



CAMPAGNE D'OBSERVATIONS DE SATELLITES AVEC UNISTELLAR

Guillet B.^{1,2}, Lambert R.^{3,4}, F. Marchis F.^{3,4,6}, Esposito T.^{3,4,5}, Canameras R.⁶, Janin-Potiron P.⁶, Gray M.⁶, Neichel B.⁶, Zancanaro Y.⁷, Ouellet S.⁷, Grillet T.⁷, Cantegreil J.⁷, Boutte P.⁷, et ~50 astronomes citoyens du réseau Unistellar



1 Astronome amateur

2 American Association of Variable Star Astronomers, Cambridge, MA, USA

3 SETI Institute, Carl Sagan Center, 339 Bernardo Ave, Suite 200, Mountain View, CA 94043, USA

4 Unistellar, 5 allée Marcel Leclerc, bâtiment B, Marseille, F-13008, France

5 Department of Astronomy, University of California Berkeley, Berkeley, CA 94720, USA

6 Aix-Marseille Univ, CNRS, CNES, LAM, 13013 Marseille, France

7 Spaceable, Paris, France



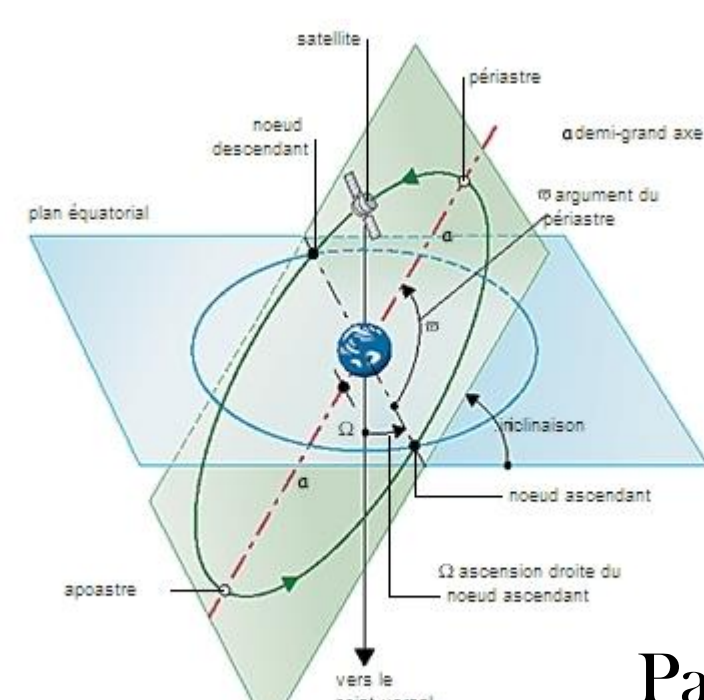
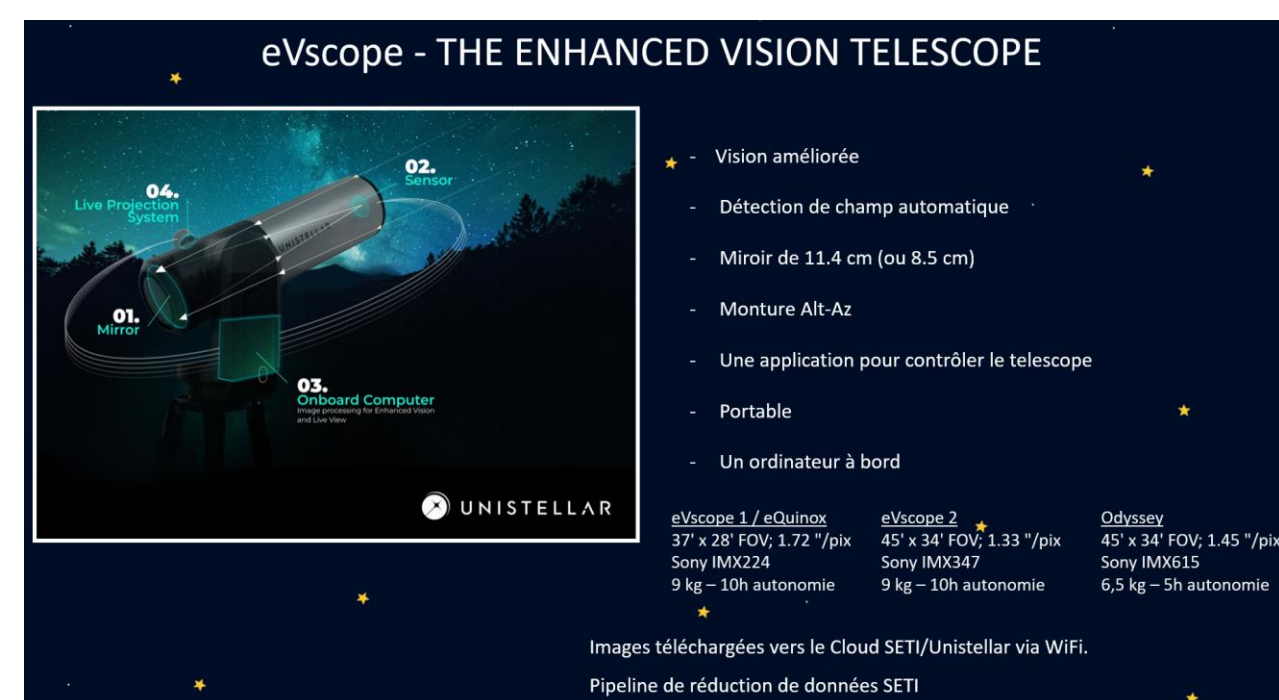
Résumé

