

# SATELLITES ET ENVIRONNEMENT :

## QUAND LES PROMESSES DES MÉGACONSTELLATIONS SE HEURTENT AUX LIMITES DE L'ESPACE

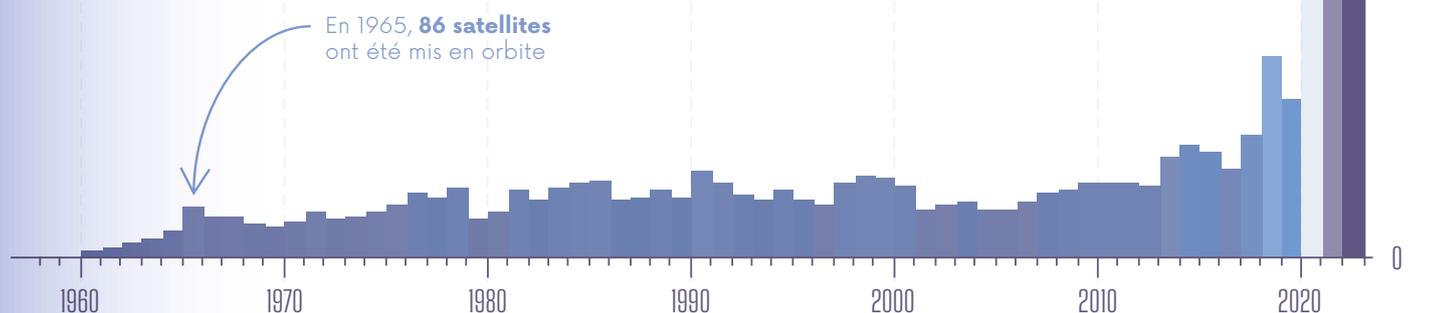
#SatellitesEtEnvironnement

En 2022, **2 242 satellites** ont été mis en orbite

### Imaginez : nous sommes en 2057...

L'humanité célèbre le 100<sup>ème</sup> anniversaire du premier satellite mis en orbite dans l'espace. Les acteurs du secteur ont su collectivement se mobiliser pour atteindre la neutralité carbone en 2050, en ligne avec les Accords de Paris.

L'impact environnemental des satellites est désormais entièrement maîtrisé – qu'il s'agisse des débris spatiaux, des interférences radio, de la pollution lumineuse, de la consommation d'énergie ou encore de l'épuisement des ressources. Comment ont-ils réussi ?



**3 POSTERS**

PRÉSENTS DANS  
CE PROGRAMME

# OUVERTURE

9h30 à 11h00



TOUT AU  
LONG DE LA **JOURNÉE**

Une cartographie des acteurs  
à compléter à l'entrée.

## 1 Le récit de l'espace : l'espace, source d'inspiration et de convoitise - 30 mn

Intervenant :

**JEAN-PIERRE GOUX**

Romancier, chef d'entreprise,  
mathématicien et conférencier.  
#transition écologique #engagé  
#Institut des futurs souhaitables

## 2 Accueil croisé - 20 mn

Intervenants :

**LAURE DE LA RAUDIÈRE**

Présidente de l'Arcep.

**LIONEL SUCHET**

Directeur général délégué du CNES.

**SYLVAIN WASERMAN**

Président - directeur général de l'ADEME.  
@Arcep @CNES @ADEME

## 3 Dialogue avec les participants sur les attentes de la journée et identification des enjeux

- 40 mn

Intervenants :

**JULIEN DOCHE**

Ingénieur aérospatial, membre du collectif  
« Pour un réveil écologique » et de  
l'association AERO-DECARBO.  
@AeroDecarbo @ReveilEcolo  
#impact #transition #spatial

**SABRINA ANDIAPPANE**

Ingénieure spatiale, membre  
de l'Académie des Technologies  
et intervenante TEDx.  
@AcadTechnolog @SciencesFilles  
#pollution #spatiale

# BÉNÉFICES ET IMPACTS

11h15 à 12h30

## 4 Pourra-t-on voir encore « rire les étoiles » ? Discussion/débat autour de la pollution lumineuse et radio des satellites - 1h15

**ESPACE RENCONTRE**

> **Format FISHBOWL** (voir dos du programme).

