COMITÉ : Environnement et technologies numériques
PROBLÉMATIQUE : Comment atténuer la pollution environnementale et lumineuse provoquée par les constellations de satellites, tout en préservant les bénéfices des réseaux mondiaux de télécommunications ?
PRÉSIDENTS : Jade FONTAINE MORCELA, Valentin IFTENIE et Jawad ABOU-CHEDID

PRÉSENTATION DE LA PRÉSIDENCE



Bonjour chers et chères délégué(e)s !

Je m'appelle Jade Fontaine Morcela, j'ai 16 ans et j'aurai le plaisir d'être votre présidente pour FerMun 2027, aux côtés de Valentin Iftenie et Jawad Abou-Chedid. Je suis en section excellence anglais au lycée international de Ferney-Voltaire. Née à Genève, je suis franco-portugaise et je vis en France. En général, j'aime la musique, la formule 1 et sortir avec mes amis. Élève du dispositif MUN depuis l'année dernière, j'ai eu l'opportunité d'être déléguée du Brésil dans le comité des droits du travail lors de la dernière conférence. Cette année, notre comité se penchera sur un enjeu d'actualité majeur : le déploiement des méga-constellations de satellites et les conséquences qui en découlent.

Des méga-constellations de satellites sont aujourd'hui déployées pour offrir une couverture internet mondiale et des capacités de communication à une échelle jusqu'alors inaccessible.

Si ces services répondent à une demande croissante, le déploiement d'un si grand nombre de satellites en orbite basse n'est pas sans conséquence. L'environnement en subit directement les répercussions, qu'il s'agisse de la pollution de l'air et de l'atmosphère par les particules métalliques issues de la désintégration des satellites en fin de vie, de la perturbation des écosystèmes et des espèces animales sensibles aux cycles naturels de lumière, ou encore de l'exploitation croissante de ressources naturelles nécessaires à leur fabrication.

Ce rapport a pour objectif de vous offrir un premier aperçu des enjeux qui seront débattus lors de la prochaine conférence. Vous y trouverez les conséquences actuelles de ces constellations de satellites, ainsi que les évolutions prévisibles pour notre avenir.

Votre mission sera donc de proposer des solutions permettant d'atténuer ces problèmes environnementaux, tout en préservant les bénéfices apportés par les réseaux mondiaux de télécommunications.

J'ai hâte, avec les autres présidents, de vous retrouver en janvier pour débattre de ce sujet passionnant et déterminant pour notre avenir.

Jade.



Bonjour chers et chères délégué(e)s!

Je me présente: Jawad Abou-Chedid, 17 ans, et j'aurai l'honneur d'assurer la présidence de ce comité pour FerMun 2027, aux côtés de Jade Fontaine Morcela et de Valentin Iftenie. Je suis en section britannique du Baccalauréat Français International (BFI) au lycée français international Jacques Prévert d'Accra, au Ghana. Né au Liban, je suis libanais et je vis au Ghana. En général, j'aime la diplomatie, la formule 1, le sport et passer du temps avec mes amis. Je parle également 5 langues: anglais, français, libanais, espagnol et russe. Élève du MUN depuis deux ans, j'ai eu l'opportunité d'être délégué du Ghana dans le comité Youth Assembly lors de la dernière conférence FERMUN, où j'ai rédigé une résolution sur les défis du multilatéralisme face à la montée du nationalisme. Cette résolution a été adoptée par le comité et sélectionnée pour être transmise au siège des Nations Unies à New York.

Le thème que nous aborderons cette année est d'une importance capitale: le déploiement des méga-constellations de satellites et l'ensemble des répercussions qui en découlent. Aujourd'hui, ces vastes réseaux de satellites sont mis en orbite dans le but d'assurer une connectivité internet planétaire et des capacités de communication majeurs.

Ces services répondent certes à une demande grandissante, mais l'envoi massif de satellites en orbite basse engendre des effets préoccupants. Les conséquences sur l'environnement sont bien réelles: libération de particules métalliques dans l'atmosphère lors de la combustion des

satellites en fin de cycle, dérèglement des écosystèmes et des espèces animales dont les comportements dépendent des cycles lumineux naturels, sans oublier l'extraction toujours plus intense des ressources nécessaires à leur conception.

L'objectif de ce rapport est de vous proposer une première approche des questions qui animeront nos débats lors de la conférence à venir. Vous y découvrirez les effets déjà observables de ces constellations, mais aussi les perspectives envisageables pour l'avenir.

Votre rôle consistera donc à imaginer des pistes permettant de réduire ces nuisances environnementales, sans pour autant sacrifier les avantages qu'offrent les réseaux mondiaux de télécommunications.

C'est avec impatience que les autres présidents et moi-même attendons de vous retrouver en janvier pour échanger sur ce sujet aussi passionnant que décisif pour notre futur.

Jawad

MOTS-CLÉS

Pollution : Dégradation de l'environnement par des substances (naturelles, chimiques ou radioactives), des déchets (ménagers ou industriels) ou des nuisances diverses (sonores, lumineuses, thermiques, biologiques, etc.). Bien qu'elle puisse avoir une origine entièrement naturelle (éruption volcanique, par exemple), elle est principalement liée aux activités humaines.

Constellation de satellites : Ensemble de satellites de télécommunications placés sur des orbites polaires circulaires, dans des plans différents, de manière à couvrir l'ensemble du globe.

Réseaux mondiaux de télécommunications : Ensemble de moyens qui permettent de transmettre des informations, de relier des lieux et des personnes. Ces réseaux sont essentiels pour la mondialisation, car ils facilitent les échanges à l'échelle mondiale.

