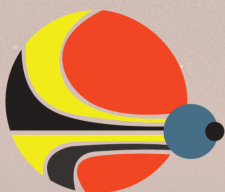


PUIS-JE SUBIR UNE DÉFAILLANCE DE MON SYSTÈME DE **NAVIGATION**

À CAUSE DE LA MÉTÉO SPATIALE ?



e-swan
EUROPEAN SPACE WEATHER
AND SPACE CLIMATE ASSOCIATION

TABLe DES MATIÈRES



01

NAVIGATION, POSITIONNEMENT ET
SYNCHRONISATION DANS LE MONDE
D'AUJOURD'HUI

02

COMMENT FONCTIONNE LE GNSS ?

03

QU'EST-CE QUE LA MÉTÉO SPATIALE ?

04

COMMENT LA MÉTÉO SPATIALE PERTURBE LES
SYSTÈMES ?

05

COMMENT ATTÉNUER L'IMPACT DE LA MÉTÉO
SPATIALE ?

06

COMITÉ ÉDUCATION & OUTREACH DE
E-SWAN



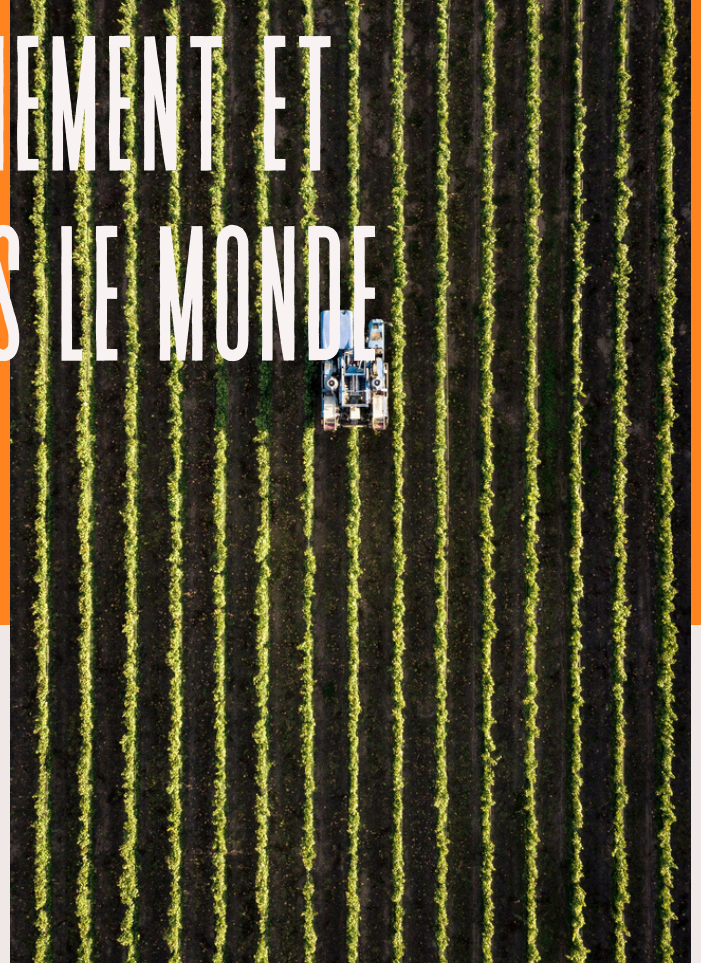
NAVIGATION, POSITIONNEMENT ET SYNCHRONISATION DANS LE MONDE D'AUJOURD'HUI

Autrefois, les humains se guidaient grâce au Soleil, à la Lune et aux étoiles. Aujourd'hui, nous dépendons d'un autre type de constellation : des réseaux de satellites appelés GNSS — Global Navigation Satellite Systems — pour nous orienter sur terre, en mer et dans le ciel. Le GPS est le plus ancien et sans doute le plus connu.

Ces systèmes fournissent des informations de positionnement, de navigation et de synchronisation, soutenant presque tous les aspects de la vie moderne. Mais ce service remarquable n'est pas invulnérable : des perturbations soudaines peuvent survenir, et l'une des menaces les plus inattendues est la météo spatiale.

Où utilise-t-on le GNSS dans la vie moderne ?

