre de gravité du système étoile et ses planètes. Les planètes décrivent différentes orbites elliptiques, leur vitesse varie sur leur orbite. Avec leur vitesse variable, leurs positions respectives, leur masse et leur distance à l'étoile, elles contribuent activement à la conservation du moment cinétique de l'ensemble du système stellaire. Ces variations obligent l'étoile à des mouvements complexes de type épicycloïde autour du centre de masse (ou l'inverse selon le choix du référentiel). Ces mouvements relatifs sont utilisés pour détecter les exoplanètes d'autres étoiles.

Dans le cas du Soleil, celui-ci se déplace à l'intérieur d'un carré de 2,2 diamètres solaires de côté (Charatova, 2000). Bien que le calcul des positions dans un système à *n* corps soit pratiquement impossible, des calculs approchés permettent de recréer ou de prévoir suffisamment les mouvements de l'étoile ou du centre de masse.

Ces calculs, réalisés par Charatova depuis les années 1200 jusqu'en 2135, permettent d'isoler des périodes de mouvement régulier et des périodes de mouvement irrégulier du Soleil autour du centre de masse. Les périodes de mouvement régulier correspondent à une activité magnétique plus forte et vice versa :

- les périodes régulières sont associées historiquement à des périodes climatiques plus chaudes ;
- les périodes irrégulières sont associées historiquement à des périodes climatiques plus froides.

Ces alternances se reproduisent selon le cycle d'environ 200 années de de Vries/Suess.

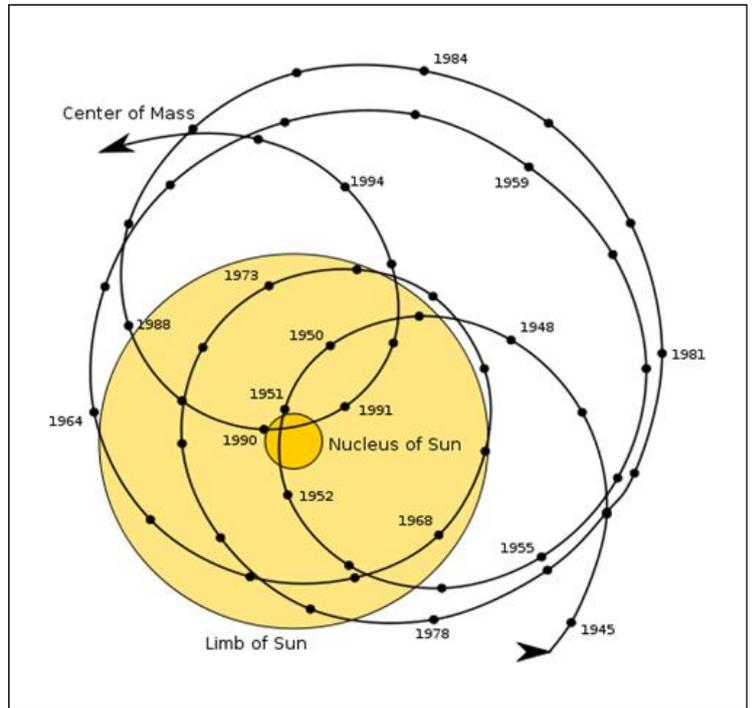
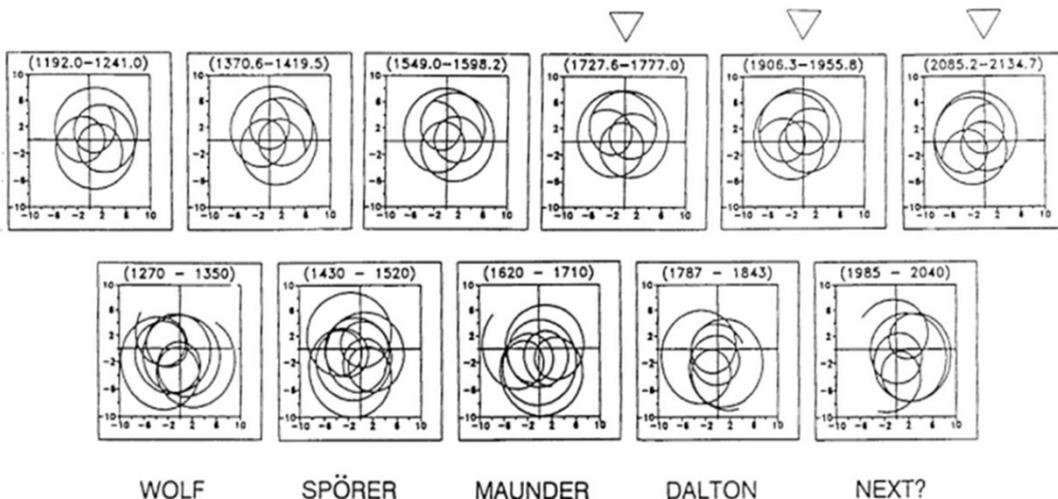