Environnement : Ensemble des éléments naturels (physiques, chimiques, biologiques) et culturels ou sociaux qui entourent un être vivant ou une société et qui influencent son développement ainsi que ses besoins.

Atmosphère : L'atmosphère de la Terre est la couche gazeuse qui entoure le globe terrestre. Celle-ci est composée de plusieurs couches : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère. (cf. schéma de l'atmosphère p.8) L'atmosphère terrestre influence de nombreux phénomènes naturels en modulant la lumière, la température, la pression et le climat, c'est ce qu'on appelle l'effet de l'atmosphère.

Ozone : L'ozone est un gaz naturellement présent à l'état de traces dans l'atmosphère. Son rôle et son impact sur le vivant changent radicalement selon son altitude dans l'atmosphère : il protège la Terre dans la stratosphère, mais irrite les voies respiratoires et altère la végétation lorsqu'il se trouve près du sol dans la troposphère.

Ressources naturelles : Sources de matière et d'énergie accessibles économiquement dans l'environnement naturel sous forme primaire avant leur transformation par l'activité humaine. Une ressource naturelle peut être renouvelable à l'échelle humaine (biomasse animale ou végétale, eau) ou non (ressources métalliques, minéraux, ressources énergétiques fossiles, uranium).

COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, ou Comité des Nations Unies sur les utilisations pacifiques de l'espace) : Ce Comité a été créé par l'Assemblée générale en 1959 pour gouverner l'exploration et l'utilisation de l'espace au bénéfice de toute

l'humanité : pour la paix, la sécurité et le développement. Le Comité avait pour mission de passer en revue la coopération internationale dans les utilisations pacifiques de l'espace, d'étudier les activités liées à l'espace qui pourraient être entreprises par les Nations Unies, d'encourager les programmes de recherche spatiale et d'analyser les problèmes juridiques découlant de son exploration.

Orbite terrestre basse (LEO) : L'orbite terrestre basse (Low Earth orbit, LEO, en anglais) est un type d'orbite terrestre situé entre 350 et 1 400 kilomètres d'altitude. On considère généralement que l'orbite basse est comprise entre l'atmosphère et la ceinture de Van Allen.

Gouvernance internationale de l'espace : La gouvernance internationale de l'espace fait référence aux processus et normes qui régissent l'utilisation et l'exploration de l'espace extra-atmosphérique. Cela inclut la coopération internationale, la réglementation, la sécurité, la durabilité et les progrès scientifiques dans ce domaine.

APERÇU GLOBAL

Introduction :

Les constellations de satellites connaissent un développement sans précédent.

Depuis 2019, le nombre de satellites en orbite terrestre a explosé, pour atteindre aujourd'hui 15 000 (Article de la presse sur l'étude de l'ESO le 2 juillet 2026), principalement des satellites de télécommunications Starlink de SpaceX.

Leur fonction principale est de fournir un accès à Internet haut débit à l'échelle mondiale, en particulier dans les zones rurales, isolées ou mal desservies par les infrastructures terrestres classiques comme la fibre optique. Elles permettent également d'assurer une continuité de connexion en cas de catastrophe naturelle ou de conflit, lorsque les réseaux terrestres sont endommagés, et répondent ainsi à un véritable enjeu de désenclavement numérique pour des millions de personnes à travers le monde.

Cependant, bien qu'utiles, ces constellations représentent de nombreux enjeux pour le monde de demain.

D'abord, nous commencerons par présenter l'utilité de ces constellations avant d'aborder leurs effets néfastes. En effet, les constellations de satellites ont des effets sur l'atmosphère et la chimie de l'ozone dû aux déchets émis par les satellites en fin de vie et les collisions, ce qui peut créer des perturbations pour les animaux nocturnes et les oiseaux migrateurs.

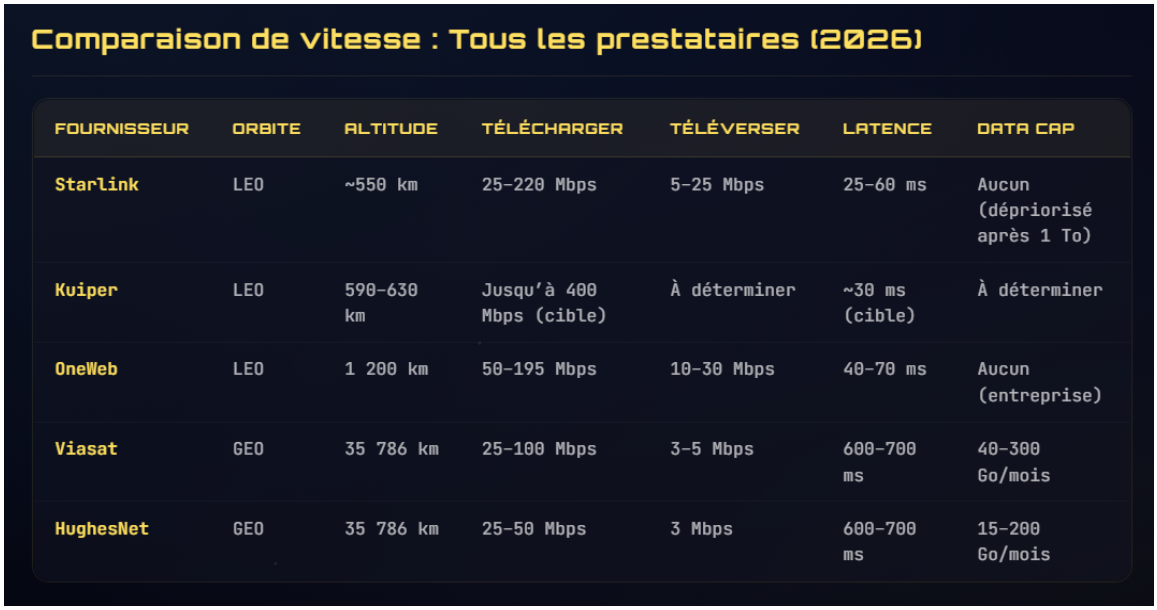
De plus, la biodiversité est également menacée, notamment du fait des extractions minières de ressources naturelles nécessaires à leur fabrication. Enfin, les débris spatiaux qu'elles génèrent constituent un risque environnemental supplémentaire ainsi que pour la science.