Le GNSS est tissé dans le tissu de nos routines quotidiennes. De l'accès à l'itinéraire sur votre téléphone, de la conduite au travail, du vol à l'étranger, de la navigation à travers les océans ou simplement du retrait d'argent dans un guichet automatique - le GNSS travaille en coulisses pour le soutenir. Voici où il se présente dans nos vies :



Vie quotidienne : Suivi en temps réel des bus et trains, guidage des services d'urgence, recherche d'hôtels, de magasins ou de cafés depuis un téléphone.

Entreprises et industrie : Les agriculteurs guident leurs tracteurs avec une précision au centimètre ou au décimètre près. Les géomètres cartographient les terrains pour les routes et les bâtiments. Les entreprises de logistique suivent les livraisons, tandis que vous suivez votre colis en temps réel. Les banques utilisent le GNSS pour horodater précisément les transactions.

Utilisation spatiale : Le GNSS localise les engins spatiaux en orbite terrestre et ajuste leur trajectoire si nécessaire. Les stations au sol l'utilisent pour suivre les satellites et les missions spatiales.

Véhicules autonomes : Des voitures autonomes aux engins automatisés dans les mines isolées du monde entier, le GNSS permet de nouveaux modes de transport — sans conducteur humain.

Défense : Les forces armées et les services de sécurité sont de grands utilisateurs du GNSS. Il facilite le renseignement, la recherche et le sauvetage, la guerre électronique et le guidage de précision.

COMMENT FONCTIONNE LE GNSS ?



Le GNSS est un système mondial qui indique à votre appareil où il se trouve, que vous marchiez dans la rue ou voliez dans les nuages.

Il fonctionne grâce à un ensemble de satellites en orbite à environ 20 000 km au-dessus de la Terre, qui émettent constamment des signaux.

Ces signaux indiquent deux choses à votre appareil : la position du satellite et l'heure exacte d'émission du signal.

Votre téléphone, votre voiture ou tout autre appareil équipé d'un récepteur GNSS utilise les signaux de plusieurs satellites pour déterminer sa position exacte, sa vitesse et l'heure, en temps réel !

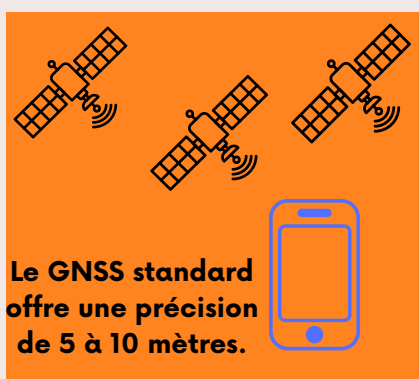
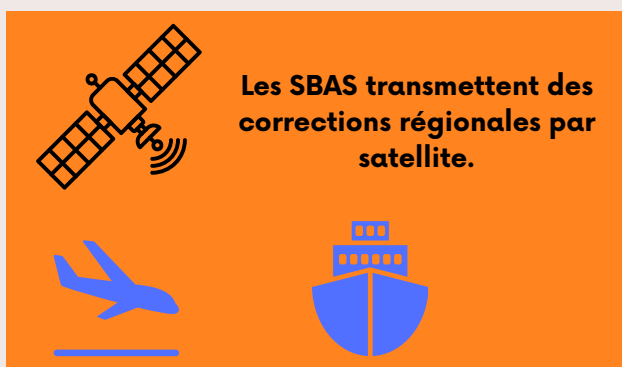
Le GNSS est utilisé dans de nombreuses applications, chacune offrant un niveau de précision différent selon l'usage.

Le GNSS standard, comme celui de votre smartphone ou de votre voiture, permet une localisation de base et fonctionne pratiquement partout sur Terre. Il ne nécessite aucun équipement supplémentaire et offre généralement une précision de 5 à 10 mètres, largement suffisante pour la navigation et les usages quotidiens.

Le RTK (Real-Time Kinematic) est beaucoup plus précis. Il utilise une station de base proche, aux coordonnées géodésiques connues, qui transmet des corrections en temps réel. Il offre une précision centimétrique, essentielle pour la topographie, les drones à courte portée et l'agriculture de précision. Sa portée est toutefois limitée, généralement à 20 km de la station, et il nécessite un équipement spécialisé.

