

# Le Grand Minimum Solaire Moderne conduira au refroidissement terrestre

## MINIMUM de EDDY

[Valentina Zharkova](#) ( traduction )

Dans cet éditorial, je vais démontrer avec l'activité solaire nouvellement découverte proxy-champ magnétique que le Soleil est entré dans le **Grand Minimum solaire moderne (2020-2053)** qui conduira à une réduction significative du champ magnétique solaire et de l'activité comme pendant **Maunder minimum** conduisant à une réduction notable de la température terrestre.

**Le soleil est la principale source d'énergie pour toutes les planètes du système solaire.** Cette énergie est livrée à la Terre sous une forme de rayonnement solaire dans différentes longueurs d'onde, appelée **irradiance solaire totale**. Les variations de l'irradiance solaire conduisent au chauffage de l'atmosphère planétaire supérieure et à des processus complexes de transport d'énergie solaire vers une surface planétaire.

Les signes de **l'activité solaire** sont observés dans les variations **cycliques de 11 ans** d'un certain nombre de taches solaires sur la surface solaire en utilisant le nombre mensuel moyen de taches solaires comme indicateur de l'activité solaire au cours des 150 dernières années. **Les cycles solaires ont été décrits par l'action du mécanisme de la dynamo solaire dans l'intérieur solaire générant des cordes magnétiques au fond de la zone convective solaire.**

Ces cordes magnétiques voyagent à travers l'intérieur solaire apparaissant sur la surface solaire, ou photosphère, comme des taches solaires indiquant les points de pied où ces cordes magnétiques sont encastrées dans la photosphère.

Le champ magnétique des taches solaires forme un champ torique tandis que le champ magnétique de fond solaire forme un champ poloïdal. La dynamo solaire convertit cycliquement le champ poloïdal en un champ toroïdal atteignant son maximum à un maximum de cycle solaire, puis le champ torique vers le champ poloïdal vers un minimum solaire. **Il est évident que pour la même polarité de tête du champ magnétique dans les taches solaires dans le même hémisphère, la longueur du cycle solaire doit être étendue à 22 ans. ( 11 \*2 )**