Ce rapport propose donc d'examiner ces différents enjeux afin d'identifier des solutions permettant de concilier les bénéfices des réseaux mondiaux de télécommunications avec la préservation de notre environnement.

I. Un outil au service de la connectivité mondiale : les constellations de satellites

Plusieurs opérateurs se partagent les plus grandes méga-constellations existantes, notamment SpaceX avec la constellation Starlink aux Etats-Unis, Amazon avec la constellation Kuiper également aux Etats-Unis ou encore Eutelsat avec la constellation OneWeb au Royaume-Uni.

Par exemple, Starlink permet de diminuer la latence, qui est le délai de transmission dans les communications informatiques, la faisant passer de 600 ms (orbite géostationnaire) à environ 20 ms, grâce à l'orbite basse, ce qui est plus rapide que d'autres techniques d'Internet haut débit comme nous le montre le tableau ci-dessous. Cette diminution permet donc l'optimisation des performances des applications, l'amélioration de l'expérience de l'utilisateur et l'efficacité opérationnelle.



Comparaison de vitesse : Tous les prestataires (2026)

FOURNISSEUR	ORBITE	ALTITUDE	TÉLÉCHARGER	TÉLÉVERSER	LATENCE	DATA CAP
Starlink	LEO	~550 km	25–220 Mbps	5–25 Mbps	25–60 ms	Aucun (déprioriséaprès 1 To)
Kuiper	LEO	590–630 km	Jusqu'à 400 Mbps (cible)	À déterminer	~30 ms (cible)	À déterminer
OneWeb	LEO	1 200 km	50–195 Mbps	10–30 Mbps	40–70 ms	Aucun (entreprise)
Viasat	GEO	35 786 km	25–100 Mbps	3–5 Mbps	600–700 ms	40–300 Go/mois
HughesNet	GEO	35 786 km	25–50 Mbps	3 Mbps	600–700 ms	15–200 Go/mois

(OrbitalRadar)

Selon un rapport de la FCC de 2021 (p.20), environ 14,5 millions d'Américains n'avaient pas accès en 2021 à l'Internet haut débit, un besoin que ces constellations visent à combler.

Ces constellations répondent aujourd'hui à des usages qui vont bien au-delà du simple accès Internet résidentiel. Dans le secteur maritime, Starlink équipe déjà plus de 150 000 bateaux (pêche, marine marchande, croisières, plaisance). Dans l'aviation, de grandes compagnies aériennes comme United, Southwest, Alaska Airlines ou Air Canada équipent leurs avions pour offrir du WiFi en vol. Ces réseaux jouent aussi un rôle central en gestion de crise, en permettant un déploiement rapide d'antennes dans les zones touchées par des ouragans, séismes ou inondations, pour maintenir la connectivité des secours et permettre aux populations sinistrées de contacter leurs proches. S'ajoutent à cela des usages militaires et de sécurité, ainsi que la connectivité mobile directe (« Direct-to-Cell »), qui permet depuis 2025 aux smartphones standards de se connecter directement aux satellites sans antenne ni équipement spécial.
(cf. MacGeneration et The Global Statistics)

On ne pourrait donc pas totalement s'en passer dans l'état actuel des infrastructures mondiales : environ 2,9 milliards de personnes restaient hors ligne en 2026, une grande partie d'entre elles vivant dans des zones où le déploiement de fibre ou de réseaux mobiles terrestres resterait économiquement peu rentable pour les opérateurs classiques. Comme nous l'indique l'article "Statistiques Starlink 2026 : Abonnés, Revenus, Vitesse et Données de Constellation" réalisé par Axis Intelligence en 2026, les constellations satellitaires représentent, pour l'instant, la solution la plus rapide à déployer dans ces zones, contrairement à la fibre qui nécessite des travaux d'infrastructure lourds et coûteux.

En 2026, la croissance reste extrêmement rapide : Starlink revendique plus de 12 millions de clients dans plus de 160 pays en juin 2026, contre 9 millions seulement en février de la même année. SpaceX a ouvert 35 nouveaux marchés rien qu'en 2025, avec une croissance désormais tirée principalement par les marchés émergents (Brésil, Nigeria, Philippines, Indonésie, Malaisie) plutôt que par les zones rurales déjà saturées aux Etats-Unis. (cf. Wikipédia et Axis Intelligence)

Interrompre le déploiement de ces constellations priverait potentiellement des centaines de millions de personnes d'un accès à une connectivité de base, alors même que les besoins en bande passante augmentent avec la généralisation du télétravail, de la télémédecine et de l'éducation à distance. C'est ce dilemme, entre bénéfice social réel et coût environnemental croissant, qui justifie une approche de régulation plutôt qu'un arrêt pur et simple, et qui sera développé dans la suite de ce rapport.

Cependant, bien qu'utiles, ces constellations représentent de nombreux enjeux pour le monde de demain.

