

Climat et impact anthropique

*Discussion sur le documentaire
« L'arnaque du réchauffement climatique »*

RAYONS COSMIQUES, NUAGES ET INTERACTIONS AVEC LE CLIMAT



M2R OAGHE
Francis GRANNEC
Maxime LITT

Introduction

En mars 2007, la chaîne de télévision britannique Channel 4 diffusa le film documentaire controversé « *The Great Global Warming Swindle* » (« *L'arnaque du réchauffement climatique* »), de Martin Durkin. Ce film conteste l'avis de la majorité des climatologues sur l'origine anthropique du réchauffement climatique.

Dans le celui-ci, afin de contredire la thèse anthropique du réchauffement, les réalisateurs avancent divers arguments, dont le suivant: « *Le climat est contrôlé par les nuages, qui sont contrôlés par les rayons cosmiques. Ces derniers sont contrôlés par le soleil.* ».

En effet, selon eux, la formation des nuages résulterait de l'interaction de rayons cosmiques avec les molécules d'eau en suspension dans l'air. Lorsque ceux-ci interagissent, il y aurait formation de gouttelettes. Ces gouttelettes serviraient alors de base à la formation de nuages. Donc, plus il y aurait de rayons cosmiques atteignant l'atmosphère saturée en eau, plus il y aurait de nuages formés.

Les auteurs affirment ensuite que lorsque l'activité du soleil augmente, moins de rayons cosmiques atteignent la Terre, et que, par conséquent, la couverture nuageuse diminue. Comme les nuages constituent un écran puissant contre les rayons du soleil, et comme leur nombre diminue, la Terre se réchauffe. Ainsi, lorsque l'activité du soleil est plus intense, la Terre subit un réchauffement induit par la disparition des nuages.

Cet argument est ensuite couplé avec l'affirmation suivante: « *L'intensité du champ magnétique solaire a doublé lors du 20^{ième} siècle* ». Les auteurs peuvent ensuite conclure que le réchauffement est dû à la diminution de la quantité de nuages sous l'influence de l'activité solaire, via la diminution du rayonnement cosmique.

L'argument fait appel à des notions propres à différents domaines de la physique et à des acteurs d'origines très variées. Nous allons dans un premier temps décrire ces différents éléments et mécanismes entrant en jeu dans ce problème. Par la suite, nous détaillerons la thèse soutenue par les réalisateurs de ce documentaire, puis nous discuterons de la non-validité de ces arguments.

I. Identification du problème scientifique

Rayons cosmiques

Les rayons cosmiques sont des particules diverses à haute énergie, provenant de l'Univers extérieur au Système Solaire. Parmi ceux-ci, on trouve essentiellement (partie chargée) des protons, des noyaux d'hélium, des électrons, des noyaux d'atomes, des positrons e^+ et des antiprotons p^- (antimatière), et (partie neutre) des rayons gamma (photons d'énergie supérieure à 10^5 eV) ainsi que des neutrinos (particules légères présentant une faible affinité avec la matière).[1]

Leur origine est aujourd'hui mal connue, mais on pense qu'elle se trouve dans le rayonnement issu des supernovae (explosions d'étoiles massives). Les plus énergétiques d'entre elles proviendraient de sursaut gamma, quasars et autres phénomènes violents de notre univers.

Lorsque ces particules arrivent au sommet de l'atmosphère, elles subissent toutes sortes de désintégrations. Le proton par exemple, peut se désintégrer en deux particules secondaires (π^+ et π^-) qui à leur tour donnent des muons, qui interagissent à nouveau. Ce genre de phénomène en cascade conduit à la création de ce que l'on appelle des « gerbes » de particules (10^6 particules mesurées pour un proton entrant). Toutes ces particules ont pour faculté d'ioniser l'atmosphère.

Les rayons gamma eux, peuvent ioniser les particules atmosphériques qu'elles rencontrent, ou se transformer en une paire $e^+ e^-$ qui vont à leur tour ioniser l'atmosphère. Le long de leur descente dans l'atmosphère, ces particules primaires et secondaires perdent une quantité significative d'énergie. En conséquence, le flux de rayons cosmiques mesuré en haute atmosphère est bien plus important que celui mesuré au sol.

Il n'est pas nécessaire ici de rentrer dans les détails approfondis de ces réactions, mais simplement de constater que le flux de rayons cosmiques favorise l'ionisation de l'atmosphère. La mesure de ce flux se fait généralement par la mesure du taux de neutrons qui apparaissent dans des réactions de désintégration des rayons cosmiques.

Plusieurs causes peuvent entrer en jeu pour influencer le flux de rayons cosmiques à la surface de la Terre :

- Des variations dues au déplacement du système solaire à travers la galaxie, traversant donc des zones plus ou moins denses d'étoiles, et/ou passant à proximité de supernovae. Ces variations se font sur une échelle de temps géologique.
- Des variations dues aux changements dans l'intensité du champ magnétique terrestre. Ces variations se font sur une échelle de temps variant du millénaire au siècle.
- Des variations de la structure de l'héliosphère (voir plus loin) dues aux changements de l'activité du Soleil. Ces variations se font sur une échelle de temps de 11 ans.
- Des variations sur des échelles de l'ordre du jour lors d'orages magnétiques, dues à des éruptions solaires. [2]