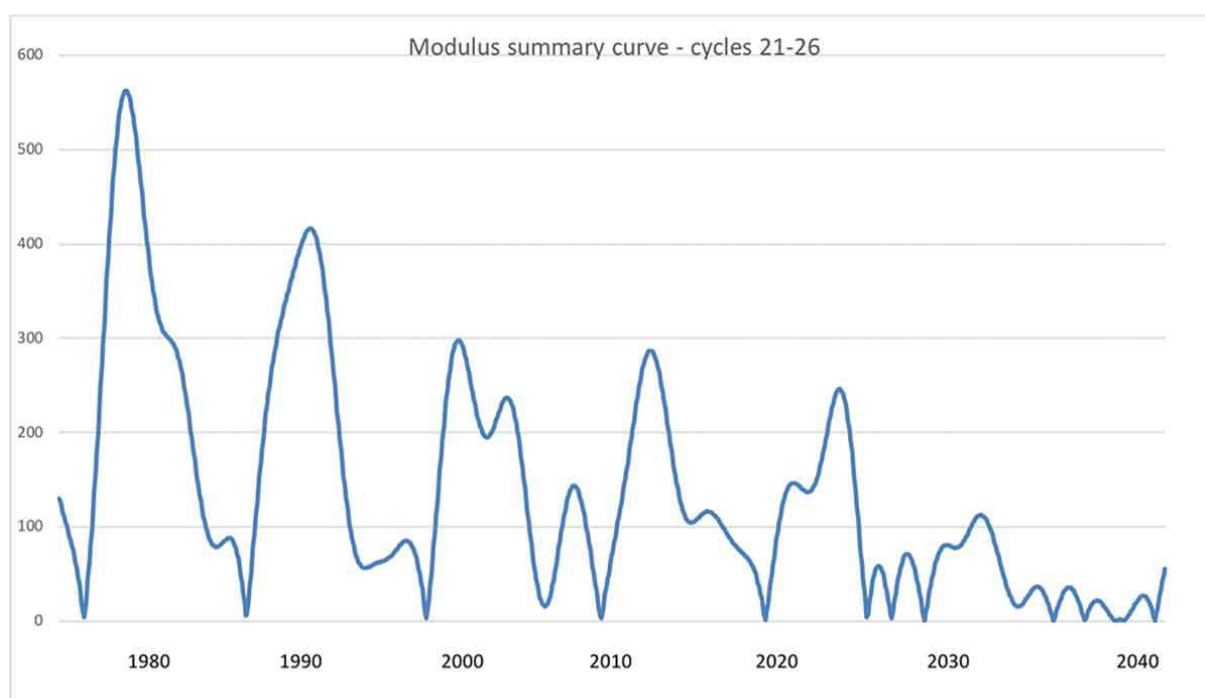
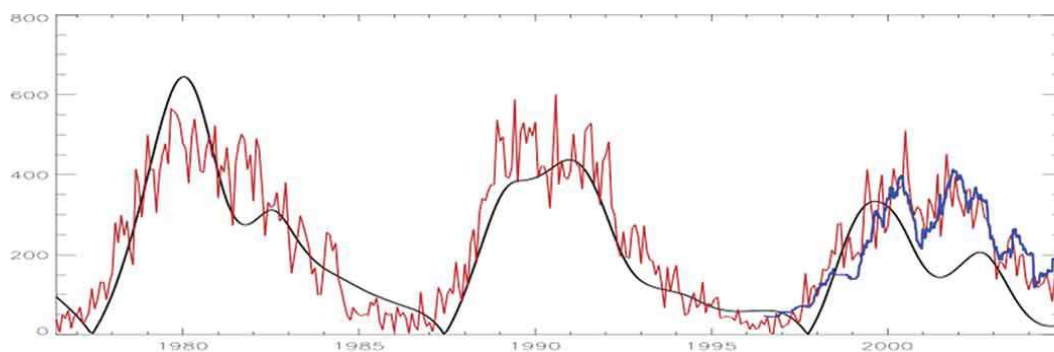
Malgré la compréhension de l'image générale d'un cycle solaire, il était plutôt difficile de faire correspondre les nombres de taches solaires observés avec ceux modélisés, à moins que le cycle ne soit bien avancé. Cette difficulté est une indication claire de quelques points manquants dans la définition de l'activité solaire par les nombres de taches solaires qui ont porté notre attention sur la recherche du champ magnétique de fond solaire (poloïdal) (SBMF) [[Citation1](#)].

En appliquant l'analyse des composants principaux (PCA) aux magnétogrammes à disque complet basse résolution capturés dans les cycles 21-23 par l'Observatoire solaire de Wilcox,

nous avons découvert non pas un mais deux composants principaux de ce champ magnétique de fond solaire (voir

, top plot) associé à deux ondes magnétiques marquées par des lignes rouges et bleues. Les auteurs ont dérivé des formules mathématiques pour ces deux ondes intégrant les principaux composants à partir des données des cycles 21 à 23 avec la série de fonctions périodiques et ont utilisé ces formules pour prédire ces ondes pour les cycles 24 à 26. Ces deux ondes sont trouvées générées dans différentes couches de l'intérieur solaire gagnant des fréquences proches mais non égales [Citation1]. **La courbe sommaire de ces deux ondes magnétiques ( , parcelle de fond) révèle l'interférence de ces ondes formant des maxima et des minima de cycles solaires.**

