



ÉCLIPSE SOLAIRE : IL Y A DE L'EXCITATION DANS L'AIR !

Bhaskar Kundu*, Batakrushna Senapati et Bhishma Tyagi

Département des Sciences de la Terre et de l'atmosphère, Institut National de Technologie de Rourkela, Rourkela, Inde

Une éclipse solaire est un événement unique et excitant qui implique la Terre, la Lune et le Soleil. Lors d'une éclipse solaire, la Lune cache entièrement ou partiellement le Soleil. Elle bloque ainsi temporairement la lumière solaire qui arrive vers la Terre. Les éclipses solaires changent également l'atmosphère terrestre en modifiant la proximité entre les minuscules particules appelées électrons. Ces changements de la densité d'électrons peuvent être mesurés dans différentes régions de la Terre par le Système mondial de navigation par satellites (GNSS). Dans cet article, nous te parlons des changements de la densité d'électrons qui ont été observés lors de deux éclipses solaires récentes. Ces changements sont importants, car ils peuvent affecter la navigation basée sur les satellites (comme le GPS de ton téléphone) et les communications.

QUE SE PASSE-T-IL PENDANT UNE ÉCLIPSE SOLAIRE ?

Des enfants aux adultes, beaucoup de gens sont excités lorsqu'ils apprennent qu'une éclipse solaire sera visible depuis leur ville ou leur village (**Figure 1**). Pendant une éclipse solaire, tout le monde devient astronome pendant quelques minutes. Les éclipses solaires sont également excitantes pour les scientifiques qui étudient l'atmosphère terrestre, car pendant une éclipse, des changements se produisent au niveau des particules dans la haute atmosphère. Avant d'aborder ce sujet, nous devons d'abord expliquer exactement ce qu'il se passe lors d'une éclipse solaire.

ÉCLIPSE SOLAIRE TOTALE.

Lorsque la Lune passe entre le Soleil et la Terre, bloquant complètement la face du Soleil.

ÉCLIPSE SOLAIRE PARTIELLE. Lorsque la Lune passe entre le Soleil et la Terre, bloquant partiellement la face du Soleil.

ÉCLIPSE SOLAIRE ANNULAIRE. Lorsque la Lune est à son point le plus éloigné de la Terre, elle ne couvre donc pas complètement le Soleil pendant l'éclipse. Par conséquent, seul un anneau de lumière est visible.

IONOSPHERE. Couche de l'atmosphère qui contient une forte concentration d'ions et d'électrons libres et joue un rôle important dans les communications et la navigation.

ION. Atome ou molécule chargé électriquement (positivement ou négativement).

ÉLECTRON. Minuscule particule d'un atome chargée négativement. Les électrons sont les principaux transporteurs d'électricité dans les solides.



Figure 1. Enfants de l'école primaire Clardy, à Kansas City, dans le Missouri, observant une éclipse solaire le 21 août 2017. Les élèves s'entraînaient à utiliser correctement des lunettes spéciales indispensables pour protéger les yeux des rayons du soleil ([Crédit photo](#)).

Chaque objet du système solaire crée une ombre lorsqu'il empêche le passage de la lumière du soleil. Une éclipse solaire sur Terre se produit lorsque notre satellite naturel, la Lune, passe entre le Soleil et la Terre, et nous cache le Soleil. Bien que le diamètre du Soleil soit environ 400 fois plus grand que celui de la Lune, le Soleil est également environ 400 fois plus éloigné de la Terre que la Lune. Ainsi, lorsqu'on observe le Soleil et la Lune depuis la Terre, ils semblent avoir presque la même taille. Lorsque la Lune occulte complètement le Soleil, on ne voit du soleil qu'une couronne faiblement lumineuse autour de la lune. Ce spectacle impressionnant s'appelle une **éclipse solaire totale**.

Il existe également d'autres types d'éclipses (**Figure 2A**). Une **éclipse solaire partielle** se produit lorsque la Lune ne bloque qu'une partie du Soleil. Une **éclipse solaire annulaire** est similaire à une éclipse solaire totale, mais elle se produit lorsque la Lune est proche de son point le plus éloigné de la Terre et semble donc plus petite. Lors d'une éclipse annulaire, un anneau rougeoyant apparaît autour des bords de la Lune.