II. Au cœur de l'atmosphère : entre transformations chimiques et collisions

A. Un espace de plus en plus encombrés : le risque de collision

Plus il y a de satellites, plus le risque de collision augmente en cascade, et cette cascade (syndrome de Kessler) pourrait devenir auto-entretenue, c'est-à-dire continuer même si on arrêtait toute action.

Par exemple, la constellation Starlink de SpaceX a dû effectuer environ 300 000 manœuvres anti-collision sur la seule année 2025, un chiffre en hausse de 50 % par rapport à 2024 selon l'article de FodNews sur le rapport de l'ESO de 2026, ce qui illustre à quel point l'espace bas est devenu encombré à mesure que la constellation grandit.

Un déséquilibre d'intérêts se crée alors. Les pays qui possèdent déjà des méga-constellations (États-Unis avec SpaceX, Royaume-Uni avec Kuiper d' Amazon et OneWeb de Eutelsat ou encore Chine avec CTC-1, CTC-2 et Guowang) souhaitent davantage avoir des règles souples pour continuer à déployer vite sans contraintes ; les pays sans constellation propre (la majorité) subissent le risque de collision et l'encombrement orbital sans en tirer le même bénéfice économique. Ce phénomène illustre un cas typique où la rapidité d'action confère à certains acteurs le pouvoir de définir unilatéralement les normes applicables à tous, au prix d'inégalités croissantes.

B. La pollution des constellation en fin de vie

Au sein de notre atmosphère, l'ozone, un gaz composé de trois atomes d'oxygène, est naturellement présent. Cependant, lorsque sa concentration devient trop importante dans les basses couches de l'atmosphère, il peut mettre en danger les systèmes vivants : on appelle cela la pollution à l'ozone.

Cette pollution peut survenir notamment lorsque l'aluminium des satellites en fin de vie réagit avec l'oxygène lors de l'entrée de l'atmosphère, précisément au moment où le satellite traverse la mésosphère, ce qui crée des oxydes d'aluminium qui catalysent l'activation du chlore. Cette activation du chlore est dangereuse car il devient alors suffisamment réactif pour détruire l'ozone stratosphérique, ce qui contribue à l'amincissement de la couche d'ozone et augmente l'exposition au rayons UV nocifs. Ces UV supplémentaires peuvent endommager les cellules et l'ADN, augmenter les risques de cancers cutanés et de cataracte, et perturber les écosystèmes comme l'indique l'UNEP dans son article "Ozone and You".

Les satellites en orbite basse (LEO) évoluent typiquement entre 500 et 2000 km d'altitude donc bien en dessus de la mésosphère. Ils traversent cette couche uniquement lors de la rentrée atmosphérique en fin de vie. Cette couche d'ozone se situe dans la stratosphère (environ 15 à 50 km d'altitude) ce qui explique pourquoi les particules libérées lors de la rentrée peuvent descendre et interagir avec l'ozone stratosphérique.

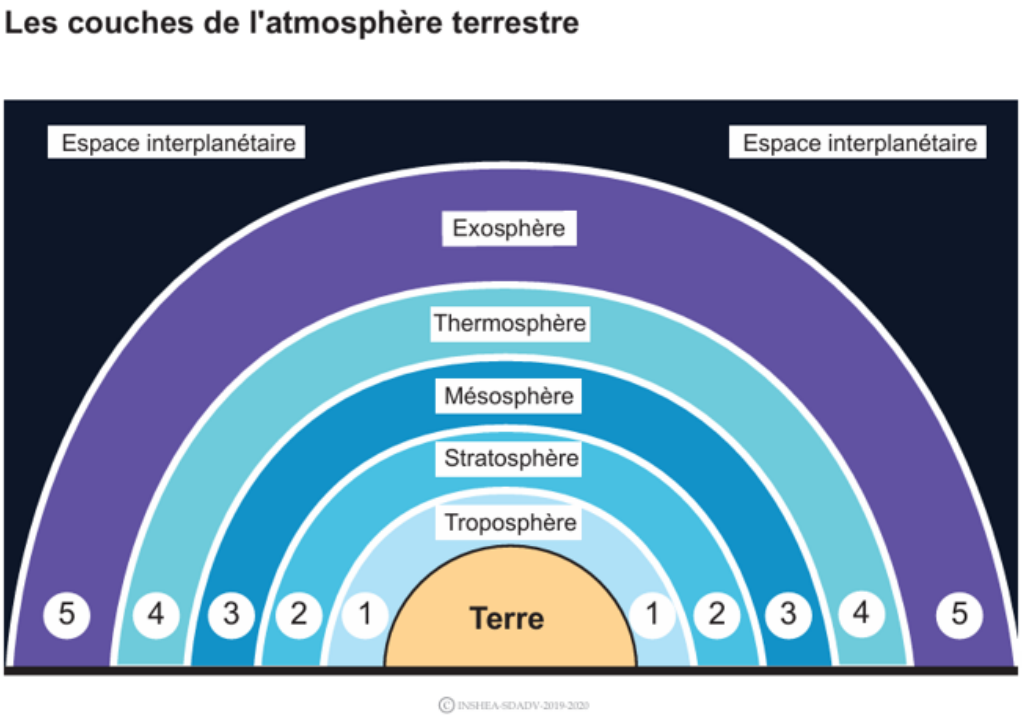
Un satellite typique de 250 kg génère environ 30 kg de nanoparticules d'oxyde d'aluminium en se désintégrant, des particules qui peuvent persister des décennies dans l'atmosphère. En 2022, l'ensemble des satellites rentrant dans l'atmosphère a généré environ 17 tonnes métriques de ces composés ; les scénarios de méga-constellations prévoient plus de 360 tonnes métriques par an, ce qui pourrait entraîner un appauvrissement significatif de l'ozone.