Figure 8. Exemple de calcul de la position du centre de masse par rapport au centre du Soleil.

Figure 9 (ci-dessous).
Mise en évidence des correspondances entre les types de mouvement du Soleil et les périodes climatiques.
En haut les périodes chaudes, en bas les périodes froides.
Mise en évidence du cycle de de Vries/Suess d'environ 200 années.
(Charatova, 2000).



La théorie solaire des climats

La réception par la Terre de la chaleur rayonnée par le Soleil est modulée par les changements d'albédo de la Terre. Les nuages contribuent fortement à la modulation de cet albédo.

Le chercheur Henrik Swensmark a montré que les rayons cosmiques, en raison de leur énergie très élevée, sont capables de créer davantage de noyaux de condensation indispensables à la formation des gouttelettes d'eau des nuages.

Démonstration de l'efficacité de la théorie solaire des climats

L'intensité du flux des rayons cosmiques mesuré sur Terre correspond bien aux phases climatiques des derniers siècles. Ces variations de flux peuvent être connues avec une bonne précision en utilisant le traceur cosmogénique qu'est le carbone 14 (figure 11). En effet, le carbone 14 ne préexiste pas sur Terre mais est formé par transmutation de l'azote 14 de l'atmosphère, sous l'effet des rayons cosmiques.

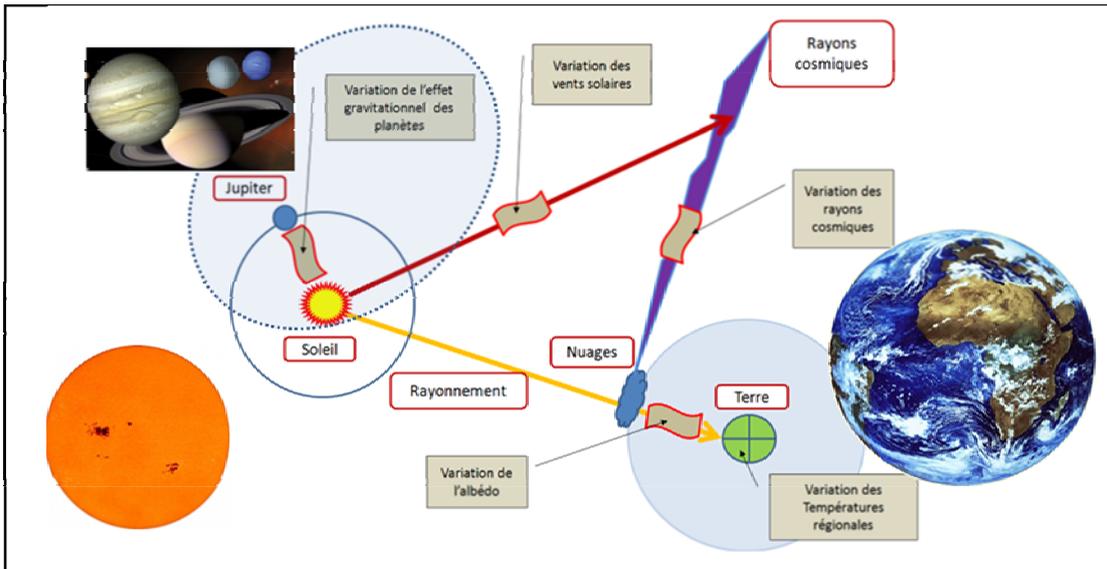


Figure 10. Schéma du principe de la théorie solaire des climats.