Le déploiement exponentiel de satellites complique les observations en astronomie et la conduite des opérations spatiales en orbite terrestre basse (LEO, i.e. Low-Earth-Orbit), situées entre 200 et 2000 km d'altitude, et rend nécessaire une amélioration significative des capacités de surveillance spatiale (Space Situational Awareness, SSA). Avec plus de 5000 satellites Starlink, plus de 600 OneWeb, et la constellation Kuiper en plein essor en orbite, il y a beaucoup de satellites observables, en particulier pendant les heures d'observation privilégiées 2 heures après le coucher du Soleil et avant le lever du Soleil (en Europe). Les projections indiquent qu'il y aura 100 000 satellites en orbite terrestre basse d'ici la fin de la décennie. Cette augmentation du nombre d'objets brillants et se déplaçant rapidement dans le ciel nocturne aura des fortes répercussions sur les observations astronomiques et leur prolifération nécessite une étude indépendante pour éviter des collisions catastrophiques. L'objectif de ce programme est de collecter des données cruciales sur la luminosité, la position et la trajectoire de ces satellites à différents angles et altitudes des différents satellites afin de 1) proposer des stratégies d'atténuation aux observateurs et aux fabricants de satellite, 2) étudier la viabilité de ces constellations, en particulier générer des alertes en cas de collisions. SpaceAble, une startup française spécialisée dans la surveillance de l'espace, collabore avec Unistellar pour collecter, analyser et diffuser les observations des satellites. Ce partenariat vise à fournir des données actualisées sur la localisation des satellites. En parallèle, le LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) développe des algorithmes sophistiqués pour traiter et interpréter les observations.

