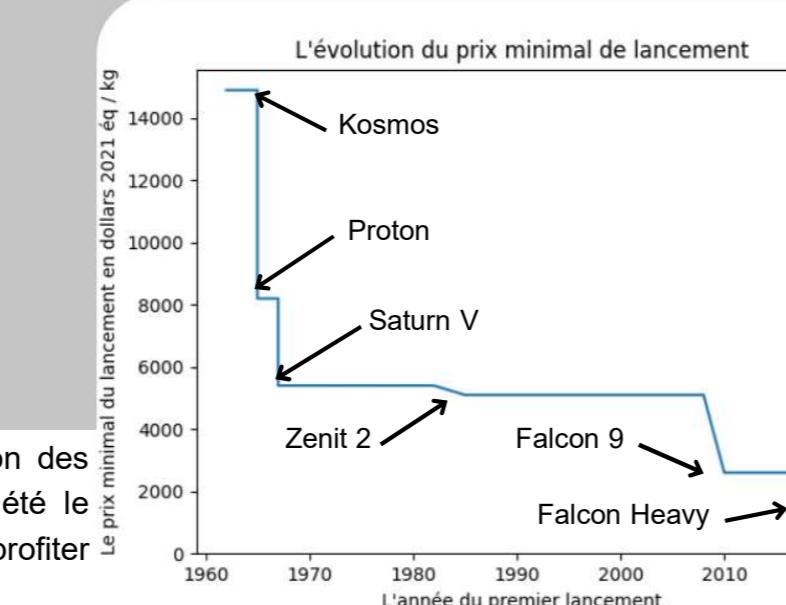
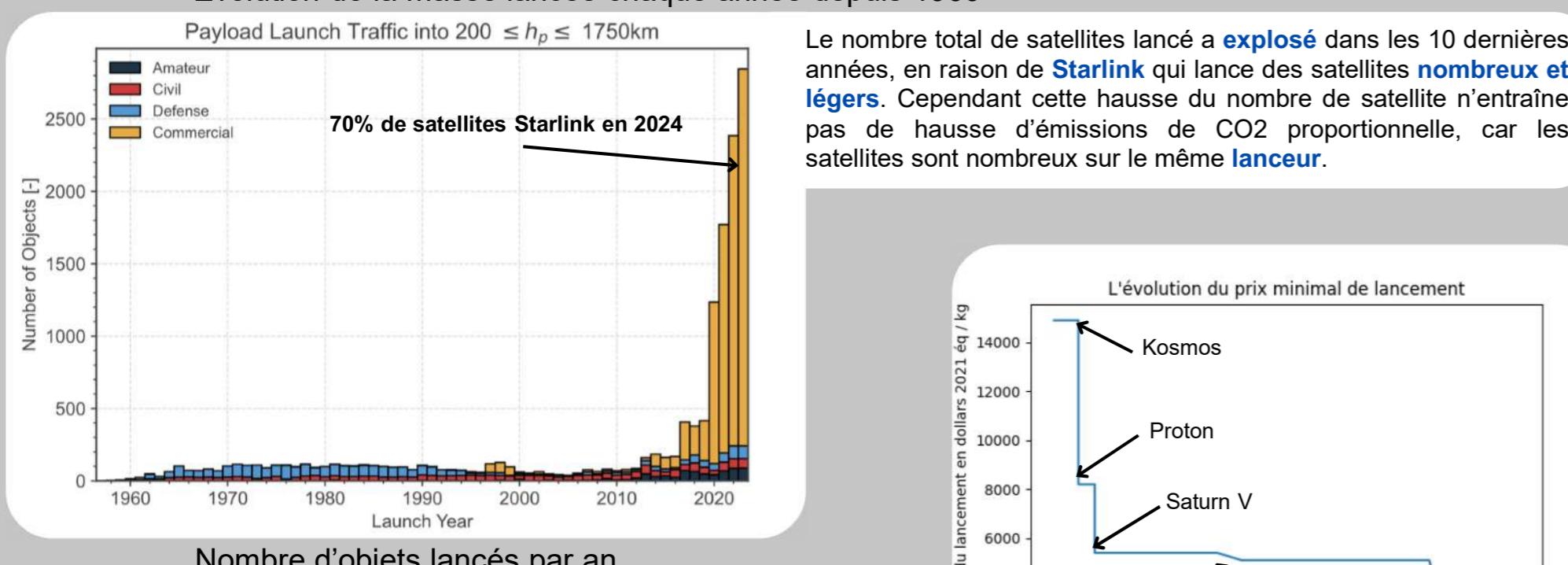