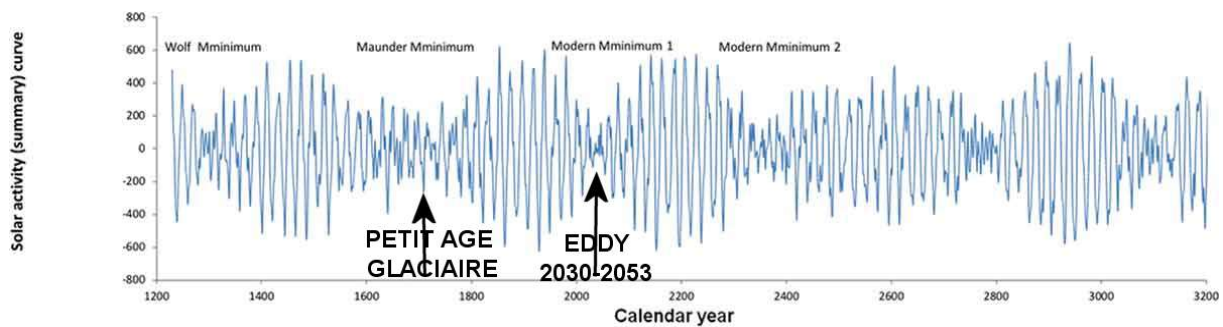
Figure 1. Top plot: deux composantes principales (PC) de champ magnétique de fond solaire (courbes bleues et vertes, nombres arbitraires) obtenues pour les cycles 21-23 (données historiques) et prédites pour les cycles 24–26 en utilisant les formules mathématiques dérivées des données historiques (à partir des données de Zharkova et al. [Citation1]). La courbe de fond: La courbe sommaire dérivée des deux PC ci-dessus pour les données «historiques» (cycles 21–23) et prédit pour le cycle solaire 24 (2008-2019), cycle 25 (2020-2031), cycle 26 (2031-2042) (à partir des données de Zharkova et al. [Citation1]).



La courbe sommaire de deux ondes magnétiques explique de nombreuses caractéristiques de cycles de 11 ans, comme le double maximum dans certains cycles, ou l'asymétrie de l'activité solaire dans les hémisphères opposés au cours de différents cycles. Zharkova et al. [Citation1] a relié la courbe de résumé du module aux nombres moyens de taches solaires pour les cycles 21–23 comme indiqué dans (tracine supérieure) et étendant cette courbe aux cycles 24–26 comme indiqué dans (intrigue du bas). Il semble que l'amplitude du champ magnétique solaire sommaire représenté dans la courbe de synthèse diminue vers les cycles 24-25 devenant presque nulle dans le cycle 26.

Figure 2. Top plot: La courbe de résumé du module (courbe noire) obtenue à partir de la courbe de résumé (, parcelle inférieure) par rapport aux nombres moyens de taches solaires (courbe rouge) pour les données historiques (cycles 21–23). Interrogé: La courbe de résumé du module associée aux nombres de taches solaires dérivées pour les cycles 21–23 (et calculée pour les cycles 24 à 26 (construite à partir des données obtenues par Zharkova et al. [Citation1])). Zharkova et al. [Citation1] suggéré d'utiliser la courbe sommaire comme nouveau proxy de l'activité solaire, qui utilise non seulement l'amplitude d'un cycle solaire, mais aussi sa polarité magnétique de premier plan du champ magnétique solaire.

Figure 3. Courbe d'activité solaire (résumé) restaurée pour 1200-3300 après JC (construite à partir des données obtenues par Zharkova et al. [Citation1]).



présente la courbe sommaire calculée avec les formules mathématiques dérivées vers l'avant pendant 1200 ans et vers l'arrière 800 ans. Cette courbe révèle l'apparition de Grands Cycles Solaires de 350-400 ans causés par l'interférence de deux ondes magnétiques. Ces grands cycles sont séparés par les grands minima solaires, ou les périodes d'activité solaire très faible [Citation1]. Le grand minimum solaire précédent était le minimum de Maunder (1645-1710), et l'autre auparavant nommé Wolf minimum (1270–1350). Comme on le voit dans

de la prédiction de Zharkova et al. [Citation1], dans les 500 prochaines années, il y a deux grands **minimas solaires** modernes qui approchent au Soleil: le **moderne dans le 21<sup>m</sup> siècle (2020-2053) (Dit minimum de EDDY)** et le deuxième dans le 24<sup>th</sup> siècle (2370–2415).