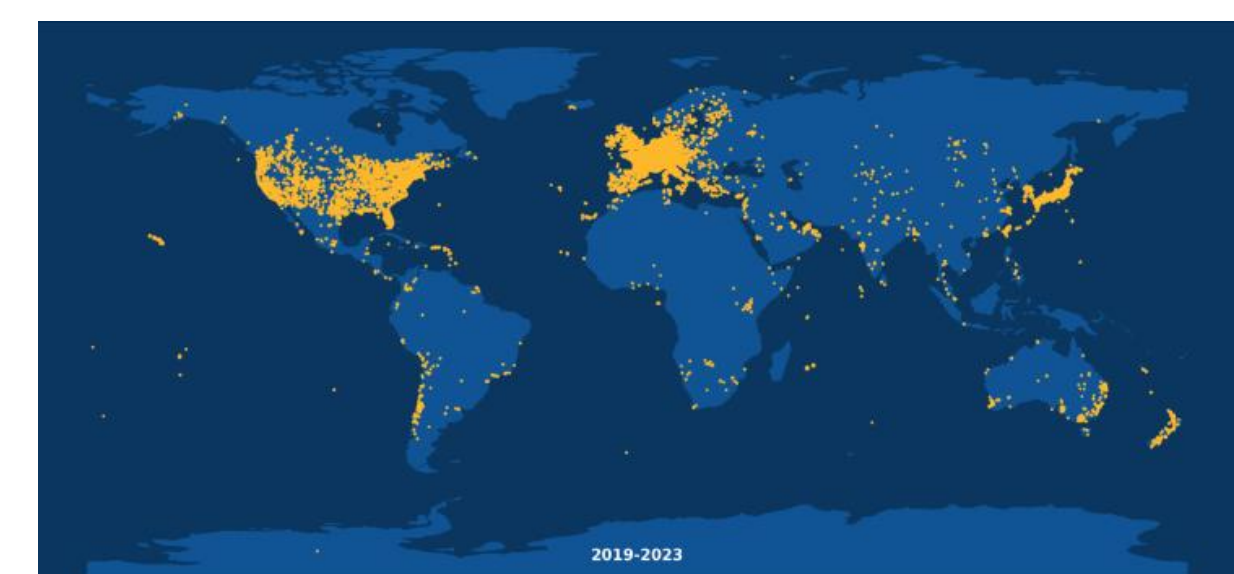
Procédure et réduction de données

Les paramètres orbitaux à deux lignes TLE (Two-Line Elements) et la position de l'observateur permettent de calculer les trajectoires de chaque satellite dans le ciel, déterminant ainsi ceux qui seront visibles lors de sa soirée d'observation. L'observateur sélectionne alors un événement parmi une liste de passages potentiels des satellites. Pendant une minute, des expositions de 150 ms sont prises de manière consécutive pour observer le satellite, même s'il ne reste visible que brièvement lors de son passage. Après cette observation initiale, une deuxième observation est effectuée avec des poses de 4 secondes pour identifier les étoiles de référence nécessaires à la photométrie (images de référence). Les images sont transmises au serveur de l'institut SETI. La pipeline traite alors les images de référence pour repérer et sélectionner les étoiles de référence non saturées. Pour repérer les images contenant des satellites, un algorithme examine si des images comportent des objets lumineux elliptiques. Un algorithme basé sur le machine learning est en cours de développement pour les détectations d'images contenant des satellites. La photométrie d'ouverture est effectuée sur le satellite dans les images où il est présent. Les images où le satellite est trop proche du bord du champ sont exclues. En utilisant les données de photométrie d'ouverture des étoiles de référence identifiées dans les images de référence, il est possible d'obtenir une estimation de la magnitude du satellite au moment de l'observation.

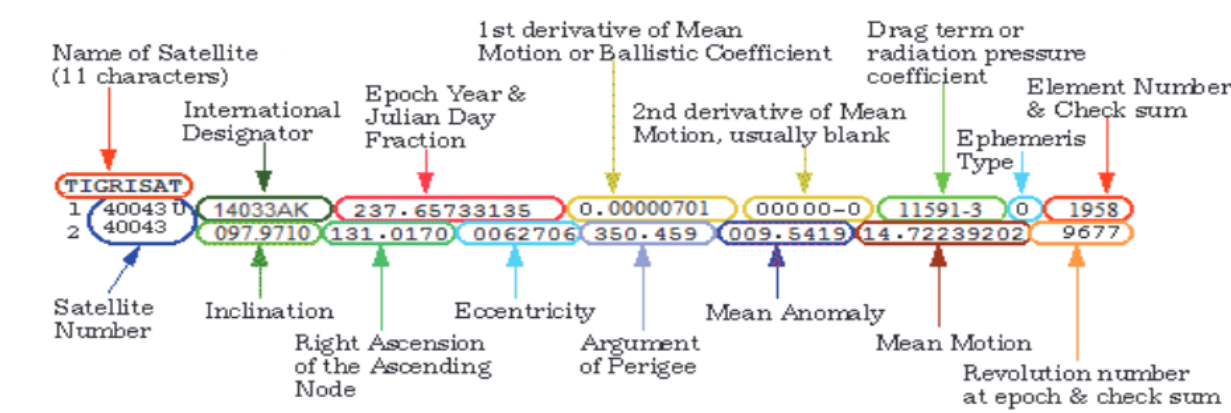
⇒ Les éphémérides utilisables pour n'importe quel astronome/télescope et la procédure complète pour les télescopes Unistellar sont accessibles (en anglais)