L'activité solaire

Notre étoile-hôte joue un rôle essentiel pour la vie sur Terre. Toutes ses différentes caractéristiques ont des impacts à la surface de notre planète. Nous ne parlerons pas ici du flux de radiations électromagnétiques mieux connu sous le nom de constante solaire:

En effet, en plus de cela le Soleil génère [1][3] :

- Un champ magnétique puissant autour de lui même (créé par des mouvements de particules ionisées à sa surface, et des mouvements complexes dans le noyau)
- Un vent solaire, composé de particules chargées énergétiques (il perd 10^9 kg de particules par seconde). Il est responsable de la création de l'héliosphère, sorte de sphère magnétisée de plasma chaud autour du Soleil, influencée par le champ magnétique solaire et celui des planètes. La frontière de l'héliosphère, nommée heliopause, se forme au point de rencontre des particules chargées et du gaz interstellaire. Le vent solaire interagit également fortement avec le champ magnétique terrestre (magnétosphère).
- Des éruptions solaires : lors de celles-ci, son champ magnétique est le siège de puissantes perturbations, et le vent solaire fortement amplifié.

D'autre part, le soleil est le siège d'une importante variabilité sur un cycle de 11 ans, caractérisé notamment par l'apparition de tâches à sa surface (appelées tâches solaires). Lors des maximums d'activité, le nombre de tâches est maximum, le champ magnétique est plus intense, le vent solaire plus puissant et les éruptions plus fréquentes. Ce cycle de 11 ans ne correspond en fait qu'à la moitié d'un cycle réel, de 22 ans. En 11 ans, le soleil est le siège d'une inversion de la polarité de son champ magnétique. Les choses reviennent à la normale tous les 22 ans.

Champs magnétiques et ceintures de radiation

La Terre possède elle même un champ magnétique, généré au sein du noyau. Ce champ magnétique forme ce que l'on appelle la magnétosphère. Il est perpendiculaire à la surface de la Terre au niveau des pôles, et parallèle au niveau de l'équateur. Les particules ionisées à grande vitesse provenant du vent solaire interagissent avec ce champ magnétique. On peut, dans le cadre de cette discussion, distinguer deux effets [3]:

Le premier effet agit comme une déformation, les lignes du champ côté Soleil se rapprochent de la Terre. On assiste à une « compaction » du champ du côté exposé au soleil. De l'autre côté, les lignes de champs s'étendent en un grand cône vers l'espace.

Le second effet consiste en l'accumulation d'une fraction des particules chargées, qui sont piégées sous l'action de la force de Lorentz¹. Celles-ci s'accumulent alors pour former ce que l'on appelle les ceintures de radiation. Etant formées de particules ionisées, créant leur propre champ, celles-ci ont une forte influence sur celui de la Terre.

¹ Une particule chargée se déplaçant dans un champ magnétique subit une force d'origine électromagnétique dite de Lorentz. Si q est la charge de la particule, v sa vitesse et B l'intensité du champ magnétique on obtient une force $F = qv \wedge B$. Celle-ci est donc perpendiculaire aux lignes de champ, et la particule « s'enroule » autour d'elles.

Interactions activité solaire - flux de rayons cosmiques sur terre

La quantité de rayons cosmiques atteignant la surface de notre planète est fortement influencée par l'état d'activité du soleil ($t=11$ ans pour le cycle et $t = 1$ ou 2 jours pour les éruptions) et le géomagnétisme (variations séculaires à millénaires). Les mesures ont montré une forte corrélation inverse entre activité solaire et flux de rayons cosmiques à la surface de la Terre.

Cet effet est si remarquable que les mesures de radioisotopes comme le carbone 14, influencés par les rayons cosmiques, sont communément utilisés aujourd'hui comme traceurs des variations de l'activité solaire. Le graphe suivant montre la variation du flux de rayons cosmiques en fonction du nombre de tâches solaires observées.

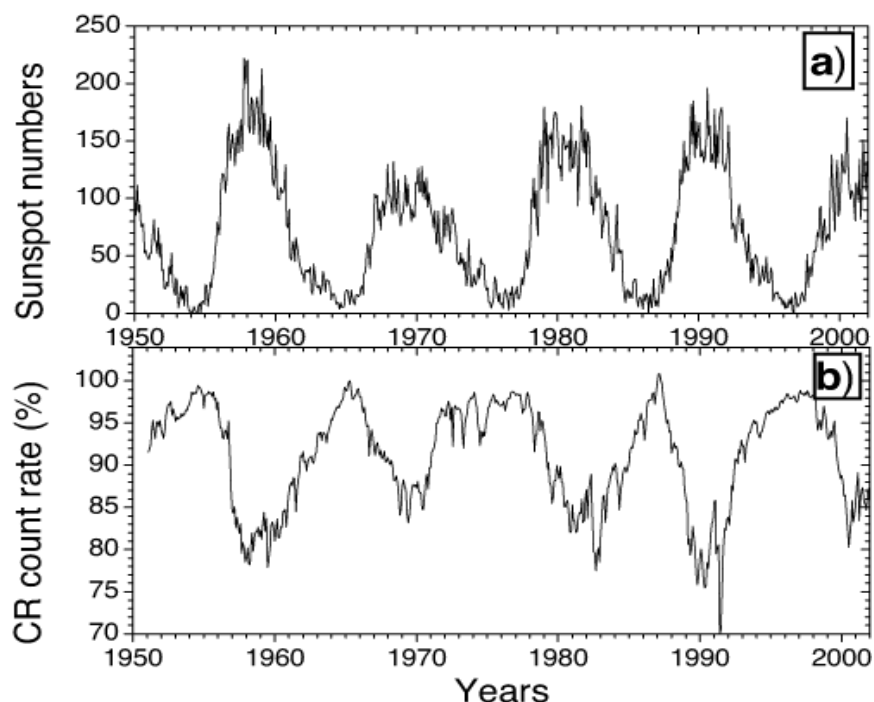


Fig.1 : Observations du nombre de tâches solaires et variations du flux de rayons cosmiques depuis 1950 [4]