LES ÉCLIPSES SOLAIRES MODIFIENT L'ATMOSPHÈRE DE LA TERRE

En plus d'être spectaculaires, les éclipses solaires peuvent nous apprendre des choses passionnantes sur l'**ionosphère**. L'ionosphère est une couche de la haute atmosphère, située 80 à 600 km au-dessus de la surface de la Terre [1]. Les atomes et les molécules de l'ionosphère se divisent normalement en particules chargées appelées **ions** lorsqu'ils absorbent l'énergie du Soleil. Les ions de l'ionosphère peuvent être chargés positivement ou négativement. L'ionosphère contient également de nombreux **électrons** libres, qui affectent les ondes radio et les signaux satellites.

En d'autres termes, l'ionosphère est une partie importante de l'atmosphère, car elle réfléchit et modifie les ondes radio et les signaux satellites utilisés pour la navigation et les communications à longue distance (Figure 2B). Sans l'ionosphère, les moyens de navigation tels que le GPS et les communications satellites à longue distance ne seraient pas possibles.

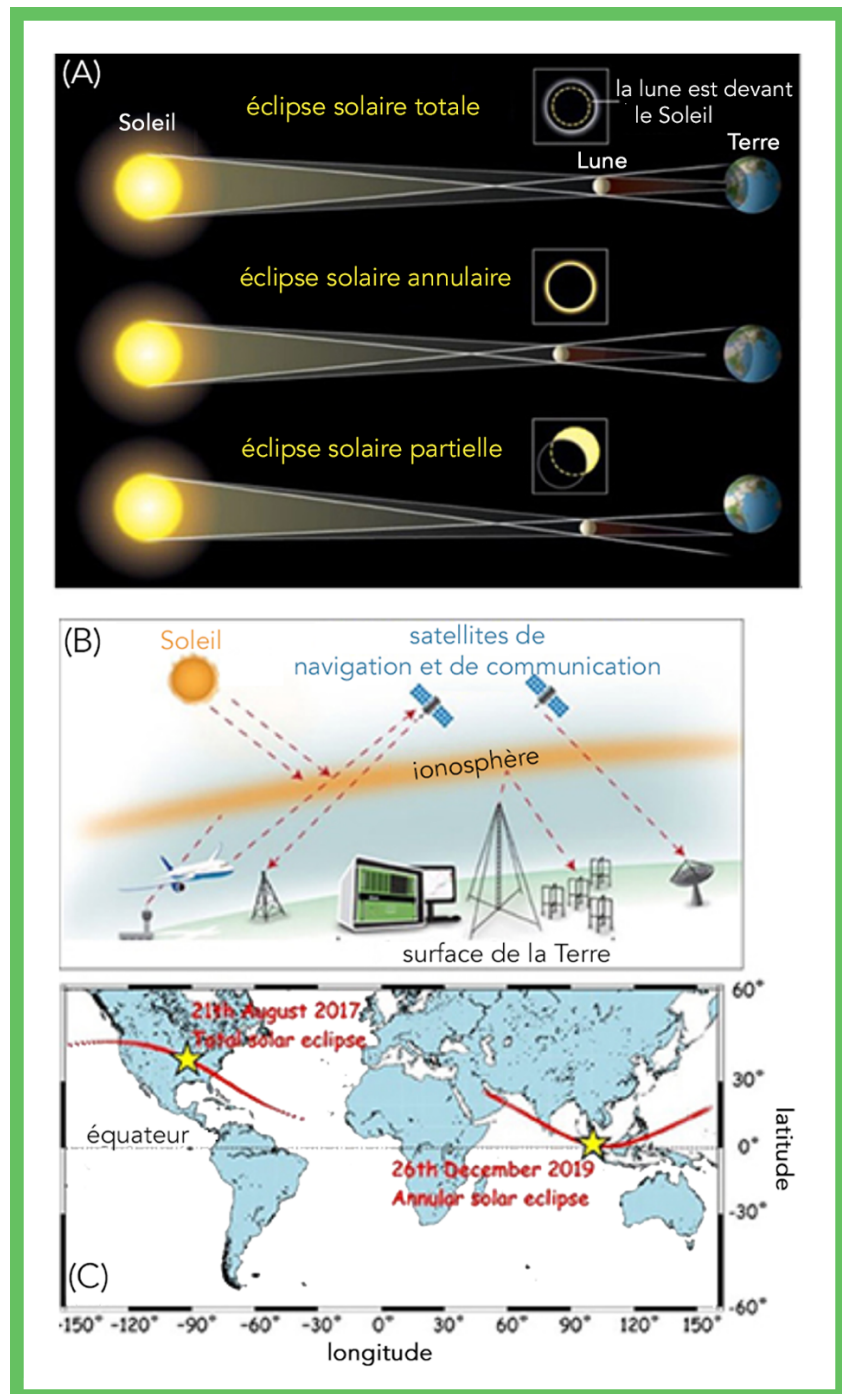


Figure 2. (A) Il existe trois types principaux d'éclipses solaires. Lorsque la Lune se trouve entre le Soleil et la Terre, elle peut cacher le Soleil complètement (éclipse solaire totale) ou partiellement (éclipses solaires annulaire et partielle) (d'après <https://www.clearias.com/eclipse/>). (B) Les signaux utilisés pour la navigation et les communications à longue distance doivent traverser une couche de l'atmosphère appelée ionosphère. (C) Emplacement et trajectoire des éclipses solaires (lignes rouges) du 21 août 2017 (éclipse solaire totale) et du 26 décembre 2019 (éclipse solaire annulaire). Les endroits où l'éclipse était à son maximum sont indiqués par des étoiles jaunes.