Paramètres orbitaux d'un satellite



Réseau Unistellar (plus de 13 000 télescopes et 500 utilisateurs science participative)

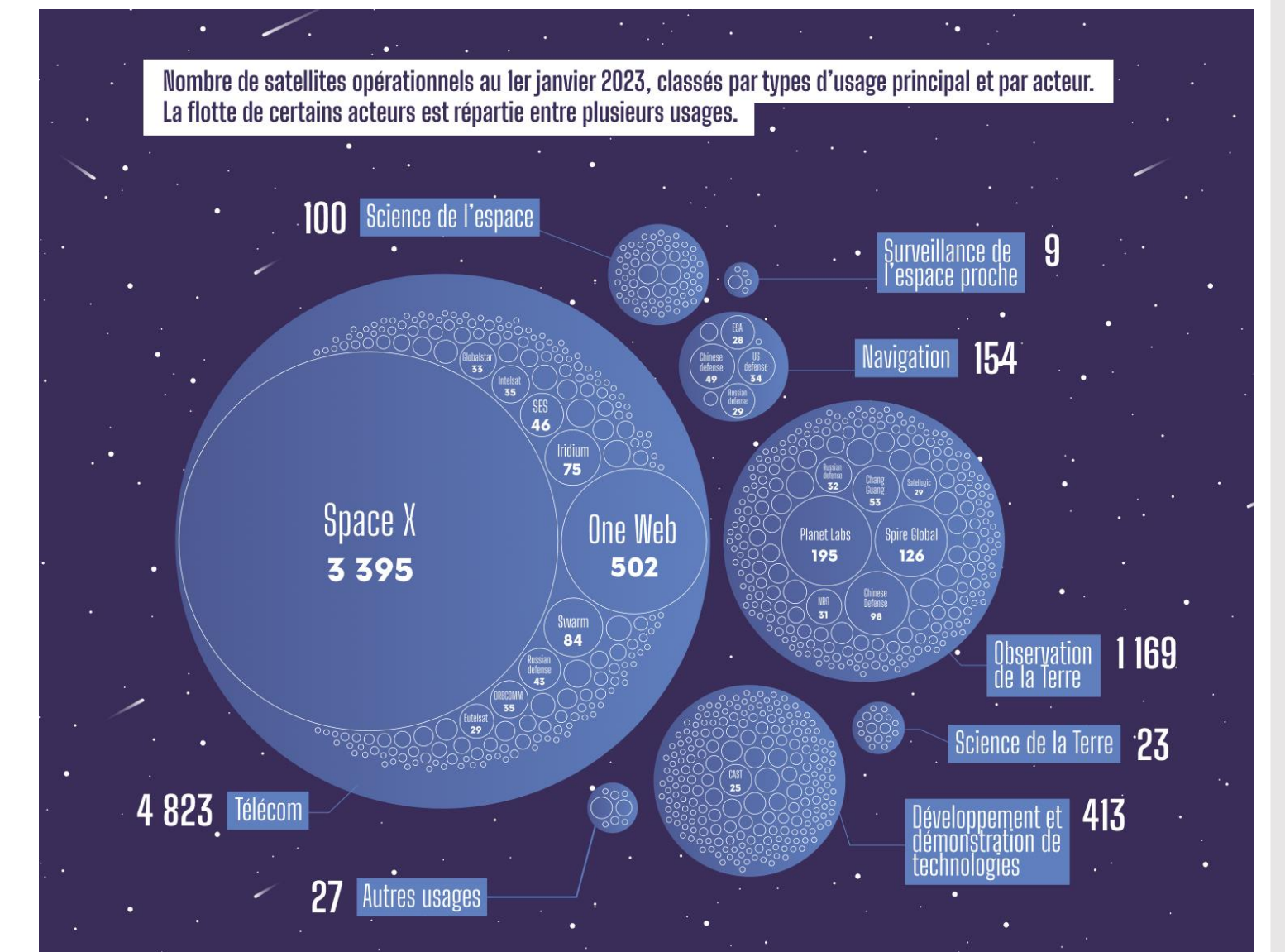