Les propriétés d'observation des deux ondes magnétiques et leur courbe sommaire étaient étroitement ajustées par des ondes dynamo doubles générées par des sources magnétiques dipolaires dans deux couches de l'intérieur solaire: couches internes et externes [Citation1], alors que trois autres paires d'ondes magnétiques peuvent être produites par des sources magnétiques quadruples, sextuples et octuples complètement avec une source dipôle définissant l'aspect visible de l'activité solaire à la surface.

**Actuellement, le Soleil a terminé le cycle solaire 24 – le cycle le plus faible des 100 dernières années – et en 2020, a commencé le cycle 25.** Pendant les périodes de faible activité solaire, comme le grand minimum solaire moderne, le Soleil sera souvent dépourvu de taches solaires. C'est ce qui est observé maintenant au début de ce minimum, car en 2020 le Soleil a vu, au total, 115 jours sans tache (ou 78%), ce qui signifie que 2020 est en voie de dépasser le record d'espace-âge de 281 jours sans tache (ou 77%) observé en 2019. Cependant, le début du cycle 25 est encore lent dans les régions actives de tir et les éruptions, donc avec chaque jour/semaine/mois supplémentaire qui passe, l'activité solaire nulle est prolongée marquant un début de grand minimum solaire. **Quelles sont les conséquences pour la Terre de cette diminution de l'activité solaire ?**

## Réduction totale de l'irradiance solaire (TSI) pendant Maunder Minimum

Explorons ce qui s'est passé avec **l'irradiance solaire** lors du **précédent grand minimum solaire – Maunder Minimum**. Pendant cette période, très peu de taches solaires sont apparues à la surface du Soleil, et la **luminosité globale du Soleil a été légèrement diminuée**.