Intervenants :

**CHIARA FERRARI**

Astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur.  
#radioastronomie @ObsCoteAzur

**CHRISTOPHE DIGNE**

Directeur général adjoint de l'Agence  
nationale des fréquences (ANFR).  
#fréquences #radiocommunications  
#constellations @ANFR

**NICOLAS BIVER**

Astrophysicien et chargé  
de recherche au CNRS,  
au LESIA et à  
l'Observatoire de Paris.  
@Obs\_Paris @LesiaAstro  
@CNRS #JourdeLaNuit

## 4 Les nouvelles constellations satellitaires au service du bien commun ? Quels usages, pour quels bénéfices et impacts ? - 1h15

Intervenants :

**ESTELLE MALAVOLTI**

Économiste et enseignante-chercheuse  
à l'École nationale de l'aviation civile  
(ENAC) membre associée de TSE.  
#économie #concurrence @TSEinfo

**DAVID BERTOLOTTI**

Secrétaire général d'Eutelsat.  
#industriel #connectivité @Eutelsat\_Group

**IRÉNÉE RÉGNAULD**

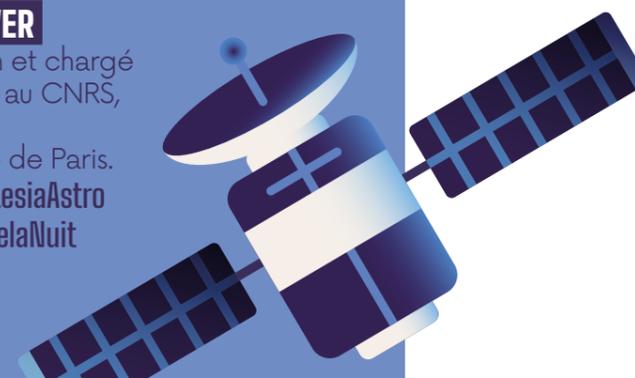
Consultant en transformation numérique,  
chercheur et fondateur de l'association  
« Le Mouton Numérique ».  
#numérique #société #environnement  
#usages @MoutonNumérique

**JEAN-LUC FUGIT**

Député du Rhône, vice-président de  
l'Office parlementaire d'évaluation des choix  
scientifiques et technologiques (OPECST)  
et rapporteur sur les sujets spatiaux, membre  
du Bureau de la commission permanente  
Développement Durable et Aménagement du  
Territoire de l'Assemblée Nationale.  
#spatial @AssembléeNat @OPECST

12h30 à 14h00 **BUFFET  
DÉJEUNATOIRE**

Accès à l'exposition  
« Mission spatiale »  
de la Cité des Sciences



# LES 6 718 SATELLITES OPÉRATIONNELS DÉBUT 2023 RÉPONDENT À UNE DIVERSITÉ DE BESOINS

Nombre de satellites opérationnels au 1<sup>er</sup> janvier 2023, classés par types d'usage principal et par acteur. La flotte de certains acteurs est répartie entre plusieurs usages.

## 100 Science de l'espace

Les satellites sont un outil privilégié pour accroître les connaissances scientifiques sur l'Univers, ses origines et les lois qui le régissent. Des télescopes spatiaux, tels que Euclid, récoltent diverses données astronomiques permettant, par exemple, de mesurer la distribution de la matière noire et des galaxies dans l'Univers et son évolution depuis le Big Bang.

## 4 823 Télécom

Les satellites assurent en toute situation la fourniture de services de télécommunications haut débit pour les forces militaires, la sécurité civile et les services de secours. Ils fournissent également du haut débit aux navires et aux avions. Ils sont désormais aussi utilisés pour fournir du très haut débit aux citoyens éloignés des réseaux terrestres, de manière permanente ou temporaire. C'est ce dernier usage qui porte aujourd'hui la croissance du nombre de satellites opérationnels. Le CNES soutient des projets de constellations comme OneWeb et porte en France la responsabilité du programme européen « Space for 5G » visant à offrir un réseau souverain face aux concurrents étrangers, tels que les GAFAM.