Lorsque le Soleil est en phase de forte activité magnétique, les vents solaires puissants renforcent le bouclier magnétique de la magnétosphère terrestre, ce qui réduit le flot de rayons cosmique et donc la densité des nuages avec, pour conséquence, un albédo plus faible et une chaleur reçue par la Terre plus grande. En phase d'activité magnétique réduite, c'est l'inverse, soit une tendance au refroidissement.

Les cycles solaires se retrouvent inscrits dans les phénomènes naturels tels, par exemple, les crues du Nil : les crues du Nil sont connues avec précision de 622 à 1470. Si l'on traite les données par l'analyse de la densité spectrale utilisant les transformées de Fourier, on met en évidence les principales harmoniques du signal brut qui sont précisément celles des cycles d'activité magnétique solaire (figure 12).

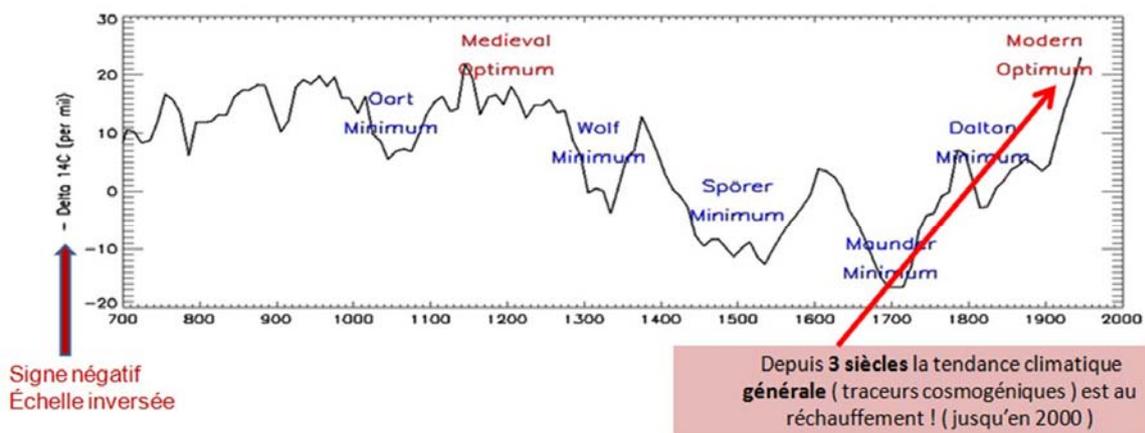
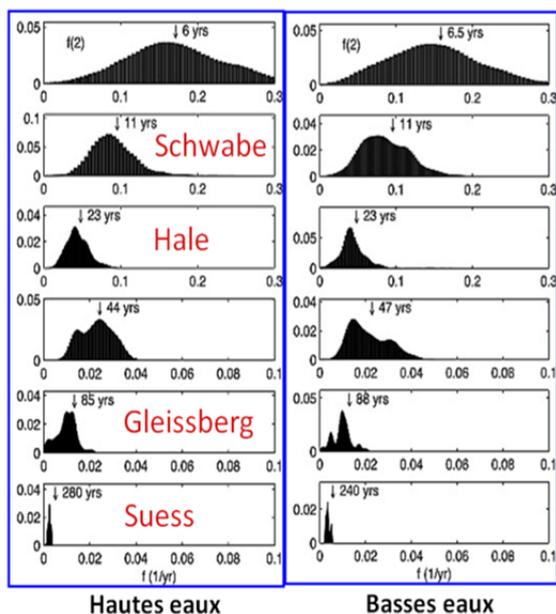


Figure 11. Variations du carbone 14, traceur cosmogénique de l'intensité des rayons cosmiques, et tendances climatiques.