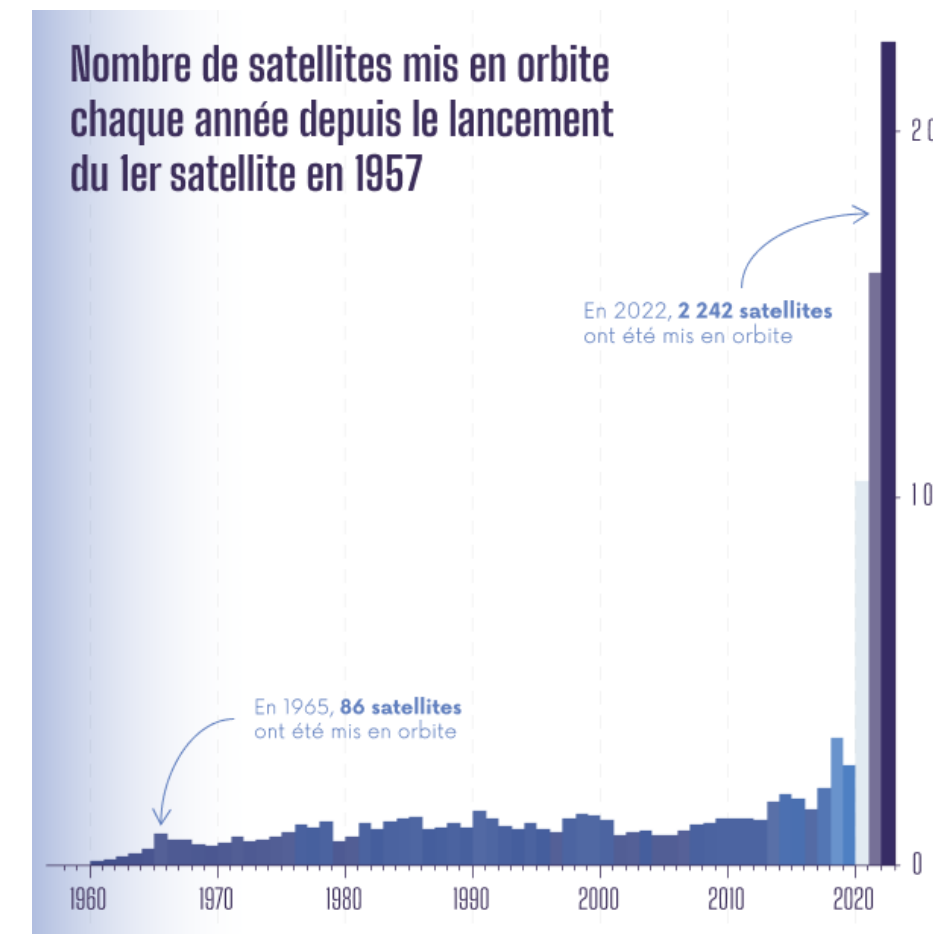
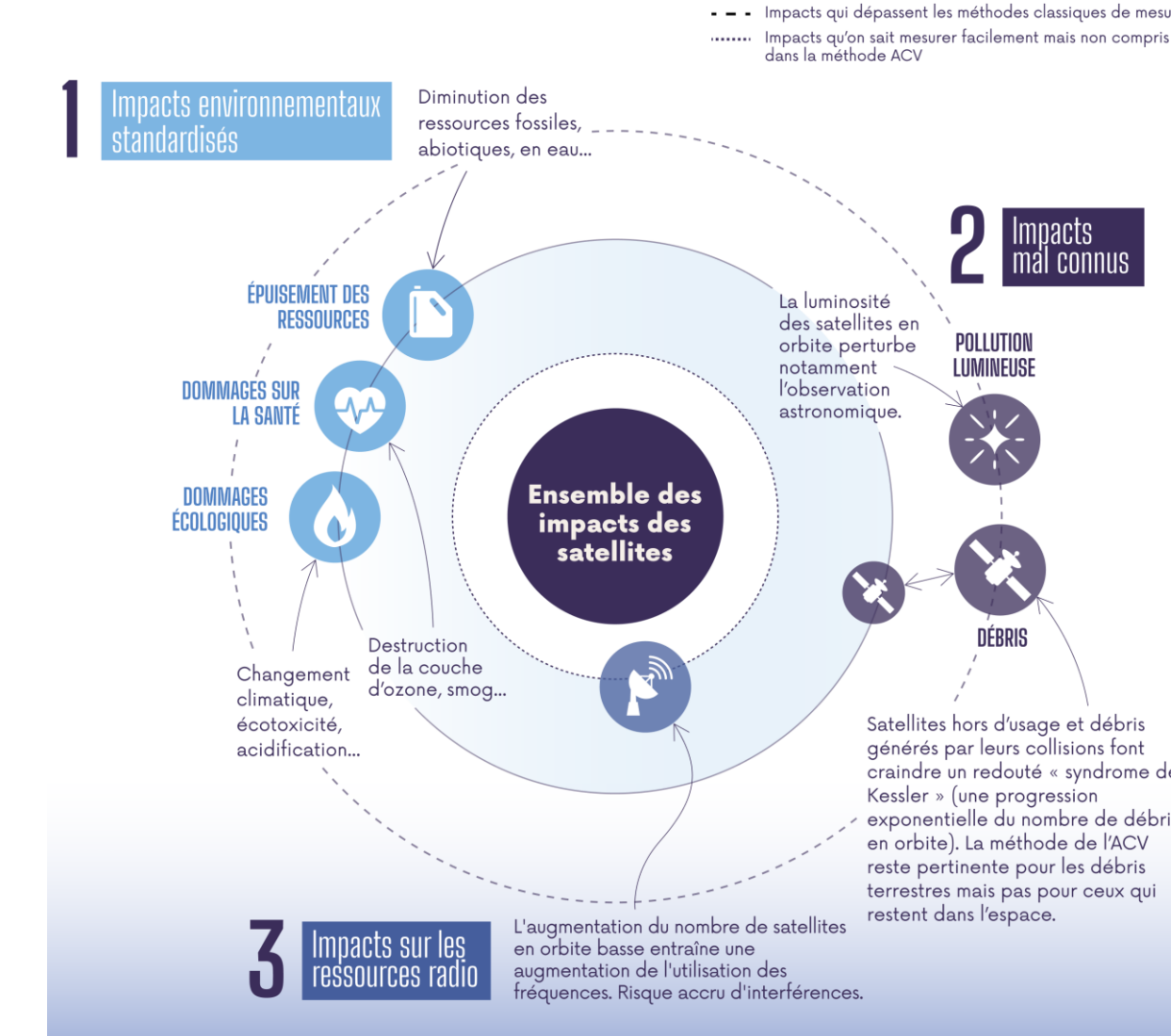