## 27 Autres usages

## Surveillance de l'espace proche 9

## Navigation 154

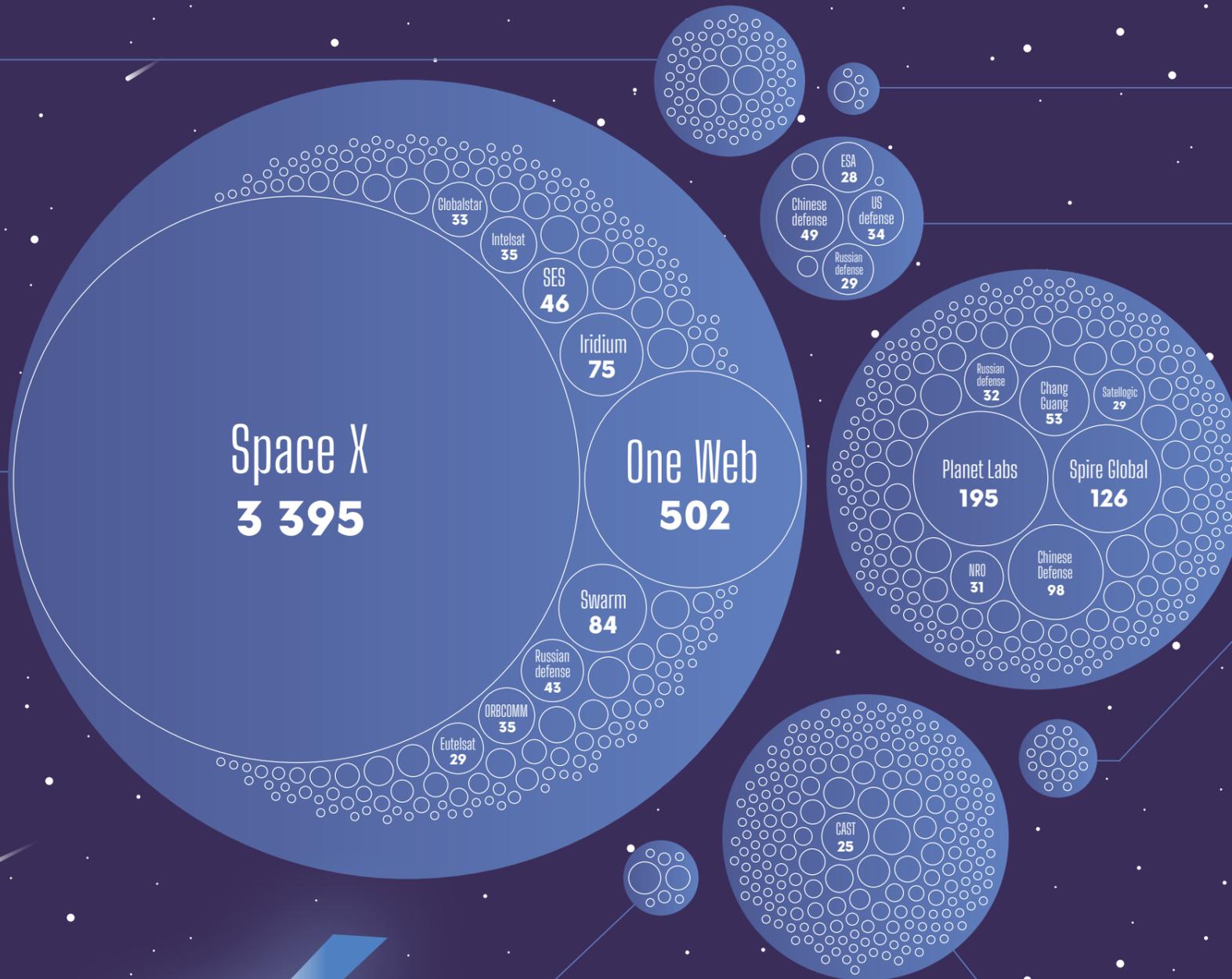
Les satellites récoltent les signaux de positionnement GNSS (appelé communément GPS par abus de langage) et fournissent ainsi un système mondial de localisation.