ZONE D'OMBRE. Endroits sur Terre que la lumière du soleil ne peut temporairement pas atteindre pendant une éclipse solaire.

SYSTÈME MONDIAL DE NAVIGATION PAR SATELLITES (GNSS) pour « Global Navigation Satellite Systems ». Groupes de satellites qui fournissent des services de positionnement, de navigation et de synchronisation à l'échelle mondiale ou régionale. Par exemple, le GPS utilisé par ton téléphone est un groupe de 24 satellites.

Comme l'énergie solaire est à l'origine d'ions et d'électrons dans l'ionosphère, on peut supposer que l'absence soudaine de lumière solaire pendant une éclipse solaire entraînera des changements dans l'ionosphère. Et c'est ce qui se passe ! Pendant une éclipse solaire, lorsque la lune occulte temporairement la lumière solaire en l'empêchant d'atteindre la Terre, la densité d'électrons dans la **zone d'ombre** au sein de l'ionosphère diminue.

ÉTUDES DE L'IONOSPHERE ET DES EFFETS DES ÉCLIPSES SOLAIRES

Comment les scientifiques peuvent-ils détecter et mesurer les changements dans l'ionosphère ? L'une des méthodes consiste à utiliser les satellites, en particulier le **Système mondial de navigation par satellites (GNSS)**. Il s'agit d'un groupe de satellites qui fournit des services de localisation, de navigation et de synchronisation à travers le monde (**Figure 2B**). Les satellites GNSS se déplacent en permanence autour de la Terre et permettent aux scientifiques de capter les changements qui se produisent dans l'ionosphère pendant une éclipse solaire [2].