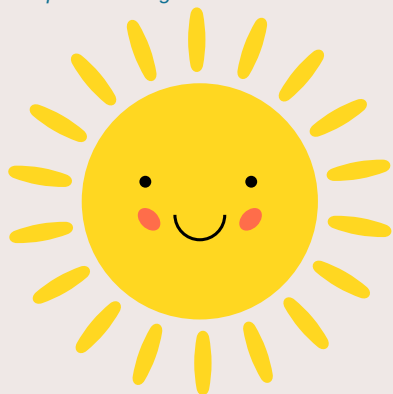
Le PPP (Precise Point Positioning) offre également une grande précision, sans station de base locale. Il utilise des récepteurs sophistiqués et des données de correction transmises par satellite ou Internet. Plusieurs minutes peuvent être nécessaires pour atteindre une précision élevée. Il convient au suivi scientifique, aux activités offshore et aux véhicules autonomes nécessitant une large couverture sans infrastructure locale.

Enfin, les systèmes SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems) améliorent la précision du GNSS standard grâce à des corrections régionales transmises par satellite. Avec un récepteur compatible, la précision atteint 1 à 3 mètres. Ils sont particulièrement utiles pour l'aviation, notamment les atterrissages sécurisés, et la navigation maritime. Ils sont disponibles dans certaines régions, comme l'Europe et l'Amérique du Nord.





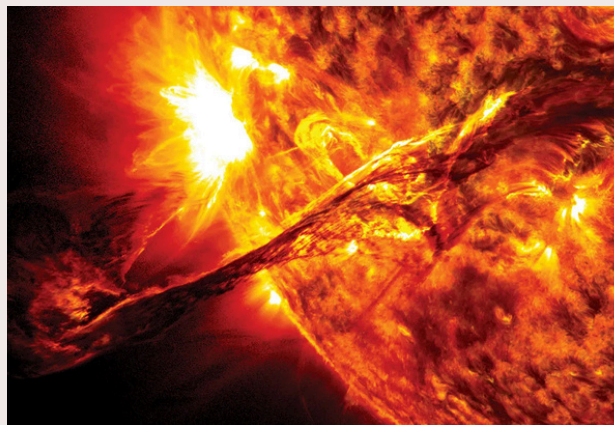
Les aurores, causées par des particules solaires entrant en collision avec l'atmosphère près des pôles, sont des signes visibles de la météo spatiale. Leurs couleurs dépendent du gaz et de l'altitude : vert et rouge pour l'oxygène, violet et bleu pour l'azote. Crédit image : Alex Dostie/UGC



La météo spatiale désigne les variations des conditions dans l'espace, principalement dues à l'activité solaire. Comme sur Terre, l'espace connaît aussi des phénomènes qui peuvent affecter notre planète et ses environs.

Le Soleil en est la principale source. Il libère constamment de l'énergie et des particules. Lorsqu'il est plus actif, notamment lors d'éruptions solaires ou d'éjections de masse coronale (CME), il peut envoyer de grandes quantités de rayonnement et de particules chargées vers la Terre, perturbant son champ magnétique et les couches externes de son atmosphère, comme l'ionosphère.

L'ionosphère est une région de la haute atmosphère terrestre, située entre environ 80 et 600 km d'altitude. Elle contient principalement des atomes neutres, surtout d'oxygène, et une faible proportion de particules chargées (ions et électrons), formées surtout par l'interaction entre le rayonnement solaire et les particules de la haute atmosphère. Elle est essentielle à la propagation des signaux radio sur de longues distances.



Éruption d'un filament solaire, observée le 31 août 2012. Un filament est une grande masse de plasma dense suspendue au-dessus de la surface du Soleil par des champs magnétiques. Son éruption peut affecter les satellites et les réseaux électriques. Crédit image : NASA

QU'EST-CE QUE LA MÉTÉO SPATIALE ?

Les principaux phénomènes à l'origine de la météo spatiale sont :



Vent solaire : Flux continu de particules chargées provenant du Soleil. Une tempête solaire peut accélérer ce flux.