Une étude plus récente confirme et actualise ces chiffres : en 2024, la quantité d'oxydes d'aluminium injectée dans la mésosphère par les objets anthropiques en orbite basse a plus que triplé depuis 2016, les lanceurs (étages de fusée) contribuant désormais davantage que les

satellites eux-mêmes à cette pollution. En mars 2026, une analyse confirme qu'en 2022, le total d'aluminium généré par les rentrées de satellites avait déjà atteint 41,7 tonnes métriques, soit environ 30 % de plus que ce que la planète reçoit naturellement des débris spatiaux — un chiffre jugé modeste comparé à la trajectoire actuelle, avec plus de 9 000 satellites Starlink en orbite début 2026. Plus récemment encore, une étude inédite publiée en février 2026 par l'Institut Leibniz de physique atmosphérique (Allemagne) est parvenue, pour la première fois, à relier un événement précis de rentrée atmosphérique à un panache de pollution directement détecté dans l'atmosphère. (cf. ScienceDirect, septembre 2025 et FODNews, mars 2026)

Une étude plus récente de la NOAA (2025) estime que le nombre de satellites en orbite basse pourrait dépasser 60 000 d'ici 2040, et que ces retombées d'aluminium pourraient modifier la vitesse du vortex polaire, réchauffer certaines parties de la mésosphère jusqu'à 1,5°C, et affecter la couche d'ozone.

Pour mieux comprendre à quelle altitude se déroulent ces phénomènes, voici un schéma des différentes couches de l'atmosphère l'atmosphère réalisé par l'INSEI :



III. Les espèces animales en danger et importance de l'obscurité

A. Perturbation des animaux nocturnes et des oiseaux migrateurs

De nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs nocturnes, comme le bruant indigo ou le rouge-gorge européen, utilisent la position des étoiles pour s'orienter durant leurs trajets, en particulier lorsque le champ magnétique terrestre ne suffit pas à les guider. Or, la lumière

artificielle produite par les satellites peut être confondue avec ces repères stellaires : elle provoque alors une désorientation, une migration prématurée, voire des collisions avec des structures illuminées, comme le souligne l'article de l'IJRASET (2024) (International Journal For Research In Applied Science and Engineering Technology).

Ce constat est officiellement reconnu au niveau intergouvernemental par la CMS (Convention des Nations Unies sur les espèces migratrices), qui affirme que la lumière artificielle perturbe des comportements essentiels de la faune et des processus écologiques, pouvant freiner le rétablissement d'espèces menacées et compromettre la capacité des espèces migratrices à accomplir les déplacements longue distance indispensables à leur cycle de vie. La lumière artificielle affecte également les insectes, source de nourriture primaire pour de nombreuses espèces migratrices. Ce sujet est encadré depuis 2020 par une résolution officielle adoptée lors de la COP13 de la CMS (Gandhinagar, Inde), complétée par des lignes directrices internationales spécifiquement dédiées à la réduction de la pollution lumineuse pour les espèces migratrices.

B. Préserver la nuit : un besoin essentiel pour la vie

Au-delà de la seule navigation, l'exposition à la lumière artificielle nocturne perturbe plus largement les rythmes biologiques du vivant. Elle réduit notamment la production de mélatonine, une hormone qui régule non seulement le sommeil, mais aussi les fonctions immunitaires et la reproduction saisonnière avec des effets en cascade déjà documentés chez les oiseaux, les reptiles et les mammifères. (cf. article de Sciencedirect d'Avril 2023)

Ce constat rejoint celui du NPS (National Park Service, agence fédérale américaine), qui confirme qu'un environnement naturellement sombre constitue une ressource vitale pour l'ensemble des organismes vivants, au même titre que le sommeil : aucune espèce ne peut véritablement fonctionner sans lui.

Cette urgence est également soulignée par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), autorité mondiale de référence sur l'état de la nature. Selon une étude publiée dans la revue Science qu'elle cite, le nombre d'étoiles visibles dans le ciel nocturne a diminué de 7 à 10 % par an entre 2011 et 2022. Cette tendance, si elle est aujourd'hui principalement due à l'éclairage terrestre, illustre la vitesse à laquelle l'obscurité naturelle continue de reculer à l'échelle mondiale, un phénomène auquel la croissance des méga-constellations vient désormais s'ajouter. En effet, même si les satellites contribuent à la pollution lumineuse, il existe également des sources terrestres qui contribuent à celle-ci tel que l'éclairage urbain public, des bâtiments, des endroits industriels et portuaires ou encore des infrastructures de transports (aéroports, ...).

IV. À la conquête de l'espace, au détriment de la Terre ?

A. De la Terre à l'espace : le coût environnemental des satellites

La fabrication de dizaines de milliers de satellites requiert des quantités importantes de métaux comme l'aluminium, le cuivre, ou encore les terres rares dont l'extraction a des répercussions directes sur les écosystèmes terrestres.

Selon un rapport officiel du PNUE de 2025 (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), l'extraction minière mondiale a été multipliée par cinq depuis 1970, et la demande pour des minéraux critiques comme le nickel, le cobalt, le graphite ou les terres rares a augmenté de 8 à 15 % rien qu'en 2023, une trajectoire que la fabrication de méga-constellations vient encore accentuer.