Les courbes montrent une variation sur une période de 11 ans, avec un effet modulé « d'aplatissement » sur 22 ans (effet de polarisation du champ solaire). Les variations plus courtes sont dues à des orages magnétiques. Ils sont le résultat d'éruptions solaires. Comme l'a montré Forbush [2], lors d'un tel évènement, le flux de rayons cosmiques incidents à la surface de la Terre est inférieur à la moyenne.

Même si les mécanismes exacts des processus sont difficiles à saisir, on les relie généralement à des changements dans la structure de l'héliosphère à cause de l'augmentation du nombre de particules chargées qu'elle contient et de l'intensité du champ magnétique solaire. Les rayons cosmiques chargés sont déviés, diffusés et perdent de l'énergie en traversant cette héliosphère renforcée. [5]

A la surface de la Terre, on mesure un flux de particules plus intense aux pôles qu'à l'équateur, cela dû à un effet de bouclier du champ magnétique terrestre: En effet, nous l'avons vu, celui ci est parallèle à la surface de la terre à l'équateur, mais pénètre perpendiculairement dans l'atmosphère aux pôles.

Formation des nuages

Nous le savons, un nuage est composé de gouttelettes d'eau flottant dans l'air, ou de cristaux de glace si la température de l'air est suffisamment basse.

Un nuage se forme lorsque l'air humide se refroidit jusqu'à atteindre une température critique : la vapeur d'eau condense alors sur de toutes petites particules et forme ainsi des nuages. La condensation de la vapeur d'eau nécessite la présence d'aérosols, utilisés comme «noyaux de condensation» (CCN: Cloud Condensation Nuclei).

Ce phénomène intervient dans plusieurs cas :

- Suite au réchauffement de la surface terrestre sous l'effet du rayonnement solaire, l'air contenant de la vapeur d'eau se réchauffe au niveau du sol, commence à s'élever et à se refroidir (convection).
- L'air chaud et humide est soulevé par le relief et finit par rencontrer de l'air beaucoup plus froid; il y a alors formation de nuages, donnant de très fortes précipitations sur le versant exposé à l'air chaud et humide.
- Lorsqu'une masse d'air chaud rencontre une masse d'air froid, donc plus lourd, l'air chaud est obligé de monter. La frontière entre l'air chaud et l'air froid est appelée "front". Quand l'air chaud monte en altitude, il se refroidit: des nuages peuvent alors se former.

Cependant, certains paramètres de ces processus de formation des nuages restent méconnus. De nombreux processus microphysiques influent sur les particules nuageuses et les aérosols et peuvent modifier les propriétés des nuages. Un de ces paramètres est l'influence des rayons cosmiques sur la microphysique des nuages. Par exemple, il semblerait que l'état d'ionisation de l'atmosphère puisse jouer un rôle non négligeable dans les processus de nucléation et de condensation.

Influence des nuages sur le climat

L'albédo de la Terre, soit le rapport de la quantité de lumière réfléchiée par celle-ci sur la quantité de lumière qu'elle reçoit, est très différent en fonction de la présence ou de l'absence de nuages.

En effet, ceux-ci possèdent un fort albédo et réfléchissent donc davantage de lumière vers l'espace que le ciel sans nuages. L'albédo des nuages est variable et dépend entre autres de leur taille et de leur épaisseur, ainsi que de la taille et du nombre de gouttelettes qu'il contient.

	Albédo terrestre moyen	Albédo (0-1)
Surface terrestre	Forêt	0,05 - 0,1
	Océans	0,08
	Neige ancienne	0,5 - 0,6
Nuages	Cirrus	0,2 – 0,4
	Stratus	0,4 – 0,65
	Cumulus	0,75
	Cumulonimbus	0,9

Tab.1 : Valeurs d'albédo

Grâce à leur albédo élevé, les nuages ont donc une influence majeure sur la température et le climat terrestre. Cependant, les différents types de nuages n'ont pas le même impact : ce sont principalement les nuages de basse altitude (comme les cumulus) qui ont un effet rafraîchissant sur la température terrestre, car ceux-ci ont un albédo plus grand. Leur température étant plus élevée, ils émettent plus de rayonnement thermique dans l'infrarouge, contrairement aux nuages de haute altitude (comme les cirrus). En effet, une variation absolue de 1,7% de la couverture nuageuse de basse altitude entraînerait une variation de 1 W/m² du forçage radiatif des nuages (alors qu'on estime à 1,4 W/m² celui des émissions anthropiques de CO₂) [7]. L'épaisseur optique d'un nuage influence aussi son albédo : plus il est épais, plus il est opaque, plus le nuage participe au rafraîchissement terrestre.

Il est donc évident que l'impact des nuages sur le climat n'est pas négligeable.