Débit du Nil et cycles solaire de 622 à 1470



NASA Press Release: 19.03.2007
Ruzmaikin et al 2006 J. Geophys Res. 111: D21114

Figure 12. Détection des cycles solaires dans les données brutes des crues du Nil.

Comme nous l'avons vu à chaque cycle de de Vries/Suess, le Soleil entre dans une phase de faible activité magnétique. Cette faible activité est généralement accompagnée d'une prolongation au-delà de la durée moyenne de 11 années de la durée des cycles magnétiques. C'est ce qui vient de se produire avec la fin retardée à 13,3 années du dernier cycle 23 qui a été bien plus faible.

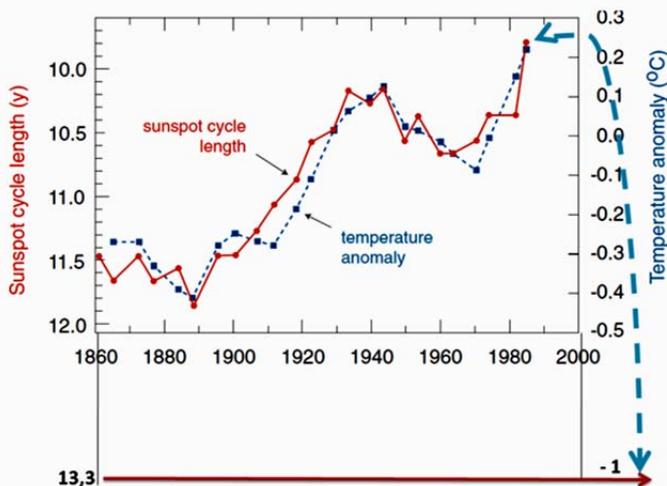


Figure 13. Il existe une relation constatée entre la durée du cycle solaire et les écarts de température moyenne sur Terre.

Un cycle long annonce une chute des températures. Le dernier cycle 23 de 13,3 années annonce une baisse des températures pouvant atteindre 1 °C dans la prochaine décennie.

(Source : Northern Hemisphere Friis-Christensen and Lassen, 1991).

Le cycle 24, qui a commencé en 2009, sera aussi encore plus faible comme son évolution en 2012 permet de le prévoir avec certitude. Ces évolutions constatées sont conformes aux conséquences de la dynamique solaire décrite et prédite par la théorie solaire des climats.

Conclusion

Les variations climatiques à l'échelle du siècle ou du millénaire sont très majoritairement induites par l'activité magnétique variable du Soleil soumis à l'effet dynamique de ses planètes. La théorie solaire des climats est une thèse qui permet de comprendre et prévoir les tendances centenaires des variations climatiques. Il est prévu pour le siècle en cours une baisse, déjà amorcée au début de ce siècle, de plus de 1 °Celsius des relevés globaux de la température moyenne de la Terre. ■

Les Lundis du Muséum

Informations pratiques

Les conférences débutent à 18 h, à l'Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution du Muséum, 36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris.

Entrée libre et gratuite dans la limite de 120 places disponibles. Accueil du public dès 17 h 30.

• Lundi 15 octobre 2012

Un chercheur, un livre.

À l'occasion du bicentenaire de la publication de l'ouvrage de Georges Cuvier : « Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes », publié en 1812, le Muséum rend hommage à ce grand scientifique en présentant au Cabinet d'Histoire les manuscrits et les dessins préparatoires de cette œuvre fondatrice de la paléontologie.

L'exposition témoigne par ailleurs de la vie et de l'intense activité scientifique de Cuvier au Muséum au travers notamment de ses archives et de ses publications.

Invité : **Philippe Taquet**, paléontologue, professeur émérite du Muséum national d'Histoire naturelle, vice-président de l'Académie des Sciences.

• Lundi 22 octobre 2012

Conférence exceptionnelle : *Cuvier, de l'anatomie comparée à la paléontologie.*

Par **Pascal Tassy**, paléontologue, professeur du Muséum national d'Histoire naturelle.