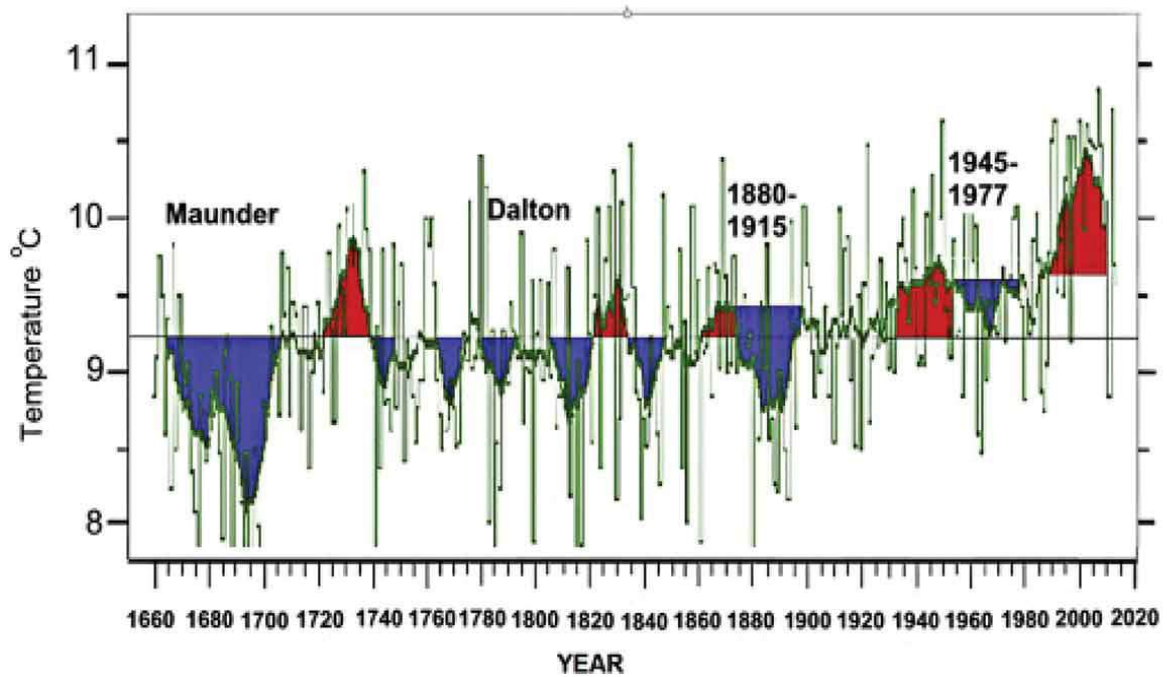
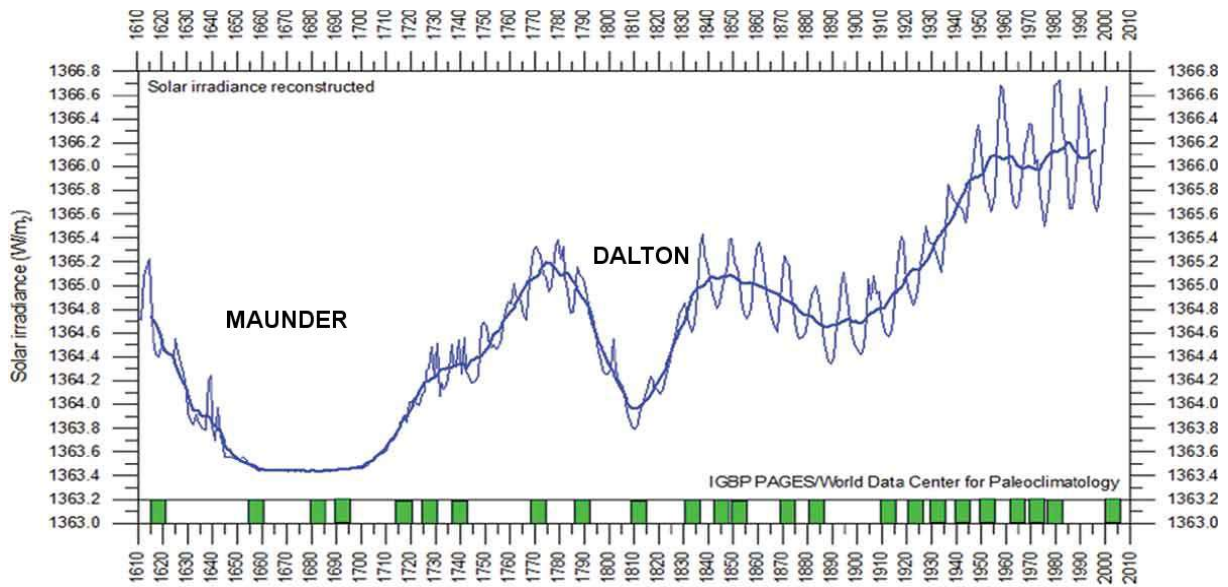
La reconstruction de l'irradiation totale solaire moyenne par cycle remonte à 1610 (