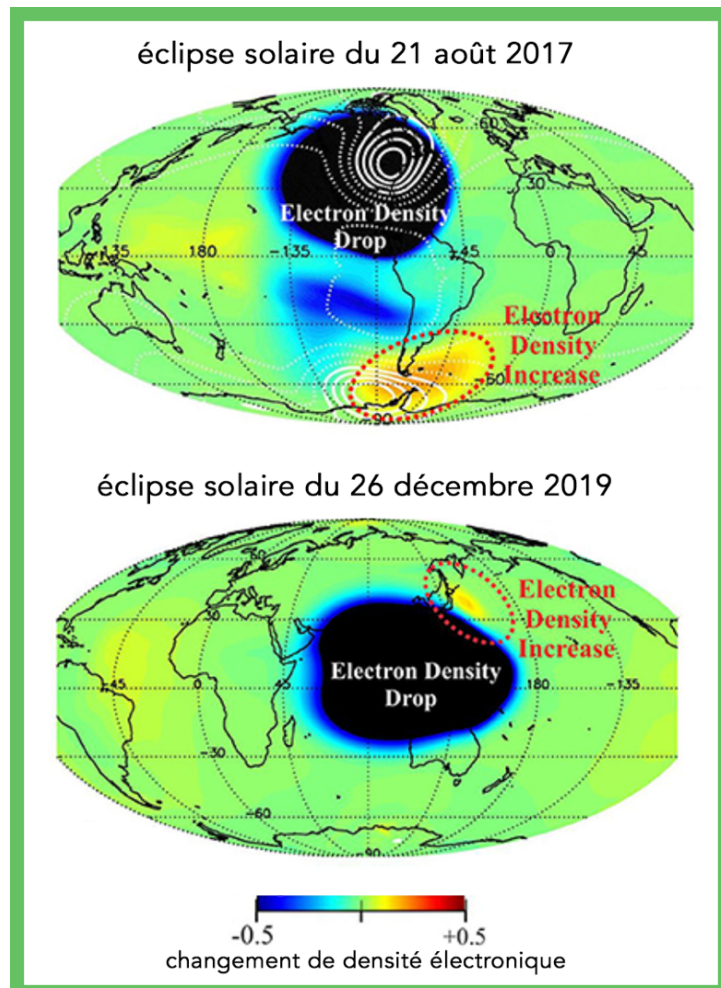


Figure 3. Variations de la densité d'électrons dans l'ionosphère pendant deux éclipses solaires récentes. On observe une diminution de la densité d'électrons à l'endroit du maximum de l'éclipse (bleu foncé à noir). Les zones où la densité d'électrons a augmenté, à la pointe de l'Amérique du sud et dans l'Antarctique pour l'éclipse du 21 août 2017 et au nord du Japon pour celle du 26 décembre 2019, sont indiquées en jaune et entourées de pointillés rouges.

DENSITÉ D'ÉLECTRONS.

Nombre d'électrons présents dans un mètre cube de l'ionosphère.

La **Figure 2C** montre les trajectoires de deux éclipses solaires récentes. L'une était totale et a traversé le centre des États-Unis le 21 août 2017. L'autre était une éclipse solaire annulaire qui s'est produite en Asie du Sud-Est le 26 décembre 2019. Lorsque ces deux éclipses ont atteint leur apogée (étoiles jaunes sur la figure), un réseau GNSS dense a observé une forte baisse de la densité d'électrons dans la zone d'ombre de l'ionosphère [3, 4]. La baisse de la **densité d'électrons** s'est produite car la lumière solaire a été temporairement bloquée et ne pouvait plus atteindre la Terre ; cela a empêché la transformation des atomes et des molécules de l'ionosphère en ions, entraînant une baisse de la densité d'électrons au moment de l'éclipse solaire. Ce phénomène est important car il influence les signaux radio lorsqu'ils se propagent vers des endroits éloignés sur Terre, et il affecte également les signaux GNSS qui traversent cette couche de l'atmosphère.

DES CHOSES ENCORE PLUS SURPRENANTES DANS L'IONOSPHERE

Observer la diminution du nombre d'électrons dans l'ionosphère pendant une éclipse solaire était important. Mais les satellites GNSS qui traversaient le ciel ont également fait une découverte plus surprenante. Une légère augmentation de la densité d'électrons a été observée dans l'ionosphère pendant les deux éclipses solaires. Les endroits où les électrons ont augmenté sont indiqués **Figure 3**. Pourquoi ces zones ont-elles connu une augmentation de la densité d'électrons pendant les éclipses ? Les scientifiques ont suggéré que cette « excitation » dans l'ionosphère est principalement causée par l'interaction entre l'ionosphère et le champ magnétique terrestre [5].

L'EXCITATION CONTINUE

Dans cet article, tu as découvert les éclipses solaires et leurs effets sur l'ionosphère. Lors d'une éclipse solaire, la densité d'électrons dans l'ionosphère diminue considérablement, mais dans certaines zones, elle augmente mystérieusement de manière légère. Ces changements dans l'ionosphère affectent les ondes radio et les signaux GNSS qui traversent cette couche de l'atmosphère.

Ces découvertes sont passionnantes et pourraient s'avérer importantes pour les scientifiques qui tentent de comprendre les caractéristiques de l'ionosphère et leur incidence sur les communications, la navigation et le transfert d'informations pendant une éclipse solaire. Il reste encore beaucoup de travail à accomplir et de nombreuses questions importantes à résoudre.

RÉFÉRENCES

[1] Strahler, A. N. 1963. The earth sciences. *Science* 142:1287–8. doi: 10.1126/science.142.3597.1287-a

[2] Heki, K. 2021. Ionospheric disturbances related to earthquakes. *Ionosphere Dyn. Appl.* 511–26. doi: 10.1002/9781119815617.ch21

[3] Kundu, B., Panda, D., Gahalaut, V. K., and Catherine, J. K. 2018. The August 21, 2017 American total solar eclipse through the eyes of GPS. *Geophys. J. Int.* 214:651–5. doi: 10.1093/gji/ggy149

[4] Senapati, B., Huba, J. D., Kundu, B., Gahalaut, V. K., Panda, D., Mondal, S. K., et al. 2020. Change in total electron content during the 26 December 2019 solar eclipse: constraints from GNSS observations and comparison with SAMI3 model results. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 125:e2020JA028230. doi: 10.1029/2020JA028230