Éruptions solaires : Puissantes explosions à la surface du Soleil, libérant de l'énergie et des rayonnements. Elles peuvent perturber les signaux radio et satellitaires sur Terre.



Éjections de masse coronale (CME) : Énormes nuages de plasma et de champs magnétiques expulsés par le Soleil. En atteignant le champ magnétique terrestre, ils peuvent provoquer des tempêtes géomagnétiques, perturbant les orbites des satellites, les signaux GNSS, les réseaux électriques et les communications radio.



Événements à protons solaires : Afflux de protons très énergétiques provenant du Soleil. Ils sont particulièrement dangereux pour les astronautes et peuvent endommager les équipements électroniques des satellites.

COMMENT LA MÉTÉO SPATIALE... PERTURBE-T-ELLE NOTRE ENVIRONNEMENT ?

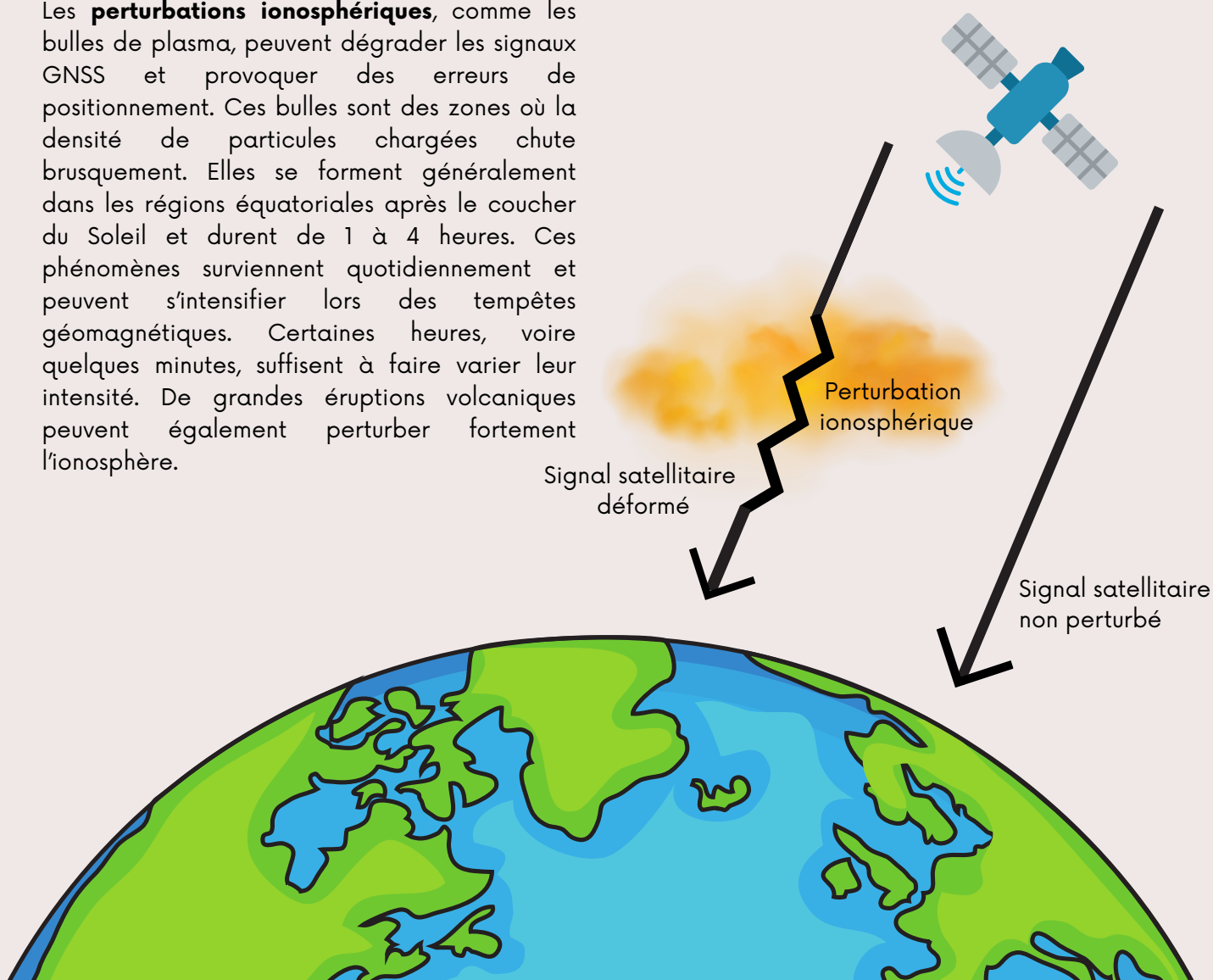
Lors des **éruptions solaires**, le Soleil émet de puissants rayonnements électromagnétiques, comme les rayons X, et parfois de fortes ondes radio. Les rayons X augmentent rapidement l'ionisation de la basse ionosphère, provoquant des coupures des communications radio HF. Les émissions radio peuvent aussi perturber les signaux GNSS. Ces éruptions durent de 15 minutes à plusieurs heures et peuvent survenir plusieurs fois par an.