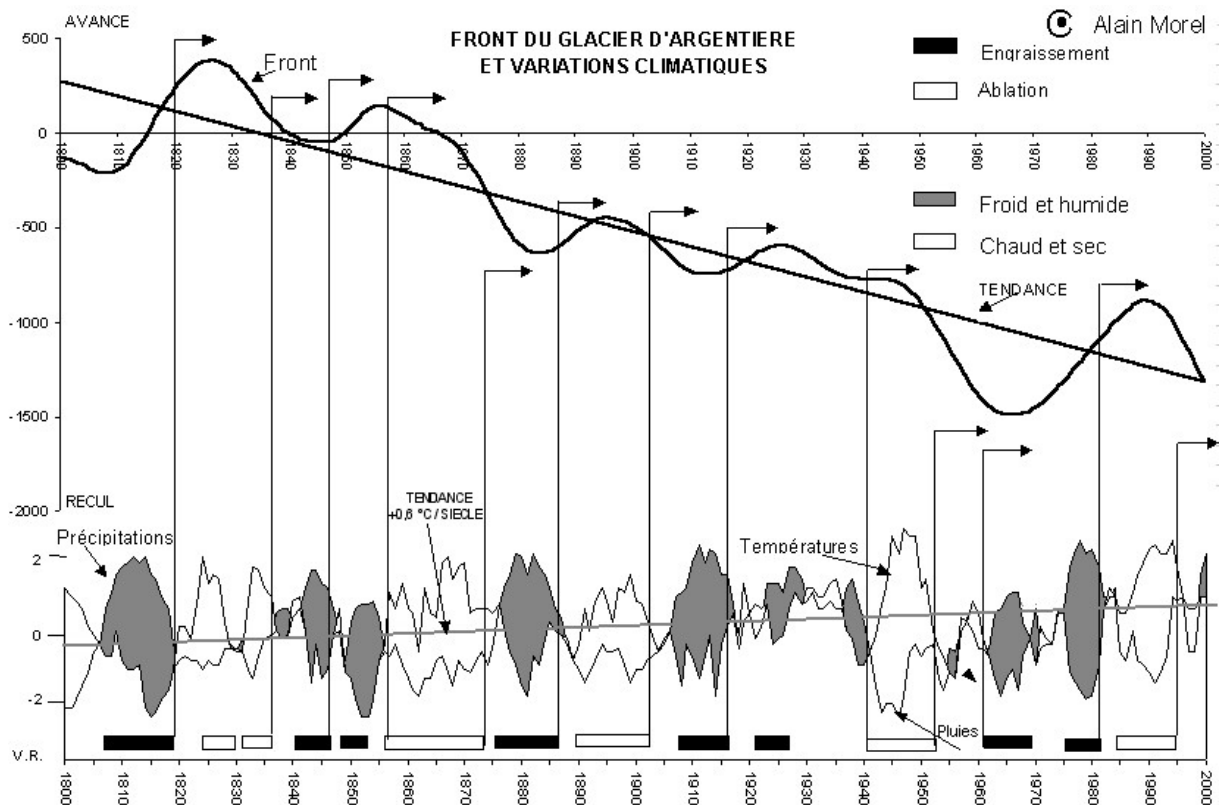
, top plot) suggère une **diminution de l'irradiance solaire pendant Maunder minimum d'une valeur d'environ 3 W/m<sup>2</sup> [Citation2], soit environ 0,22% de l'irradiation solaire totale en 1710, après que le minimum de Maunder était terminé.**

## **Diminution de la température pendant Maunder minimum. (PETIT AGE GLACIAIRE )**

**De 1645 à 1710, les températures à travers une grande partie de l'hémisphère nord de la Terre ont plongé lorsque le Soleil est entré dans une phase tranquille maintenant appelée le minimum de Maunder. Cela s'est probablement produit parce que l'irradiation solaire totale a été réduite de 0,22%, montrée dans (top plot) [Citation2], cela a conduit à une diminution de la température terrestre moyenne mesurée principalement dans l'hémisphère Nord en Europe de 1,0 à 1,5 °C comme indiqué dans (intrigue inférieure) [Citation3]. Cette diminution apparemment faible de la température moyenne dans l'hémisphère nord a conduit à des rivières gelées, à de longs hivers froids et à des étés froids.**

Figure 4. Top plot: irradiance solaire totale restaurée de 1600 à 2014 par Lean et al. [Citation2]. Modifié par Easterbrook [Citation3], de Lean, Beer, Bradley [Citation2]. Terrain inférieur: **Températures de l'Angleterre centrale (CET) enregistrées en continu depuis 1658. Les zones bleues se reproduisent des périodes fraîches; les zones rouges sont des périodes chaudes.** Toutes les périodes de minima solaire étaient coïncident avec des périodes fraîches dans le centre de l'Angleterre. Adopté de Easterbrook [Citation3], avec les autorisations de l'éditeur Elsevier.