[5] Huba, J. D., and Drob, D. 2017. SAMI3 prediction of the impact of the 21 August 2017 total solar eclipse on the ionosphere/plasmasphere system. *Geophys. Res. Lett.* 44, 5928–35. doi: 10.1002/2017GL073549

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi : 10.3389/frym.2023.937851; Kundu B, Senapati B and Tyagi B (2023). A Solar Eclipse: Excitement Is in the Air. *Front. Young Minds.* 11:937851

TRADUCTION : [Nicole Pasteur](#), Association Jeunes Francophones et la Science.

ÉDITION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

MENTORS SCIENTIFIQUES : [Frédéric Lemoigno](#), [Océane Paris](#)

REMERCIEMENTS : Merci à Benjamin Vienne et Marion Lombruso (collège Joseph d'Arbaud, Salon de Provence) et à l'équipe du collège international Eridan de Montpellier (Josselin Gely et Thierry Noudimehou) pour leur accueil et leur implication dans l'édition de cet article par leurs élèves.

JEUNES ÉDITRICES ET ÉDITEURS

QUENTIN, 11 ANS

Bonjour, je m'appelle Quentin et j'aime le foot et passer du temps avec ma famille.

GEORGES, 12 ANS

Bonjour, moi c'est Georges ! J'aime les jeux de balle comme le ping-pong, le foot, le basket... J'aime aussi les jeux vidéo.

ADNANE, MATHY, VALENTINE, 12-13 ANS

Élèves en classe de 5^{ème} à Salon de Provence, Adnane, Mathy et Valentine ont participé pour la première fois et avec enthousiasme à l'édition d'article. Cet article sur les éclipses solaires leur a appris beaucoup de choses, deux mois avant l'éclipse solaire partielle qu'ils ont pu admirer dans le sud de la France.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 6 mai 2022 ; **ACCEPTÉ** le 23 juin 2023.

PUBLIÉ EN LIGNE le 10 juillet 2023.

ÉDITION : Ameer Hennig

MENTORS SCIENTIFIQUES : Jonas Raschidie, Kalee Tock

CITATION : Kundu B, Senapati B and Tyagi B (2023) A Solar Eclipse: Excitement Is in the Air. Front. Young Minds. 11:937851. doi: 10.3389/frym.2023.937851

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2023 Kundu, Senapati and Tyagi

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES ÉVALUATEURS

CONRAD, 12 ANS

J'aime les récifs coralliens. Je joue du violoncelle. Les neurosciences sont passionnantes, mais j'apprécie toutes les sciences, ainsi que les concours de mathématiques et l'apprentissage de nouvelles langues.

POYA, 15 ANS

Bonjour, je m'appelle Poya Rashidi, j'ai 15 ans et je vis en Iran. Je suis en deuxième année au lycée Shahid Beheshti.

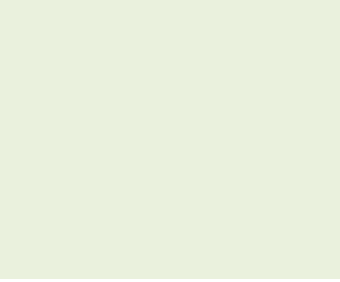
AUTEURS

BHASKAR KUNDU

Je suis sismologue et travaille comme professeur adjoint au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Institut national de technologie de Rourkela (Inde). J'utilise diverses observations sur le terrain, des mesures géodésiques, des expériences en laboratoire et des approches de télédétection pour mieux comprendre les systèmes complexes de la Terre. Je suis également passionné par les télescopes et le ciel nocturne, à la recherche d'étoiles, de planètes et de la lune avec les yeux curieux de mon fils Emon ! *rilbhaskar@gmail.com

BATAKRUSHNA SENAPATI

Je suis chercheur au Laboratoire de géodésie tectonique de l'Institut national de technologie de Rourkela (Inde). Mes travaux portent principalement sur la compréhension de l'impact des facteurs climatiques (pluies, chutes de neige, etc.) sur le processus de survenue des tremblements de terre et sur l'étude de l'ionosphère.



BHISHMA TYAGI

Je suis météorologue au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Institut national de technologie de Rourkela (Inde). Mon travail porte principalement sur l'évaluation de la qualité de l'air, les interactions entre les aérosols et les nuages, et le changement climatique.