Les **tempêtes géomagnétiques** perturbent le champ magnétique terrestre et peuvent rendre les signaux GNSS moins fiables. Elles surviennent environ 20 à 150 fois par an et durent généralement de 6 à 48 heures, parfois davantage.

Les **perturbations ionosphériques**, comme les bulles de plasma, peuvent dégrader les signaux GNSS et provoquer des erreurs de positionnement. Ces bulles sont des zones où la densité de particules chargées chute brusquement. Elles se forment généralement dans les régions équatoriales après le coucher du Soleil et durent de 1 à 4 heures. Ces phénomènes surviennent quotidiennement et peuvent s'intensifier lors des tempêtes géomagnétiques. Certaines heures, voire quelques minutes, suffisent à faire varier leur intensité. De grandes éruptions volcaniques peuvent également perturber fortement l'ionosphère.

Enfin, la **scintillation ionosphérique** est un effet de ces perturbations sur les signaux satellitaires traversant l'ionosphère, qui deviennent instables ou s'interrompent par intermittence. Elle provoque de brèves anomalies du GNSS et est fréquente près de l'équateur et dans les zones aurorales. Elle dure de quelques secondes à plusieurs heures, selon la localisation, la saison et l'activité solaire.

Même si certains effets sont faibles, un épisode sévère de météo spatiale peut fortement perturber le GNSS et d'autres systèmes satellitaires, compliquant la navigation, le suivi et la mesure précise du temps.



COMMENT ATTÉNUER LES EFFETS DE LA MÉTÉO SPATIALE ?