Interactions flux de rayons cosmiques - formation des nuages

Les rayons cosmiques hautement énergétiques qui pénètrent dans notre atmosphère et les gerbes de particules secondaires qu'ils génèrent perdent leur énergie en ionisant les gaz qu'ils rencontrent, laissant ainsi une trace de molécules chargées dans leur sillage.

D'autre part, nous savons que les aérosols présents dans l'atmosphère servent à initier le processus de condensation de la vapeur d'eau sursaturée (si ils ont la bonne taille), provoquant la formation de gouttelettes, donc de nuages. Plus il y a d'aérosols dans l'atmosphère, plus la formation de nouveaux nuages est favorisée.

Une hypothèse affirme que ces aérosols sont des centres de recombinaison des ions atmosphériques. Les ions ainsi formés par les rayons cosmiques s'accumulent autour des aérosols. Par la suite, ces aérosols « chargés » constitueraient des noyaux de condensation plus actifs, et entraîneraient une nucléation plus importante et donc la création de plus nombreux nuages [6]. D'autres affirment que la formation de nouveaux aérosols serait favorisée dans un environnement ionisé. [7]

Cependant, une explication microphysique précise entre la couverture nuageuse et l'intensité des rayons cosmiques est toujours manquante. Les études menées sur l'action des rayons cosmiques sur la formation des nuages sont sujet à une importante controverse.

Il semblerait [8] que les rayons cosmiques aient effectivement un impact sur la création de nouvelles particules d'aérosols ultrafines, mais cela avec une faible efficacité. Une étude a également montré que les variations de couverture nuageuse ne pouvaient pas être entièrement attribuées aux variations du flux de rayons cosmiques (contribution maximum de 23%) [9].

II. Thèse

En ce qui concerne le lien physique entre rayons cosmiques et nuages, l'argument apporté par les réalisateurs du documentaire est une vulgarisation provenant essentiellement d'un article de Henrik Svensmark et Eigil Friis-Christensen, du Danish Meteorological Institute de Copenhague: « *Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships* » [6], mais aussi de « *Solar influence on earth's climate* » de N.Marsh et H.Svensmark [10], ainsi que de l'article « *Celestial driver of Phanerozoic climate?* » de N.Shaviv et J.Veizer [11].

Dans le premier article, les auteurs essayent de démontrer qu'il existe une corrélation entre le flux incident de rayons cosmiques à la surface de la Terre et la couverture nuageuse totale. Afin d'obtenir une allure pour les variations d'intensité des rayons cosmiques, les auteurs utilisent des données provenant de détecteurs de neutrons situés au sol (Canada, Pérou, Russie).

Puis, pour pouvoir réaliser des courbes de variation de la couverture nuageuse, ils utilisent des données provenant de différentes sources :

- L'International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP [12])
- ISCCP-C2: des données couvrant 1983 à 1990
- ISCCP-D2 : des données couvrant 1990 à 1992
(auxquelles ont été retirées les données provenant des continents, car l'interprétation du signal en tant que couverture nuageuse y est plus difficile)
- Les données de NIMBUS-7 CMATRIX : données couvrant de Avril 1979 à Mars 1985.
- Le Defense Satellite Meteorological Program (DMSP) Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) : données couvrant de Juillet 1987 à Novembre 1995 avec des « trous » en décembre 1987, et de juillet 1990 à Décembre 1991. Ce satellite ne procure des informations que sur les surfaces océaniques. Les données des deux dernières campagnes ont été restreintes à l'hémisphère sud pour des raisons de résolutions spatiale et temporelle (pouvoir isoler les structures nuageuse suffisamment larges).

Voici les résultats obtenus : sur les deux graphes suivants, la ligne représente les mesures de rayons cosmiques à Climax (station du Colorado) et les points, la couverture nuageuse (le premier graphe représente les données brutes et le deuxième les mêmes données moyennées par un filtre de 12 mois).

Les auteurs observent de cette manière une forte corrélation entre les variations de couverture nuageuse qu'ils ont mesurées et les variations du flux de rayons cosmiques arrivant sur Terre.

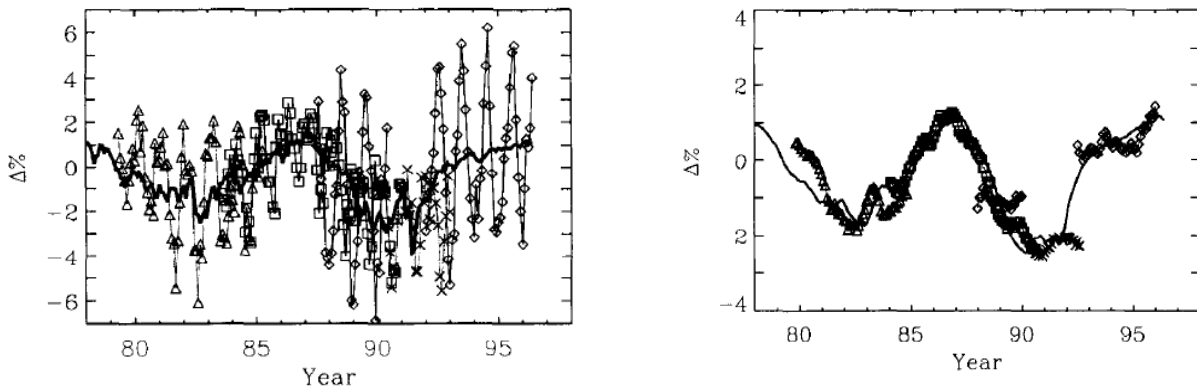


Fig.2 et Fig.3. Variations de la couverture nuageuse (rond, triangles) et variation du rayonnement cosmique (trait fin) [6]