La plupart des extractions sont réalisé dans des pays africains tels que la République Démocratique du Congo (RDC) pour le Cobalt (indispensable pour les batteries et super alliages résistants à la chaleur), la Guinée pour le Bauxite et l'Aluminium (matériau principal pour la structure légère des satellites), l'Afrique du Sud et Zimbabwe pour le Platine et métaux du groupe du platine (utilisés dans les composants électroniques et les capteurs) et le Rwanda pour le Tantale (Coltan) (crucial pour les condensateurs des cartes électroniques miniatures) comme nous l'indique ce rapport du parlement européen.

Cette extraction minière n'est pas sans conséquence sur la biodiversité : elle implique un défrichement des terres, l'utilisation de produits chimiques toxiques et la production de grandes quantités de déchets, ce qui peut causer une perte importante d'habitats, une contamination de l'eau, ainsi qu'une pollution de l'air et des sols, une conséquence aussi sur les vies humaines. (cf. l'article "Mapping the Impact and Conflicts of Rare-Earth Elements 2023).

B. Une empreinte carbone dès le lancement

Au-delà de la fabrication, le lancement même de ces satellites a un impact atmosphérique direct: selon une étude de la NOAA de 2022 (agence fédérale américaine océanique et atmosphérique), les fusées émettent du carbone noir directement dans la stratosphère, où ces particules s'accumulent et absorbent le rayonnement solaire, réchauffant l'air environnant, un phénomène qui s'accélère avec la croissance de l'industrie spatiale.

La NASA confirme, dans un rapport technique officiel d'octobre 2024, que d'ici 2040, le flux total mondial de particules émises par les lancements et les rentrées atmosphériques (carbone noir et oxydes métalliques) sera comparable au flux naturel de fond causé par les météorites,

signe d'une pollution stratosphérique désormais du même ordre de grandeur que les phénomènes naturels eux-mêmes.

V. Débris spatiaux : un risque qui dépasse l'environnement

A. Quand l'espace devient une décharge

Selon le rapport officiel de l'ESA de 2025, environ 40 000 objets sont désormais suivis en orbite, dont environ 11 000 satellites actifs, mais on estime à plus de 1,2 million le nombre réel de débris de plus d'1 cm, assez gros pour causer des dégâts catastrophiques.

À l'altitude de 550 km, soit la thermosphère, l'ESA constate désormais que la densité de débris atteint le même ordre de grandeur que la densité de satellites actifs eux-mêmes. Des satellites ou étages de fusée entiers entrent désormais dans l'atmosphère en moyenne plus de trois fois par jour.

Selon un rapport de la NASA cité par CNN en 2022, malgré la désintégration atmosphérique, un risque de retombées sur Terre est omniprésent. Il existe au moins 26 000 débris spatiaux de la taille d'une balle de softball ou plus, capables de détruire un satellite en cas d'impact, et plus de 500 000 débris de la taille d'une bille pouvant endommager un vaisseau ; si la majorité des objets se désintègrent en rentrant dans l'atmosphère, les retours des objets plus volumineux (satellites entiers, étages de fusée) doivent être précisément planifiés par les agences spatiales pour éviter qu'ils ne s'écrasent sur des zones habitées.

Un “cimetière spatial” du Pacifique Sud a été créé depuis 1971 afin que plus de 263 engins spatiaux y soient volontairement désorbités, une zone centrée sur le Point Nemo, l'endroit du globe le plus éloigné de toute terre habitée. Cette pratique vise à réduire le risque pour les populations, mais déplace le problème vers l'océan comme nous l’indique cet article du Space Daily citant également le rapport GESAMP 2021.

Actuellement il n’existe encore aucune loi contraignante spécifique encadrant la pollution marine causée par les débris spatiaux (cf. article de Ocean Vision de 2022).

B. Un enjeu scientifique : l’astronomie face à une menace croissante

En plus de l’enjeu environnemental que posent les satellites, se pose également un défi scientifique. Le passage d'un satellite laisse une traînée lumineuse qui masque les objets observés. Jusqu'à “28 % du champ de vision”[1] du Very Large Telescope pourrait être perdu sur une image prise deux heures après la tombée de la nuit avec la constellation SpaceX complète.

[1] Etude de l'ESO qui alerte sur la perte de visibilité

Pour donner une idée de ce que cela représente, voici cette image qui montre des satellites traversant le ciel nocturne au-dessus du désert d'Atacama au nord du Chili en seulement une heure. C'est un empilement d'une vidéo en time-lapse prise le 15 octobre 2025 environ deux heures après le coucher du soleil.
Sur cette dernière, nous pouvons observer que les traînées lumineuses du ciel polluent la vision des étoiles.

Photographie du ciel nocturne montrant des satellites passant durant une heure au-dessus du nord du désert d'Atacama, au Chili



(ESO, 2026)

L'enjeu est presque existentiel selon l'ESO : au-delà d'un seuil de 100 000 satellites (sous le seuil de visibilité à l'œil nu), la capacité même de pratiquer de l'astronomie optique au sol depuis la Terre serait compromise.

Au-delà de la curiosité scientifique, elle a des retombées concrètes comme la détection d'astéroïdes potentiellement dangereux pour la Terre, des innovations technologiques (capteurs optiques, imagerie) qui migrent vers la médecine ou les télécommunications, et des repères utiles à la navigation.

Elle répond aussi à des questions fondamentales sur nos origines et notre place dans l'univers, tout en représentant un investissement scientifique colossal déjà réalisé, qu'une dégradation progressive du ciel nocturne rendrait en partie inutile.