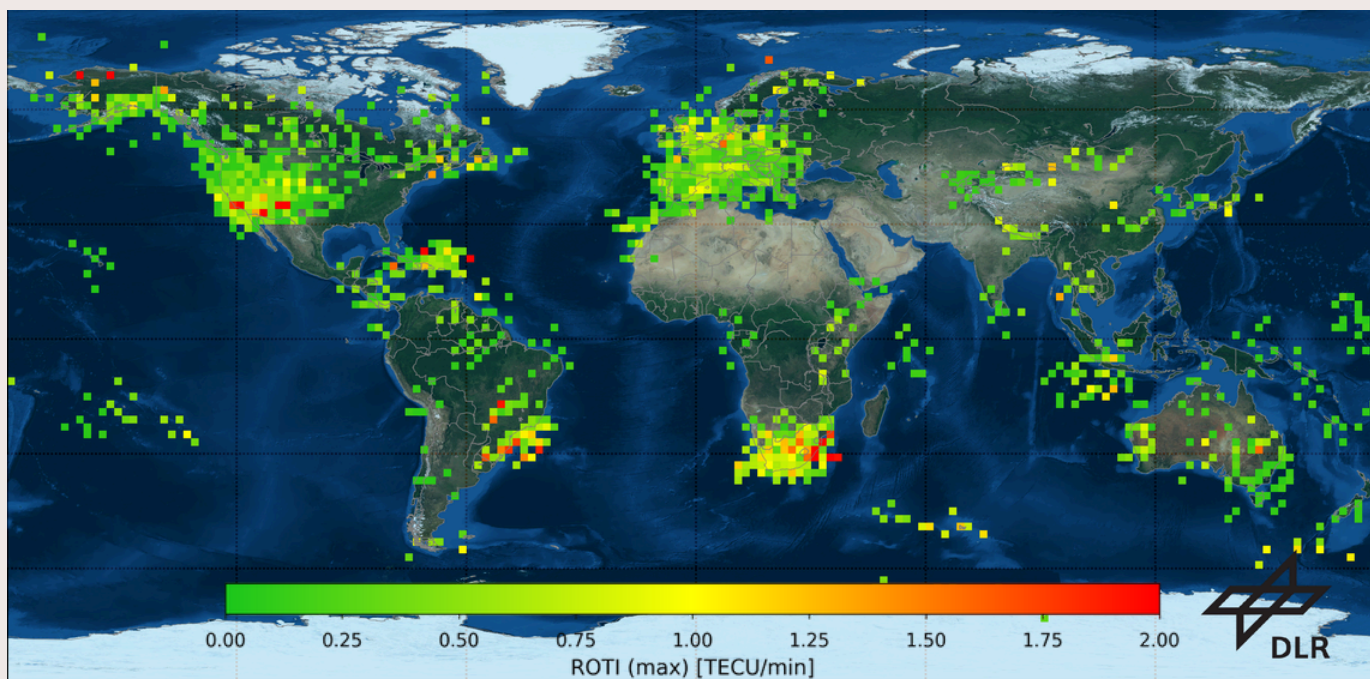
Image credit : NASA

Où que nous vivions, le GNSS fait partie de notre quotidien. Pourtant, un événement majeur de météo spatiale peut perturber de nombreux systèmes, des services bancaires à l'agriculture et à la navigation urbaine.

Les centres de météo spatiale du monde entier surveillent l'activité solaire et publient des bulletins, alertes et avertissements quotidiens sur les phénomènes susceptibles de perturber le GNSS. Certains proposent aussi des alertes par e-mail.

Lorsqu'un phénomène défavorable de météo spatiale est détecté, les centres spécialisés émettent des alertes GNSS à destination de l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale). Les équipages peuvent ainsi prendre des mesures préventives si nécessaire.

Comprendre la météo spatiale aide chacun et les entreprises à anticiper les perturbations du GNSS, à protéger les infrastructures critiques et à maintenir l'accès aux systèmes essentiels de navigation, de communication, de positionnement et de synchronisation horaire. Un enjeu essentiel dans notre monde technologique !



Sur cette carte, les carrés verts indiquent des conditions ionosphériques stables, tandis que les carrés orange et rouges signalent des irrégularités. Établie le 8 octobre 2025 par le Centre de surveillance et de prévision de l'ionosphère (IMPC) à partir de données GPS, elle représente l'indice ROTI (taux de variation du contenu électronique total), qui mesure la rapidité des fluctuations de la densité électronique.

Qu'est-ce que E-SWAN ?

L'Association européenne de météorologie spatiale et de climat spatial (E-SWAN), fondée en 2022, est une organisation à but non lucratif qui vise à fédérer et à développer les activités européennes dans ces domaines. Elle organise notamment des conférences, soutient les jeunes chercheurs, promeut l'éducation et encourage la collaboration entre scientifiques, ingénieurs et acteurs concernés. Axée sur l'Europe, elle collabore également à l'échelle internationale pour sensibiliser aux effets de la météo spatiale.

Qu'est-ce que EOCOM?

EOCOM, le comité Éducation et Sensibilisation d'E-SWAN, fait le lien entre la communauté scientifique de la météorologie et du climat spatiaux (SWSC) et le grand public. Ses activités comprennent la création de contenus pour les réseaux sociaux, l'organisation de cours et de webinaires, la publication d'un ouvrage sur le SWSC et l'enrichissement du site web d'E-SWAN. Ces initiatives visent à sensibiliser le public aux effets du SWSC en Europe, à diffuser les connaissances scientifiques et à promouvoir les possibilités de formation dans ce domaine.

À propos de ce livret

Ce livret d'information, « Mon système de navigation peut-il tomber en panne à cause de la météo spatiale ? », a été rédigé par Sophie Chabanski, Emmy Nagar, Lisa Nelson, Jan Janssens, Jean Lilensten, Corentin Liber et Elke D'Huys.

Publié le 17 octobre 2025.