En conclusion de ce premier article, H.Svensmark et E.F.Christensen avancent que les variations du flux de rayons cosmiques induits par l'activité du soleil ont un impact non négligeable sur la couverture nuageuse, et affirment simplement que, si la couverture nuageuse est plus importante, la Terre se refroidit. Les auteurs affirment qu'une diminution de 2% de l'activité solaire équivaudrait à une augmentation de 8% de la couverture nuageuse. Et, selon eux, une variation de quelques pourcents dans la couverture nuageuse, dûe à des variations dans la longueur et/ou l'amplitude des cycles solaires, pourrait suffire à expliquer un forçage radiatif du même ordre de grandeur que celui calculé pour les émissions de CO₂ anthropiques. Cependant, Svensmark et Friis-Christensen restent prudents : ils soulignent que le lien microphysique entre l'ionisation de l'air et la formation des nuages n'est toujours pas clairement établi. De plus, il ne font intervenir aucune affirmation concernant une tendance à long terme du flux de rayons cosmiques, ils soulèvent uniquement la question de la corrélation.

Plus tard, en 2003, H.Svensmark publie avec N.MARSH un article dans lequel ils reviennent sur les valeurs parues dans le précédent papier, et présentent de nouvelles mesures de la couverture nuageuse (ISCCP à nouveau). Cependant ces mesures et le flux de rayons cosmiques divergent à partir de 1994 (bleu). Les scientifiques corrigent cette différence en utilisant des données d'autres sources (SSM/I). Ainsi, comme on peut l'observer sur la graphe suivant, la nouvelle courbe obtenue (verte) coïncide mieux avec le rayonnement cosmique (rouge).

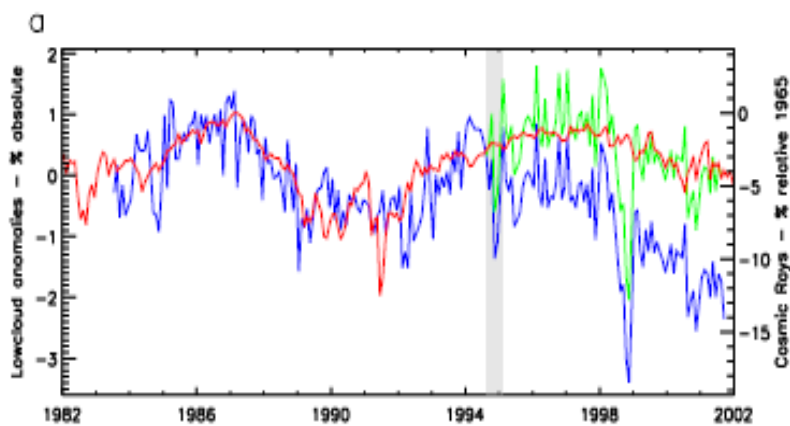


Fig.4 : Variation de la couverture nuageuse et du rayonnement cosmique [10]

Dans le documentaire, les auteurs citent le travail de Veizer et Shaviv paru en 2003 [11]. Ceux ci ont reconstruit le flux de rayonnement cosmique durant les 500 derniers millions d'années, à l'aide d'échantillons de météorites ferrugineuses. A partir de ces mesures, ils s'allouent une marge d'erreur, dans laquelle ils font varier des modélisations du flux de rayons cosmiques, qui varie selon les passages du soleil dans les bras spiraux de la galaxie (flux plus intense dans les bras spiraux). Ils peuvent alors déplacer les observations des météorites dans la marge d'erreur. De cette manière les variations de rayons cosmiques concordent avec les enregistrements de température géologiques. Les auteurs utilisent un modèle de forçage radiatif pour recalculer la température à partir du flux de rayons cosmiques et de la pression de CO₂. Ils trouvent ainsi des variations de températures dues aux rayons cosmiques proches des mesures géologiques (Figure 5). Cette étude apporte un argument qui vient renforcer l'hypothèse d'une corrélation forte entre température et rayons cosmiques, portant ici sur le très long terme.