La température de surface de la Terre a été réduite dans tout le Globe (voir en [Citation4]), surtout, dans les pays de l'hémisphère Nord. L'Europe et l'Amérique du Nord sont entrées dans un gel profond: **les glaciers alpins s'étendaient sur les terres agricoles de la vallée**; la glace de mer s'est glissée vers le sud de l'Arctique; les rivières Dunab et Thames se sont figées régulièrement pendant ces années ainsi que les célèbres canaux aux Pays-Bas.

Shindell et al. [Citation4] ont montré que la baisse de la température était liée à la chute des abondances d'ozone créée par la lumière solaire ultra-violetée dans la stratosphère, la couche de l'atmosphère située entre 10 et 50 kilomètres de la surface de la Terre. Puisque pendant le minimum de Maunder, le Soleil a émis moins de radiations, au total, y compris une forte émission ultraviolette, moins d'ozone a été formé affectant les ondes atmosphériques planétaires, les gignements géants dans le courant-jet.

Shindell et al. [Citation4] à la p. 2150, suggère qu'un changement aux ondes planétaires pendant le minimum de Maunder a donné le coup de pied à l'oscillation de l'Atlantique Nord (NAO) – l'équilibre entre un système de basse pression permanent près du Groenland et un système à haute pression permanent à son sud – dans une phase négative, qui a conduit l'Europe à rester inhabituellement froide pendant le Minimum Maunder.

## Rôle du champ magnétique dans le refroidissement terrestre dans Grand Solar Minima

Cependant, non seulement le rayonnement solaire a été changé pendant le minimum de Maunder. Il y a un autre contributeur à la réduction de la température terrestre pendant le minimum de Maunder – **c'est le champ magnétique de fond solaire, dont le rôle a été négligé jusqu'à présent.** Après la découverte [Citation1] d'une réduction significative du champ magnétique dans le grand minimum solaire moderne à venir et pendant le minimum de Maunder, le champ magnétique solaire a été reconnu pour contrôler le niveau de rayons cosmiques atteignant les atmosphères planétaires du système solaire, y compris la Terre. **Une réduction significative du champ magnétique solaire lors de grands minima solaires conduira sans aucun doute à l'augmentation de l'intensité des rayons cosmiques galactiques et extra-galactiques, qui, à son tour, conduisent à une formation de nuages élevés dans les atmosphères terrestres et aident au refroidissement atmosphérique comme le montre Svensmark et al. [Citation5].** Dans le précédent minimum solaire entre les cycles 23 et 24, l'intensité des rayons cosmiques a augmenté de 19%. Actuellement, le champ magnétique solaire prédit en par Zharkova et al. [Citation1] est en train de tomber radicalement au soleil qui, à son tour, entraîne une forte baisse du champ magnétique interplanétaire du soleil jusqu'à seulement 4 nanoTesla (nT) de valeurs typiques de 6 à 8 nT. Cette diminution du champ magnétique interplanétaire entraîne naturellement une augmentation significative de l'intensité des rayons cosmiques passant dans les atmosphères de la planète comme le rapportent les récentes missions spatiales [Citation6]. Par conséquent, ce processus de réduction du champ magnétique solaire progresse comme prédit par Zharkova et al. [Citation1], et sa contribution sera absorbée par les atmosphères planétaires, y compris la Terre. Cela peut diminuer la température terrestre pendant le grand minimum solaire moderne qui a déjà commencé en 2020.

## **Réduction prévue de la température terrestre dans le Grand Solar Minima moderne**

Cette courbe sommaire indiquait également le grand solaire moderne minimum 1 dans les cycles 25–27 (2020-2053) et le grand minimum solaire moderne 2 (2370–2415). Cela apportera aux temps modernes les conditions de faible activité uniques du Soleil, qui se sont produites pendant le minimum de Maunder. On s'attend à ce que pendant le grand minimum solaire moderne, l'activité solaire soit réduite de manière significative car cela s'est produit pendant Maunder minimum (, terrain de fond). **De même que Maunder Minimum, comme discuté ci-dessus, la réduction du champ magnétique solaire entraînera une diminution de l'irradiance solaire d'environ 0,22% pour une durée de trois cycles solaires (25–27) pour le premier grand minimum moderne (2020-2053) et quatre cycles solaires à partir du deuxième grand minimum moderne (2370–2415).**