Enfin, le ciel étoilé est un patrimoine culturel partagé attesté par l'UNESCO (cf article "Atelier international et réunion d'experts sur les « Réserves de ciel nocturne et patrimoine mondial » du 16 mars 2009). Le risque posé par les constellations de satellites n'est pas une extinction brutale de l'astronomie, mais un effritement continu de sa capacité à détecter les phénomènes les plus faibles et les plus rares qui sont souvent les plus intéressants scientifiquement.

TRAITÉS DE L'ONU ET GRANDS ÉVÉNEMENTS

27/01/1967
Signé le 27 janvier 1967 et entré en vigueur le 10 octobre 1967 en pleine Guerre froide, le Traité sur l'espace a posé les bases du droit spatial international en interdisant l'appropriation nationale de l'espace, en garantissant son utilisation pacifique et en établissant la responsabilité des États pour leurs activités spatiales. (UNOOSA)

29/03/1972
Signée le 29 mars 1972 et entrée en vigueur le 1er septembre de la même année, la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux a instauré un cadre juridique définissant la responsabilité des États en cas de dommages liés aux objets et débris spatiaux. (UNOOSA)

13/11/1979
Adoptée le 13 novembre 1979 et entrée en vigueur le 15 juillet 2021, la convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance a permis de créer un traité dans lequel la pollution de l'air qui traverse les frontières entre États est encadrée, avec une définition assez large pour potentiellement inclure les rejets liés aux activités spatiales. (UNECE)

08/06/2017
L'ESO a soutenu l'Union astronomique internationale (IAU) dans la soumission d'un document au COPUOS, soulevant la question de la protection des ciels sombres et recommandant l'organisation d'une conférence internationale par l'IAU et le Bureau des affaires spatiales des Nations Unies (UNOOSA). (UNOOSA)

09/2017
En septembre 2017, l'Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) a publié la "Statement on Large Constellations of Satellites in Low Earth Orbit", qui propose des moyens supplémentaires pour que les méga-constellations respectent les lignes directrices de mitigation des débris spatiaux. (IADC)

28/10/2019 - 22/11/2019
Cette résolution a depuis été révisée lors de la Conférence mondiale des radiocommunications de 2023. La version actuellement en vigueur s'appelle donc Résolution 35 et l'ITU y a ajouté un système de suivi en plusieurs étapes (M0, M1, M2, M3) pour vérifier que les opérateurs

respectent bien leurs jalons de déploiement des satellites. C'est donc un moyen d'approche fondée sur des jalons afin de "réguler" un peu le sur-déploiement de satellites. (ITU)

22/02/2020
Du 15 au 22 février 2020, la convention des espèces migratrices (CMS) a été créée afin d'établir une résolution sur la pollution lumineuse. Ce texte onusien reconnaît officiellement que la lumière artificielle perturbe les espèces migratrices et appelle les Etats à réduire leur impact. (CMS)

10/09/2021
Le rapport GESAMP de 2021 est réalisé par un groupe de scientifiques mandatés conjointement par plusieurs agences de l'ONU dans lequel ils reconnaissent pour la première fois que les engins spatiaux désorbités sont une source émergente de déchets dans les océans. (GESAMP)

09/10/2025
Ce rapport onusien (PNUE) alerte sur les impacts sociaux et environnementaux de l'explosion de la demande en minéraux nécessaires aux technologies modernes, dont l'extraction minière liée à la fabrication de satellites. (UNEP)

SOLUTIONS POSSIBLES

Le déploiement des méga-constellations de satellites est actuellement source d'une tension croissante entre le besoin de connectivité mondiale et la préservation de l'environnement, de la biodiversité ou encore du ciel nocturne. La trajectoire prévue (jusqu'à 1,7 million de satellites projetés) risque d'accentuer cette tension si aucune mesure n'est prise.

Mais des idées de solutions existent, à plusieurs niveaux :

1. Des normes techniques contraignantes imposées aux opérateurs

➔ Des revêtements et dispositifs anti-réflexion. L'utilisation de revêtements sombres ou de pare-soleil déployables, comme le "VisorSat" développé par Starlink, permettrait de réduire la réflectivité des satellites, limitant ainsi leur pollution lumineuse nocturne qui perturbe la faune sauvage.

➔ Une limitation des matériaux polluants en fin de vie. Réglementer les alliages métalliques utilisés dans la fabrication des satellites (aluminium notamment) pour réduire la formation d'oxydes métalliques et de particules polluantes lors de leur désintégration atmosphérique.

➔ Le partage obligatoire des données de position. Rendre obligatoire la diffusion en temps réel des éphémérides orbitales permettrait de réduire le risque de collision entre satellites, limitant ainsi la production de nouveaux débris spatiaux.

2. Le renforcement de la recherche scientifique environnementale

➔ Des modèles de simulation atmosphérique plus précis. Développer des modèles capables de mesurer l'impact cumulé des rentrées atmosphériques de satellites sur la couche d'ozone et la chimie stratosphérique, à l'image des travaux déjà menés par la NOAA et la NASA sur le sujet.

➔ Des études d'impact sur la biodiversité. Financer des recherches indépendantes sur les effets de la pollution lumineuse et de l'extraction minière liées aux constellations sur les écosystèmes terrestres et marins, un champ encore peu documenté selon le rapport GESAMP de 2021.

3. Une meilleure coordination entre institutions

➔ Des espaces de dialogue entre acteurs publics et privés. Encourager la création de lieux de rencontre entre États et opérateurs privés favoriserait la mise en place de solutions mieux adaptées à tous.

➔ Un rapprochement des instances existantes. L'ITU (qui gère le spectre radio et le rythme de déploiement) et le COPUOS (qui encadre la diminution des débris et la responsabilité environnementale des États) fonctionnent aujourd'hui de manière trop cloisonnée ; un rapprochement entre ces deux institutions permettrait une régulation plus cohérente de l'impact environnemental global.