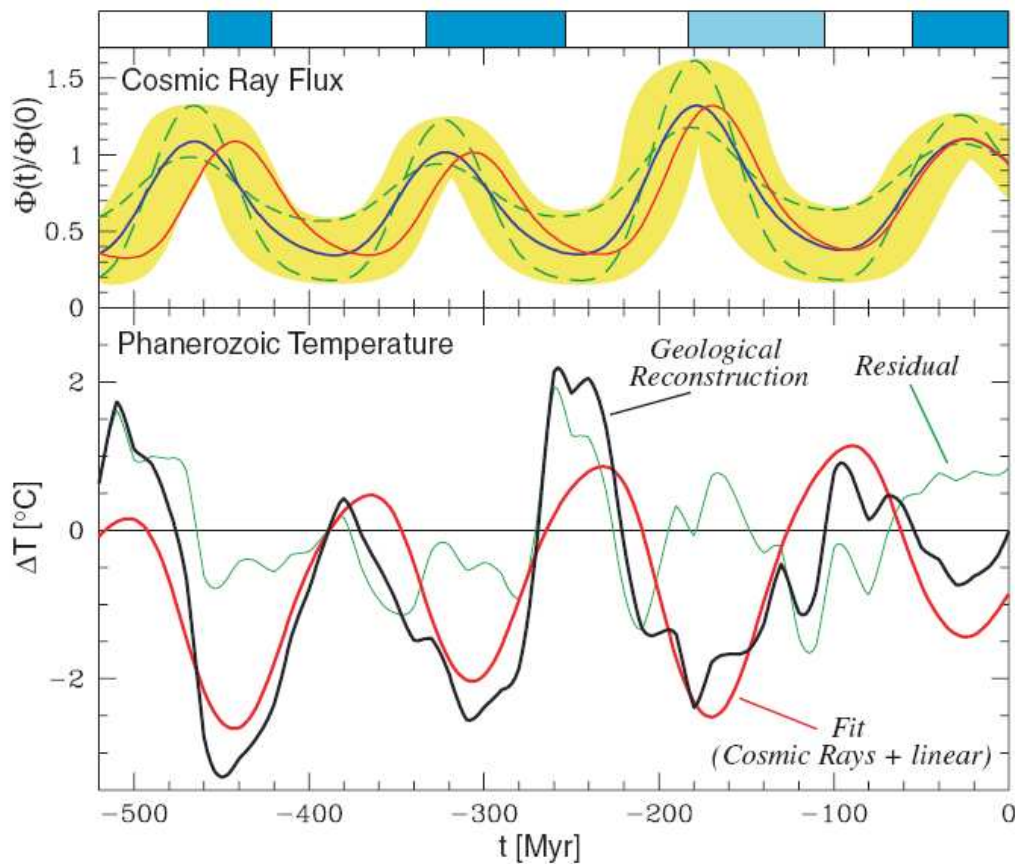


Fig 5: Mesures du flux de rayons cosmiques (bleu à partir des météorites) et marge d'erreur en jaune. Les données des modèles galactiques sont en vert. La courbe rouge est la courbe « déplacée » permettant la correspondance avec les températures. La courbe rouge de température indique les variations attendues dues au forçage des rayons cosmiques. [11]

Dans « *l'arnaque du réchauffement climatique* », pour pouvoir utiliser l'argument des rayons cosmiques comme possibilité d'un réchauffement non anthropique, les auteurs utilisent l'affirmation selon laquelle l'activité solaire moyenne aurait augmenté ces dernières années. Notamment, un scientifique affirme que l'intensité du champ magnétique solaire aurait doublé durant les 50 dernières années.

En conclusion, l'activité solaire augmentant, le flux de rayons cosmiques diminue, il y a donc moins de nuages et c'est cet effet qui fait que la Terre, actuellement, se réchauffe. Cette corrélation semblerait exister depuis des millions d'années.

III. Antithèse

Svensmark, Friis-Christensen et N.Marsh concluent leurs articles sur la corrélation entre la couverture nuageuse et les variations du flux de rayonnement cosmique. Cependant, un telle relation peut être établie si et seulement si : premièrement, la corrélation entre les différentes observations est valable, deuxièmement si le phénomène repose sur une explication physique, et enfin, troisièmement, si toutes les autres explications possibles peuvent être écartées.

Le raisonnement de ces chercheurs repose sur une simple corrélation. Il est communément admis cependant que la présence d'une corrélation ne démontre pas la présence d'un lien physique direct. Et à supposer que cette corrélation soit effectivement le résultat d'un lien physique réel, il reste à démontrer que le flux de rayons cosmiques a réellement diminué au cours de ces dernières années.

Observations de la couverture nuageuse

Il faut tout d'abord savoir que toutes les observations de la couverture nuageuse utilisées par Svensmark et Friis-Christensen proviennent de satellites différents, avec des couvertures de la surface terrestre différentes, des algorithmes de traitement différents, et une instrumentation différente. En effet, elles ne couvrent en moyenne que 44% de la surface terrestre (les satellites ne couvrant souvent que les océans d'un seul hémisphère, ou excluant certaines latitudes). Toujours est-il que les auteurs présentent les résultats obtenus sur une unique et même courbe, et ne se cachent pas d'avoir omis de grandes parts de la surface terrestre. Le graphique ne comporte aucune représentation de l'erreur induite (qui serait sans doute plus grande que les taux de variation observés!).

Nous pouvons aussi noter que les observations de la couverture nuageuse ne prennent pas en compte l'épaisseur optique des nuages qui, comme on l'a vu précédemment, influence leur albédo et donc l'effet sur la température terrestre. Des régions favorables au développement de nuages opaques, identifiées par Wang et al. [14] comme se trouvant autour de l'équateur, et aux alentours de 60°N et 60°S, sont mal couvertes par les observations de Svensmark et Friis-Christensen.

De plus, des observations de la couverture nuageuse dans des régions limitées (comme c'est le cas) ne sont pas représentatives d'un comportement global. On comprend bien qu'un nuage se déplaçant d'une région à une autre ne disparaît pas... Les observations rapportées par Svensmark et Friis-Christensen ne peuvent donc d'aucune manière être interprétées comme un état de la couverture nuageuse globale. Ainsi, la corrélation présentée n'est plus valable.

Dans l'article de N.Marsh et H.Svensmark, la couverture nuageuse a été recalibrée pour correspondre aux données de rayons cosmiques. Cependant, il apparaîtrait que ce genre de correction (à partir d'une tendance linéaire) ne soit pas applicable aux données de l'ISCCP. En effet, celles peuvent introduire un décalage, mais pas de tendance. De plus, les données du SSMI utilisées pour recalibrer concernent des nuages hauts, alors que la correction est appliquée sur des nuages bas.