## Observation de la Terre 1 169

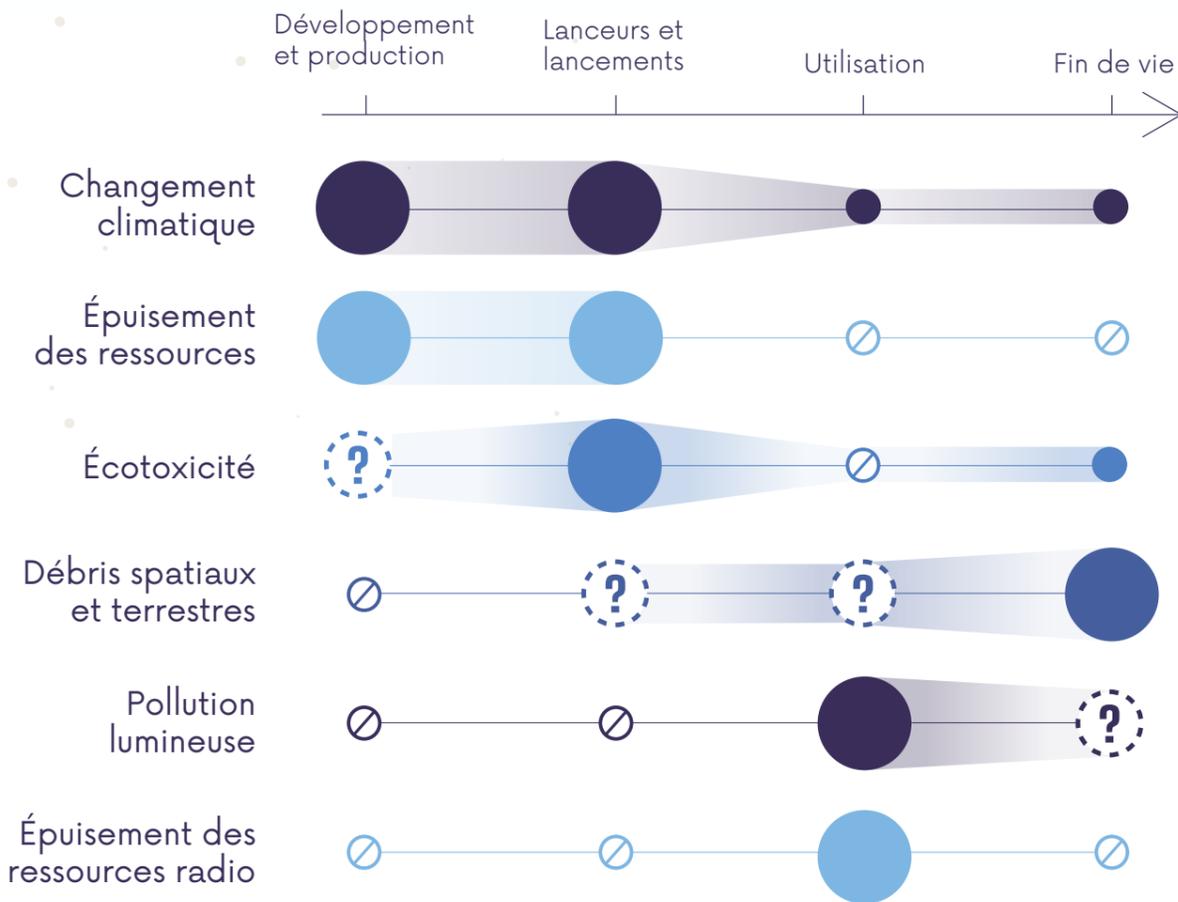
## Science de la Terre 23

Les satellites améliorent considérablement la précision des mesures de météorologie, de cartographie ou de géodésie. Ils sont aussi précieux pour mesurer nos impacts environnementaux. Pour protéger les forêts, il faut pouvoir observer plus de 4 milliards d'hectares. Une mission rendue possible grâce aux images satellitaires qui rendent disponibles des données harmonisées et exploitables par tous. Les satellites observent les étendues d'eau et permettent d'obtenir des données précises sur le niveau de la mer, la circulation océanique et les stocks d'eau disponibles. Exemple : les programmes Copernicus, SWOT ou Argos, auxquels le CNES contribue.