4. Une réglementation équilibrée qui reconnaît aussi les bénéfices

➔ La priorisation géographique de la connectivité. La création de zones de connectivité satellitaire prioritaires dans les régions les plus isolées répondrait au besoin réel de désenclavement numérique, tout en concentrant les efforts de régulation dans les zones sensibles sur le plan écologique (réserves naturelles, couloirs de migration, zones marines protégées).

➔ La surveillance du rythme de déploiement. Il est crucial de suivre l'évolution du nombre de satellites lancés pour éviter un déséquilibre entre bénéfice de connectivité et dégradation environnementale cumulative.

➔ Une désorbitation accélérée en fin de vie. Certains projets encouragent une norme de désorbitation à 5 ans plutôt que 25 ans, afin de réduire l'accumulation de débris inactifs en orbite basse — une mesure qui limite à la fois le risque de collision et la quantité de matériaux qui finiront par se désintégrer dans l'atmosphère.

5. Une gestion responsable des ressources et de l'extraction minière

➔ Des standards d'approvisionnement responsable. S'appuyer sur les recommandations du PNUE en matière de financement responsable des minéraux critiques pour encadrer l'extraction des métaux nécessaires à la fabrication des satellites.

➔ Un encadrement de la désorbitation océanique. Développer des règles internationales spécifiques pour la zone du "cimetière spatial" du Pacifique Sud, aujourd'hui dépourvue de cadre juridique contraignant selon Ocean Vision Legal, afin de mieux évaluer et limiter la contamination marine.

Pistes de réflexion pour votre délégation :

1. Devons-nous privilégier des normes techniques contraignantes imposées aux opérateurs ou bien un cadre d'incitations volontaires accompagné de contrôles renforcés ?
2. Devrions-nous réglementer la conception et la fabrication des satellites (luminosité, matériaux, durée de vie en orbite) ?
3. Devrions-nous réglementer le déploiement des constellations ? Uniquement dans certaines zones orbitales ou à proximité de zones écologiquement sensibles (réserves naturelles, couloirs de migration, zones marines protégées) ?
4. Qui devrait porter la responsabilité financière des mesures d'atténuation : les opérateurs privés, les États qui les autorisent, ou un fonds international mutualisé ?
5. Faut-il un moratoire temporaire sur les nouveaux déploiements, le temps d'établir des normes internationales contraignantes ?
6. Le principe du "premier arrivé, premier servi" appliqué aux fréquences et orbites est-il compatible avec une gestion équitable d'une ressource mondiale partagée entre tous les États ?
7. Votre pays possède-t-il une industrie spatiale commerciale à protéger, ou des infrastructures astronomiques majeures à préserver? Et comment cette position influence-t-elle votre stratégie de négociation ?
8. Votre pays dépend-il des constellations satellitaires pour combler un déficit de connectivité, ou dispose-t-il déjà d'une infrastructure terrestre (fibre, réseaux mobiles) suffisante pour se passer de ce type de solution ?
9. Votre pays est-il directement exposé aux conséquences environnementales des débris spatiaux (zones de désorbitation océanique à proximité, survol par des trajectoires de rentrée atmosphérique) ?

BIBLIOGRAPHIE

1. Rapports institutionnels et documents officiels

ESA — Space Environment Report 2025 : ESA
UNEP (PNUE) — Ozone and You : https://ozone.unep.org/ozone-and-you
CMS — Constat de la CMS dans lequel est affirmer que la lumière artificielle perturbe la faune et la biodiversité : CMS
UNESCO — Astronomie et héritage du monde : https://whc.unesco.org/en/astronomy/
Qu'est-ce que l'ozone ? par INERIS : www.ineris.fr
Schéma de l'atmosphère par l'INSEI : www.insei.fr
Constellation de satellites par Union astronomique internationale (IAU) : iauarchive.eso.org
Extraction des ressources minérales et transition énergétique par PNUE (UNEP) : https://www.unep.org/

2. Articles scientifiques (preprints académiques)

Rapport au Conseil de l'ESO — *"A Report on the Impact of Satellite Constellations"* (2020) : arxiv.org
Article de l'IJRASET sur les collisions et les migrations : www.ijraset.com
Article de ScienceDirect : www.sciencedirect.com
Une nouvelle étude de l'ESO évalue l'impact des constellations de satellites sur les observations astronomiques par ESO : https://www.eso.org/public/belgium-fr/news/eso2004/
Article de Orbital Radar sur les différents satellites : orbitalradar.com
La pollution lumineuse par UICN (IUCN) : iucn.org

3. Articles de presse

Article de presse sur l'étude de l'ESO : www.lapresse.ca
Article de FodNews sur le rapport de l'ESO : fodnews.com
Gizmodo — *"ESO study finds that no more than 100,000 satellites should orbit Earth"* : gizmodo.com
Franceinfo — *"La pollution lumineuse des constellations de satellites… inquiète les astronomes"* : www.franceinfo.fr

4. Vidéos pour approfondir

- Brut — "Starlink : la pollution lumineuse des satellites de SpaceX" : https://www.brut.media/fr/videos/sciences-technologies/technologies/starlink-la-pollution-lumineuse-des-satellites-de-spacex
- Romain Sordello — "Pollution lumineuse et biodiversité" (Espace des sciences) : https://www.youtube.com/watch?v=K5RF4xl0uv8
- "The Dark Side of Bright Nights: How Artificial Light Transforms Biodiversity" (documentaire, juin 2026) : https://www.youtube.com/watch?v=E5wil6PM9iU