Microphysique des nuages

On remarque premièrement que les auteurs eux-mêmes notent l'absence d'une véritable explication microphysique claire du lien entre le flux de rayonnement cosmique et la couverture nuageuse. De plus, Ney (1959) [15] affirma que toute influence du taux d'ionisation dû aux rayons cosmiques sur le climat ne serait que pure spéculation. Plus tard, Mohnen (1990) [16] confirma que la nucléation ionique n'est pas un processus efficace dans la formation de nouveaux aérosols stratosphériques. Celle-ci est négligeable face à la formation d'aérosols d'origine volcanique ou météoritique. Ainsi, il semblerait que les rayons cosmiques n'ont pas d'impact significatif sur la population d'aérosols conduisant à la formation de nuages.

Ney (1959) démontra, et nous l'avons vu plus haut, que le taux d'ionisation provoqué par les rayons cosmiques augmente avec l'altitude : la variation du nombre de nuages est donc censée augmenter de la même manière. Cependant nous savons que les nuages responsables du refroidissement terrestre sont les nuages de basse altitude, et qu'un éventuel effet des rayons cosmiques augmenterait plutôt la couverture nuageuse de haute altitude, ce qui n'aurait aucun effet voire aurait tendance à produire l'effet inverse, soit un réchauffement.

Comme nous l'avons vu précédemment, le phénomène liant l'apparition de nouveaux aérosols à l'ionisation des rayons cosmiques [yu] n'a qu'une faible efficacité, et les variations de couverture nuageuse ne peuvent pas être entièrement attribuées aux variations du flux de rayons cosmiques (contribution maximum de 23%) [9].

De plus, il n'y a pas que l'ionisation qui intervient dans la formation de nouveaux aérosols ou encore la condensation sur ceux-ci. En effet, le taux de différents éléments chimiques dans l'air, l'humidité relative, la salinité, la température sont autant de facteurs qui influencent fortement ces phénomènes.

L'ajout d'aérosols dans un nuage (qui pourrait être dû à une plus forte ionisation) à des effets radiatifs complexes, par la formation de plus de gouttelettes, une augmentation du temps de vie du nuage et de son altitude, qui impliquent des forçages positifs tout comme des forçages négatifs. L'évaluation de ces derniers est peu aisée. Il est donc difficile de déduire un effet radiatif négatif de l'impact des rayons cosmiques.

Autres phénomènes

Différentes études ont démontré que les variations de la couverture nuageuse pouvaient être affectées par d'autres phénomènes climatiques, en particulier ENSO (El Niño Southern Oscillation).

Une autre cause possible des variations de la couverture nuageuse observée par Svensmark et Friis-Christensen pourrait être les éruptions volcaniques. Ces dernières rejettent dans l'atmosphère de grandes quantités d'aérosols persistant durant plusieurs années (aérosols sulfate SO₂ principalement). Ces aérosols, en plus de leur impact radiatif direct, peuvent avoir une incidence sur le climat via une modification des propriétés optiques des nuages ainsi qu'en favorisant la nucléation de gouttelettes dans les nuages.

Ainsi, les observations faites par Svensmark et Friis-Christensen peuvent être interprétées à l'aide d'autres phénomènes comme El Niño et/ou les éruptions volcaniques. On peut observer, par exemple, sur les Figures 2 et 3 une coïncidence entre le début des fortes augmentations de la couverture nuageuse et l'éruption du Mont Pinatubo (Juin 1991) et celle de El Chichón (Avril 1982). De plus, les oscillations observées de la couverture nuageuse sont en phase avec ENSO durant ces périodes.

Tout comme une hypothétique influence des rayons cosmiques ionisants sur les nuages, il n'existe pas de preuves directes que les variations de la couverture nuageuse est causée par ENSO ou les éruptions volcaniques. Cependant, des mécanismes physiques sont bien connus et peuvent expliquer de telles variations, sans recourir à des phénomènes microphysiques moins connus impliquant l'ionisation de l'atmosphère dans la formation des nuages.

Observations des rayons cosmiques

Veizer et Shaviv utilisent une méthode peu orthodoxe pour traiter leurs données. Premièrement, ils déplacent leur courbe d'observation de rayons cosmiques arbitrairement dans la marge d'erreur qu'ils se sont allouée. Les modèles de diffusion galactique qu'ils utilisent pour justifier cette marge d'erreur ne prennent pas en compte la plupart des données astrophysiques récentes.

Prétendre que le soleil traverse les bras spiraux de la galaxie selon cette fréquence ne pourrait être que spéculation. La dynamique de cette dernière est en effet mal connue. Les connaissances actuelles montrent que le soleil aurait peut-être tendance à « sortir » des bras spiraux, car à la position où il se trouve, il posséderait la même vitesse de rotation que ceux-ci. En conséquence, le flux de rayons cosmiques devrait être constant. Nous ne savons pas de quelle manière les auteurs ont obtenu leur courbe de rayons cosmiques, mais celle-ci colle mal avec les dernières avancées en la matière.[17]

Les mesures faites par Svensmark et Friis-Christensen ne concernent qu'un seul cycle solaire de 22 ans. Elles ne dégagent donc une corrélation que sur un cycle, absolument pas confirmée par d'autres observations. Dans le film, un scientifique prétend que le champ magnétique solaire a doublé d'intensité en 50 ans. Cette affirmation semble bien véridique, cependant l'observation des cycles solaires via le comptage des tâches ne montre aucune tendance claire ces dernières décennies (voir figure 1). Qui plus est, les mesures de rayons cosmiques de ces 50 dernières années ne montrent strictement aucune tendance nette.