## Développement et démonstration de technologies 413

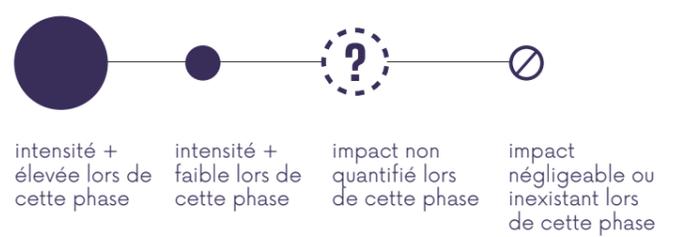


# UN SATELLITE : QUELS IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ? ET QUAND ?



## Le cycle de vie d'un satellite

Depuis la production du satellite jusqu'à sa fin de vie, une mission spatiale génère des impacts environnementaux de natures et d'intensités variables d'une étape à l'autre.



Intensité relative de chaque impact par phase de cycle de vie.

## Quelle(s) méthode(s) pour mesurer l'impact environnemental d'une mégaconstellation ?

La mesure de l'impact environnemental des satellites est balbutiante. Elle questionne les méthodologies classiques, telles que l'ACV (Analyse du Cycle de Vie) qui ne tient pas compte à date de certains indicateurs pertinents. D'autres approches pourraient être envisagées, comme celle de la définition d'une nouvelle limite planétaire ou la création d'indicateurs spécifiques aux satellites.

### 1 Impacts environnementaux standardisés

Diminution des ressources fossiles, abiotiques, en eau...

**ÉPUISEMENT DES RESSOURCES**  
**DOMMAGES SUR LA SANTÉ**  
**DOMMAGES ÉCOLOGIQUES**  
 Changement climatique, écotoxicité, acidification...  
 Destruction de la couche d'ozone, smog...

### Ensemble des impacts des satellites

### 2 Impacts mal connus

La luminosité des satellites en orbite perturbe notamment l'observation astronomique.

**POLLUTION LUMINEUSE**  
**DÉBRIS**

Satellites hors d'usage et débris générés par leurs collisions font craindre un redouté « syndrome de Kessler » (une progression exponentielle du nombre de débris en orbite). La méthode de l'ACV reste pertinente pour les débris terrestres mais pas pour ceux qui restent dans l'espace.

### 3 Impacts sur les ressources radio

L'augmentation du nombre de satellites en orbite basse entraîne une augmentation de l'utilisation des fréquences. Risque accru d'interférences.

- Impacts intégrés aux standards internationaux de mesure
- - - Impacts qui dépassent les méthodes classiques de mesure
- ..... Impacts qu'on sait mesurer facilement mais non compris dans la méthode ACV

# SOUS L'EFFET DES MÉGA-CONS- TELLATIONS, VA-T-ON VERS UNE CONGESTION DES ORBITES BASSES ?

..... Altitude moyenne de l'ensemble des satellites mis en orbite lors d'une année.