Paramètres TLE

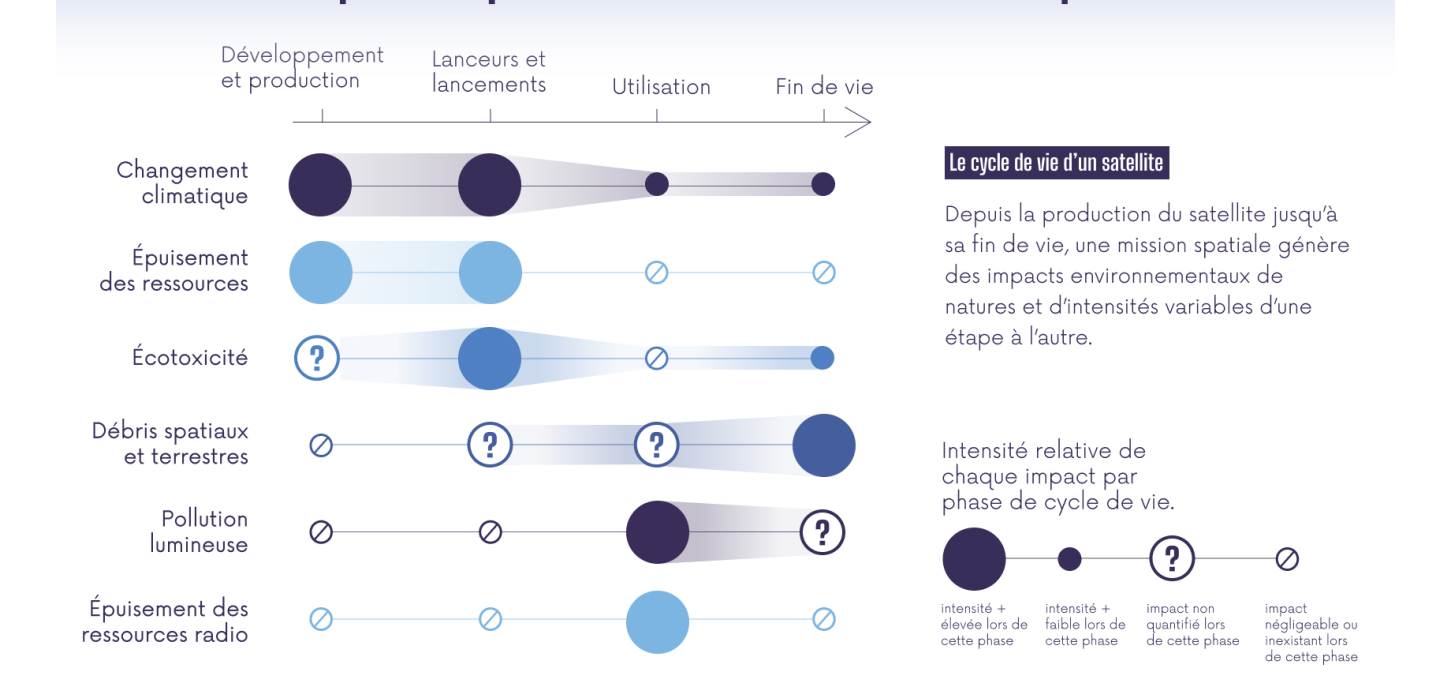
Contexte

La pollution lumineuse et radio induite par les satellites affecte le ciel nocturne à l'échelle mondiale. Cet impact environnemental signifie qu'un ciel nocturne immaculé est perturbé partout dans le monde par les réflexions des satellites et les débris spatiaux. Même les observatoires traditionnellement situés dans des endroits reculés seront touchés aussi sévèrement que n'importe quelle autre région. Au cours des dernières années, la prolifération rapide des mégaconstellations a entraîné un changement d'échelle significatif : sans une régulation internationale appropriée, les satellites actuellement en orbite pourraient, selon l'ONU, être multipliés par plus de dix dans la prochaine décennie. Cette situation soulève de manière urgente la question de leur impact environnemental, tant sur Terre que dans l'espace (images ARCEP ci-dessous).

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



Un satellite : quels impacts environnementaux ? Et quand ?