Cela, à son tour, peut entraîner une chute de la température terrestre jusqu'à 1,0 °C à partir de la température actuelle au cours des trois cycles suivants (25–27) du grand minimum 1. Les plus fortes baisses de température approcheront au cours des minima locaux entre les cycles 25 – 26 et les cycles 26 à 27 lorsque le niveau d'activité solaire le plus bas sera atteint en utilisant les estimations en (tracement en bas) et . **Par conséquent, la température moyenne dans l'hémisphère Nord peut être réduite jusqu'à 1,0 °C par rapport à la température actuelle, qui a été augmentée de 1,4 °C depuis Maunder minimum.** Cela se traduira par la température moyenne pour devenir inférieure à la température actuelle pour être seulement 0,4 °C plus élevée que la température mesurée en 1710. Ensuite, après la fin du grand minimum solaire moderne 1, l'activité solaire dans le cycle 28 sera rétablie à la normale dans

le grand cycle solaire plutôt court mais puissant d'une durée comprise entre 2053 et 2370, comme indiqué dans , avant qu'il n'approche le prochain grand minimum solaire 2 sur 2370.

## Conclusions

Dans cet éditorial, j'ai démontré que les progrès récents avec la compréhension d'un rôle du champ magnétique de fond solaire dans la définition de l'activité solaire et avec la quantification des grandeurs observées du champ magnétique à différents moments nous ont permis de permettre une prédiction fiable à long terme de l'activité solaire sur une échelle de temps millénaire. Cette approche a révélé une présence non seulement de **cycles solaires de 11 ans**, mais aussi de **grands cycles solaires d'une durée de 350 à 400 ans**. Nous avons démontré que ces grands cycles sont formés par les interférences de deux ondes magnétiques avec des fréquences proches mais non égales produites par la double action de la dynamo solaire à différentes profondeurs de l'intérieur solaire. Ces grands cycles sont toujours séparés par de grands minima solaires de type minimum de Maunder, qui se produisaient régulièrement dans le passé formant Maunder, Wolf, Oort, Homeric et d'autres grands minimas.

**Au cours de ces grands minima solaires, il y a une réduction significative du champ magnétique solaire et de l'irradiance solaire, qui imposent la réduction des températures terrestres dérivées** pour ces périodes de l'analyse de la biomasse terrestre au cours des 12.000 dernières années ou plus. Le grand minimum solaire le plus récent s'est produit pendant le minimum de Maunder (1645-1710), ce qui a conduit à une réduction de l'irradiance solaire de 0,22% par rapport à celui moderne et à une diminution de la température terrestre moyenne de 1,0 à 1,5 °C.

Cette découverte de l'action à double dynamo au Soleil nous a apporté un avertissement opportun sur le grand minimum solaire 1 à venir, lorsque le **champ magnétique solaire et son activité magnétique seront réduits de 70%**. **Cette période a commencé au Soleil en 2020 et durera jusqu'en 2053. Au cours de ce grand minimum moderne, on pourrait s'attendre à une réduction de la température terrestre moyenne jusqu'à 1,0 °C**, en particulier, pendant les périodes de minima solaire entre les cycles 25–26 et 26–27, par exemple dans la **décennie 2031-2043**.

La réduction d'une température terrestre au cours des 30 prochaines années peut avoir d'importantes implications pour différentes parties de la planète sur la végétation croissante, l'agriculture, l'approvisionnement alimentaire et les besoins de chauffage dans les hémisphères Nord et Sud. **Ce refroidissement mondial au cours du grand minimum solaire 1 (2020-2053) peut compenser pendant trois décennies tout signe de réchauffement climatique** et nécessiterait des efforts intergouvernementaux pour s'attaquer aux problèmes de chaleur et d'approvisionnement alimentaire pour l'ensemble de la population de la Terre.