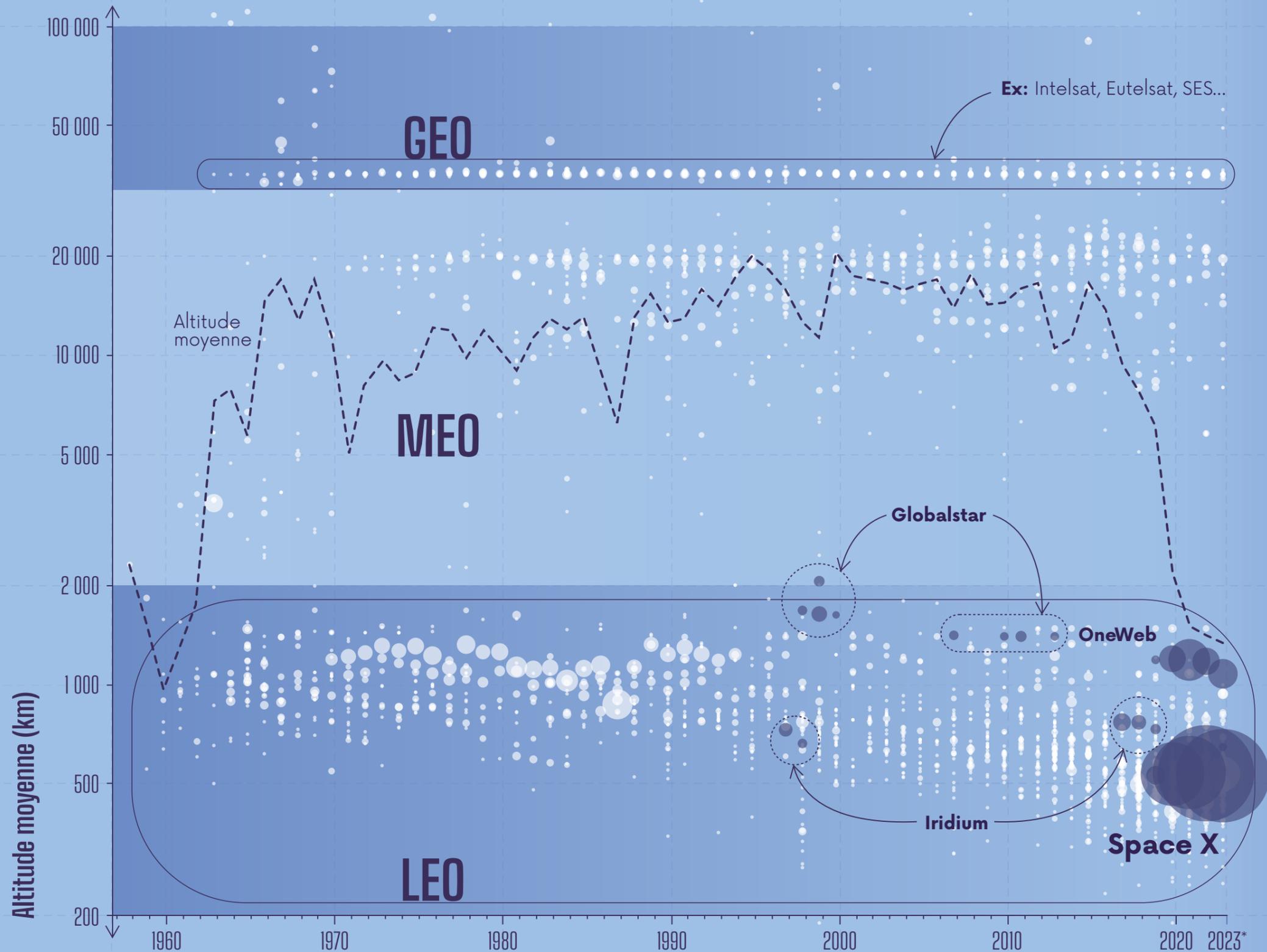
● Chaque bulle représente l'ensemble de la flotte de satellites d'un propriétaire; sa taille est proportionnelle au nombre de satellites.

**GEO** **Orbite géostationnaire:**  
Minimum de 4 satellites pour une couverture globale. Latence ≈ 500ms. Altitude ≈ 36 800km. Débit estimé ≈ 5 Tb/s.

**MEO** **Orbite moyenne:**  
Minimum de 15 satellites pour une couverture globale. Latence ≈ 125ms. Altitude variable entre GEO et LEO.

**LEO** **Orbite basse:**  
Minimum de 80 satellites pour une couverture globale. Latence ≈ 20ms. Altitude < 2 000km. Débit estimé ≈ 10Tb/s avec les MEO.

Satellites mis en orbite chaque année par un acteur pour chaque type d'orbite (LEO, MEO, GEO), par année et par altitude moyenne sur une échelle logarithmique.



\* Chiffres provisoires, année en cours.  
Source: Space Track, Earth Observatory (NASA)

# IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

14h00 à 15h00

**5** Un satellite, ça pollue quoi et ça pollue quand ? Vision d'ensemble des impacts, de l'assemblage au démantèlement - 1h

Intervenants :

**LOÏS MIRAUX**

Ingénieur aérospatial, expert indépendant sur l'impact environnemental des activités spatiales et membre de l'association AERO-DECARBO.

#SpaceSustainability @AeroDecarbo

**MARIE JACQUESSON**

Cheffe du service Structures Thermiques et Matériaux à la Direction des Lanceurs du CNES.