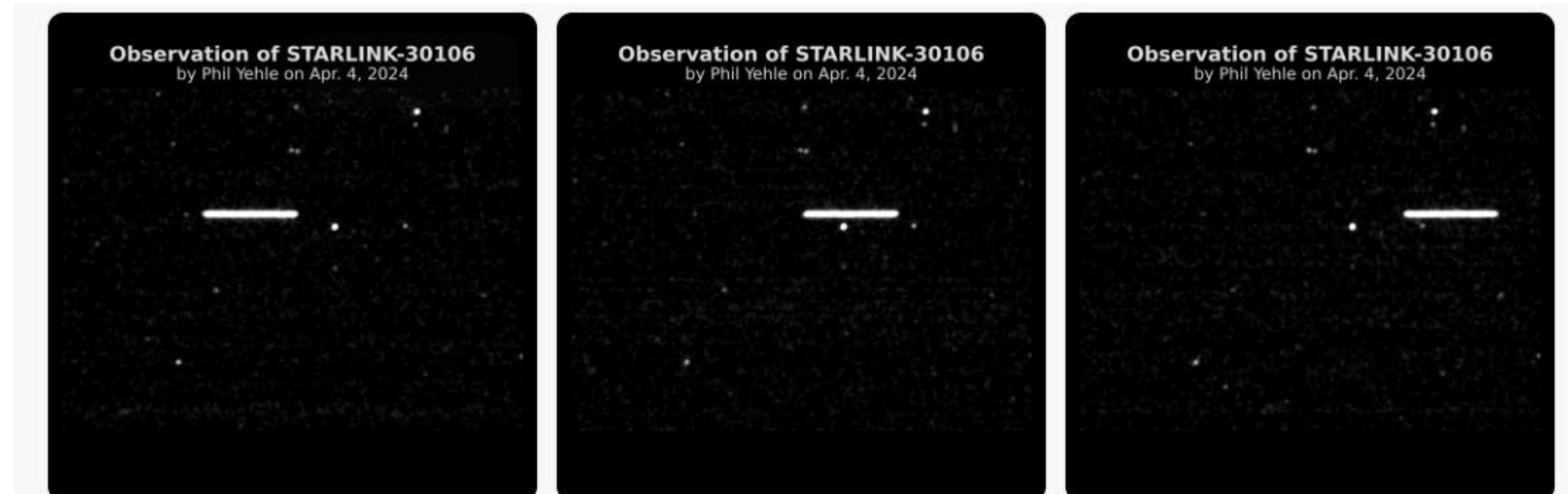


Résultats préliminaires et perspectives

A ce jour, plus de 400 observations de satellite ont déjà été observées par des utilisateurs Unistellar répartis dans le monde entier. La réduction de données et l'analyse sont toujours en cours. Les magnitudes semblent se situer autour de 6 à 7 quel que soit le type de satellites.

Un développement est également en cours afin d'extraire des informations astrométriques des satellites observés.

Une campagne d'observation des deux nouveaux satellites de Planet Labs (lancements prévus cette année) va permettre d'étudier leurs techniques d'atténuation de luminosité. En particulier, il est envisagé d'analyser comment les changements d'altitude et d'angle de phase affectent la luminosité des satellites.



Exemple d'observation d'un satellite (3 images consécutives de 150 ms)

Références et contacts

"Call to Protect the Dark and Quiet Sky from Harmful Interference by Satellite Constellations", IAU Recommendations (2024)
"Satellites et environnement : quand les promesses des mégaconstellations se heurtent aux limites de l'espace", journée ARCEP 2023
M.C. Mahdi, Journal of Control Engineering and Technology 5 (1), 1-8 (2015)
Archives Larousse https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Parametres_orbitaux/1012348
Protocole d'observation détaillé <http://franckmarchis.com/dossa-phase1/> et <https://www.youtube.com/watch?v=zPv1pWsVSQ8>

Contacts: Ryan Lambert ryan.lambert@unistellar.com
Franck Marchis franck.marchis@unistellar.com
Bruno Guillet guilletbruno@yahoo.fr



Conclusions

- La menace de collisions de satellites est réelle, donc une surveillance continue de l'environnement terrestre est nécessaire.
- Les éphémérides permettant d'observer les satellites STARLINK sont disponibles pour tous les astronomes professionnels ou amateurs.
- Des astronomes citoyens munis de petits télescopes peuvent assurer une surveillance presque constante des satellites.
- À l'avenir, la surveillance des satellites va s'intensifier en introduisant de réelles missions dans l'application et en simplifiant la collecte et l'analyse des données au sein de notre collaboration.