Conclusion

Le documentaire « The Great Global Warming Swindle » tente d'affirmer que la thèse du réchauffement climatique d'origine anthropique est une supercherie des temps modernes. Un des arguments scientifiques avancés dans ce sens est l'influence de l'activité solaire sur les rayons cosmiques et sur la formation des nuages, ces derniers ayant un impact important sur la température terrestre.

Les réalisateurs du documentaire se sont principalement basés sur les recherches de différents scientifiques. En 1996, Svensmark et Friis-Christensen ont observé une corrélation importante entre la couverture nuageuse terrestre et le flux de rayonnement cosmique pénétrant l'atmosphère, puis ont publié d'autres observations. Shaviv et Veizer ont eux publié des résultats montrant l'anti corrélation du flux de rayons cosmiques et de la température durant les 500 derniers millions d'années. Le documentaire tente de vulgariser et d'interpréter leurs résultats.

Cependant, ces résultats ne sont pas fiables. En effet, beaucoup d'autres scientifiques ont réagi à leur publication pour démontrer les erreurs dans leur analyse. Tout d'abord, les observations de la couverture nuageuse ne sont pas du tout représentatives d'un comportement global et les corrections apportées ne sont pas valides. Les modèles utilisés par Shaviv et Veizer ne tiennent pas compte des résultats scientifiques actuels.

D'autre part, il existe d'autres phénomènes, beaucoup mieux connus que l'ionisation des rayons cosmiques, pouvant expliquer les observations. Les rapports de l'IPCC écartent également ces hypothèses selon les mêmes arguments.

De plus, le raisonnement ici est simpliste: en effet, il est trop souvent admis que lorsqu'une corrélation entre deux phénomènes est établie, c'est que ceux-ci sont physiquement liés... Cela ne peut en aucun cas être généralisé.

Il est possible, et sans doute très intéressant d'étudier s'il y a un impact des rayons cosmiques sur la formation des nuages. Cependant, si celui-ci existe, il reste faible. Il reste important de quantifier et de comprendre ce phénomène physique. Mais il ne faut en aucun cas présenter cet argument comme étant la cause principale du réchauffement global.

D'une manière générale, durant tout le documentaire, on remarque la faiblesse de l'argumentation scientifique et la manipulation des données présentées. Ce film n'a eu pour but que de créer la polémique autour d'un sujet quasiment admis par tous et essayer de remettre en question les résultats d'institutions scientifiques comme l'IPCC .

Bibliographie

- [1] A.Noels, *Astrophysique*, notes de cours,2003, Université de Liège.
- [2] S.E.Forbush, 1938, *On world-wide changes in cosmic-ray intensity*. The Physical Review, V54-12
- [3]JC Gérard, *Physique de l'atmosphère et de l'environnement terrestre II*, notes de cours, 2005, Université de Liège.
- [4] Ilya G. Usoskin, 2008, *A History of Solar Activity over Millennia*. Living Rev. Solar Phys., 5, 3
- [5] Usoskin, I.G., Kananen, H., Mursula, K., Tanskanen, P., Kovaltsov, G.A., 1998, Correlative study of solar activity and cosmic ray intensity, J. Geophys. Res., 103, 9567–9574
- [6] H.Svensmark and E.Friis-Christensen, 1996, *Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 59,11, p.1225-1232
- [7] K.S.Carlsraw, R.G.Harrison and J.Kirkby, 2002, *Cosmic rays, clouds and climate*, Science, 298.
- [8] F.YU and R.P.Turco, 2001, *From molecular clusters to nanoparticles : role of ambient ionization in tropospheric aerosol formation*, Journal of geophysical research, 106, 4797-4814
- [9] T.Sloan and A.W.Wolfendale, 2008, *Testing the proposed causal link between cosmic rays and cloud cover*, Environmental Research Letters, 3
- [10] N.Marsh and H.Svensmark, 2003, *Solar influence on Earth's climate*, Space Science Reviews, 107, 317-325
- [11] N.Shaviv and J.Veizer, 2003, *Celestial driver of Phanerozoic climate?*, GSA today, july 2003
- [12] www.isccp.giss.nasa.gov
- [13] T.S.Jorgensen and A.W.Hansen, 2000, *Comments on « Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships »*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 62, 73-77
- [14] P.H.Wang, P.Minnis, M.P.McCormik, G.S.Kent, K.M.Skeens, 1996, *A 6-year climatology of cloud occurrence frequency from stratospheric aerosol and gas experiment II observations*, Journal of geophysical research 101, 29, 407-29,429.
- [15] E.P. Ney, *Cosmic radiation and the weather*, Nature 183, 451-452, 1959.
- [16] V.A. Mohnen, 1990, *Stratospheric ion and aerosols chemistry and possible links with cirrus clouds microphysics – a critical assesment*. Journal of the atmospheric sciences 47, 1933-1948
- [17] Rahmstorf, S., *et al.*, 2004, *Cosmic rays, carbon dioxide and climate*. Eos 85, 38, 41.