#lanceurs @CNES

**ERWAN LE HO**

Sustainability Transformation Leader chez Thales Alenia Space.

#industriel #satellites @Thales\_Alenia\_S

# COMMENT AGIR ?

15h15 à 16h30

**6** Protection des océans et coopération internationale : qu'est-ce qui est transposable à l'espace ? - 1h15

**ESPACE RENCONTRE**

> **Format FISHBOWL** (voir dos du programme).

Intervenants :

**CATHERINE CHABAUD**

Députée européenne, ancienne navigatrice et journaliste, co-fondatrice de l'association « Océan Bien Commun de l'Humanité ».

#OceanAsCommon #navigatrice #Europe @Europarl\_FR

**THOMAS LECLERC**

Maître de conférences et chercheur en droit des espaces et des activités internationales au Centre de droit et d'économie de la mer (UMR AMURE).

@UBO\_UnivBrest #droitinternational #environnement

**6** Quelles solutions techniques pour limiter la multiplication des déchets spatiaux ? - 1h15

Intervenants :

**LUC PIGUET OU MURIEL RICHARD-NOCA**

Co-fondateur et co-fondatrice de la start-up ClearSpace.

@ClearSpaceToday #débris #nettoyage

**CHRISTOPHE BONNAL**

Expert sénior au CNES, président de la commission « Débris Spatiaux » de l'Académie Internationale Astronautique.

#débris #AcadémieInternationaleAstronautique @CNES

**CLAIRE ELSS**

Co-fondatrice et présidente de l'ONG Cosmos for Humanity.

#LawandPolicy @Cosmos4Humanity

# CLÔTURE

16h30 à 17h00

Intervenant :

**LAURE DE LA RAUDIÈRE**

Présidente de l'Arcep.

@lauredlr

# QU'EST CE QU'UN «*fishbowl*»? Conférences de l'ESPACE RENCONTRE

Ce débat participatif est une technique d'animation de débats qui brouille les frontières entre intervenants et participants, où via une disposition des chaises en cercle concentrique, chacun est amené à devenir acteur de la conversation aux côtés

des intervenant·es en ayant la possibilité d'intégrer le cercle central (cercle dans lequel les personnes débattent ou prennent la parole à tour de rôle pour exprimer un avis, un exemple, un témoignage, ou tout simplement poser une question...).

EXPOSITION À DÉCOUVRIR

La Cité des sciences et de l'industrie lance sa nouvelle exposition permanente consacrée à l'exploration spatiale. Entrez dans la peau d'un ou d'une astronaute et vivez un rêve éveillé le temps d'une visite. Une aventure au cours de laquelle vous découvrirez la réalité et la complexité des missions spatiales.

À partir du **23 oct. 2023**

**CITÉ DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE**

## MISSION SPATIALE

### POUR PATIENTER...

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>I</b> Sa flèche vise au cœur</p> <p><b>II</b> Il a dit pourquoi ça tourne • Possessif</p> <p><b>III</b> Un exemple anglais • La cause du <b>1</b> vertical</p> <p><b>IV</b> À nettoyer • HAL 900 en est l'ancêtre</p> <p><b>V</b> Des ondes frontalières</p> <p><b>VI</b> La Terre en a au moins 9 • L'homme et la machine</p> <p><b>VIII</b> Sert à la propulsion • Spirale</p> <p><b>VIII</b> Dans la gamme • Cops céleste sucré</p> | <p><b>1</b> Une réaction en chaîne</p> <p><b>2</b> Elle brille, mais peut aussi s'élaner vers le haut • Vieille colère</p> <p><b>3</b> Pas bien lourd...</p> <p><b>4</b> Cours allemand • Il sert à la propulsion</p> <p><b>5</b> Crie dans les bois • Des ondes frontalières</p> <p><b>6</b> Ça tourne</p> <p><b>7</b> Un peu plus? • S'y rend</p> <p><b>8</b> Dans la gamme • Une issue possible</p> <p><b>9</b> Elle a permis un petit pas pour l'homme • On y prend de belles photos</p> |
|--|--|

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I									
II									
III									
IV									
V									
VI									
VII									
VIII									

Les solutions à ces mots croisés sur X/Twitter via @Arcep #SatellitesEtEnvironnement