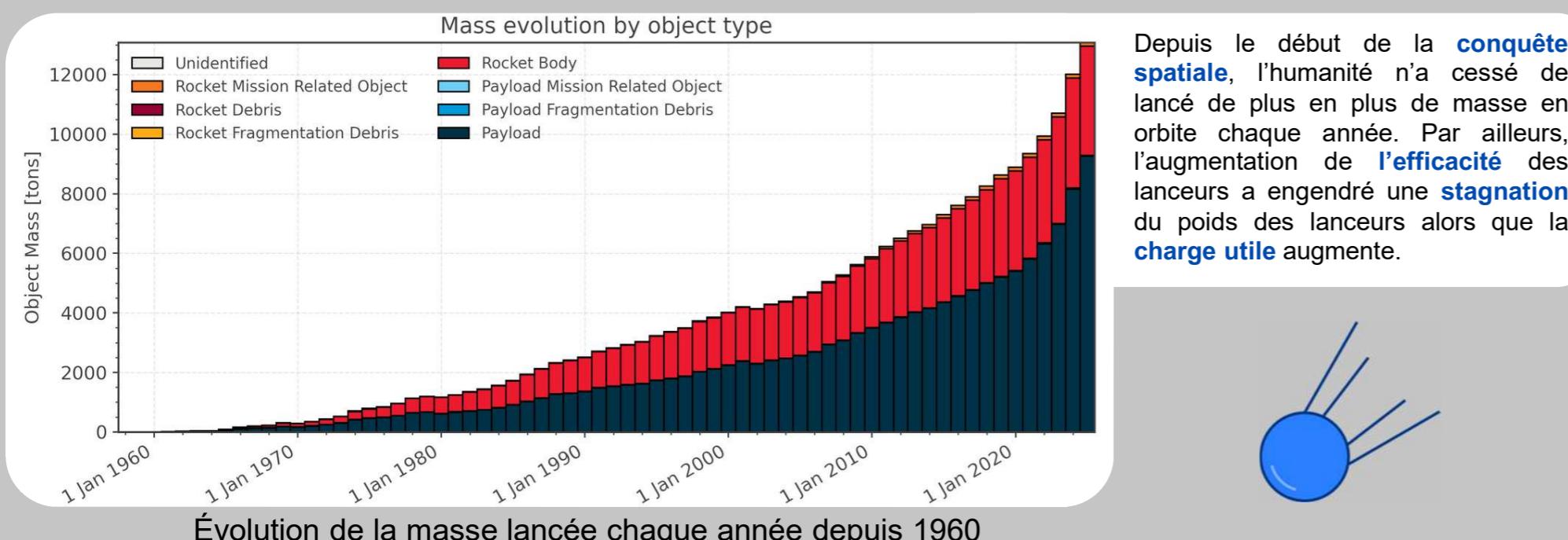


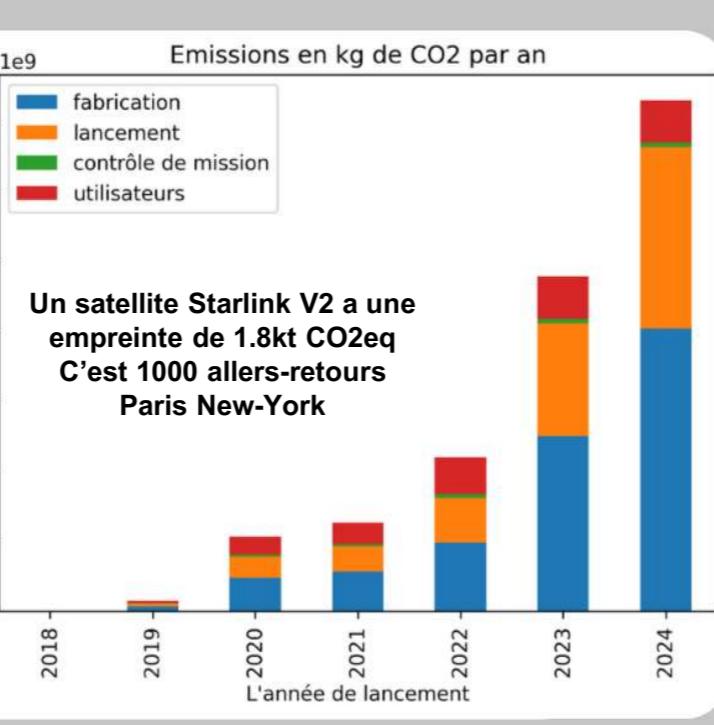
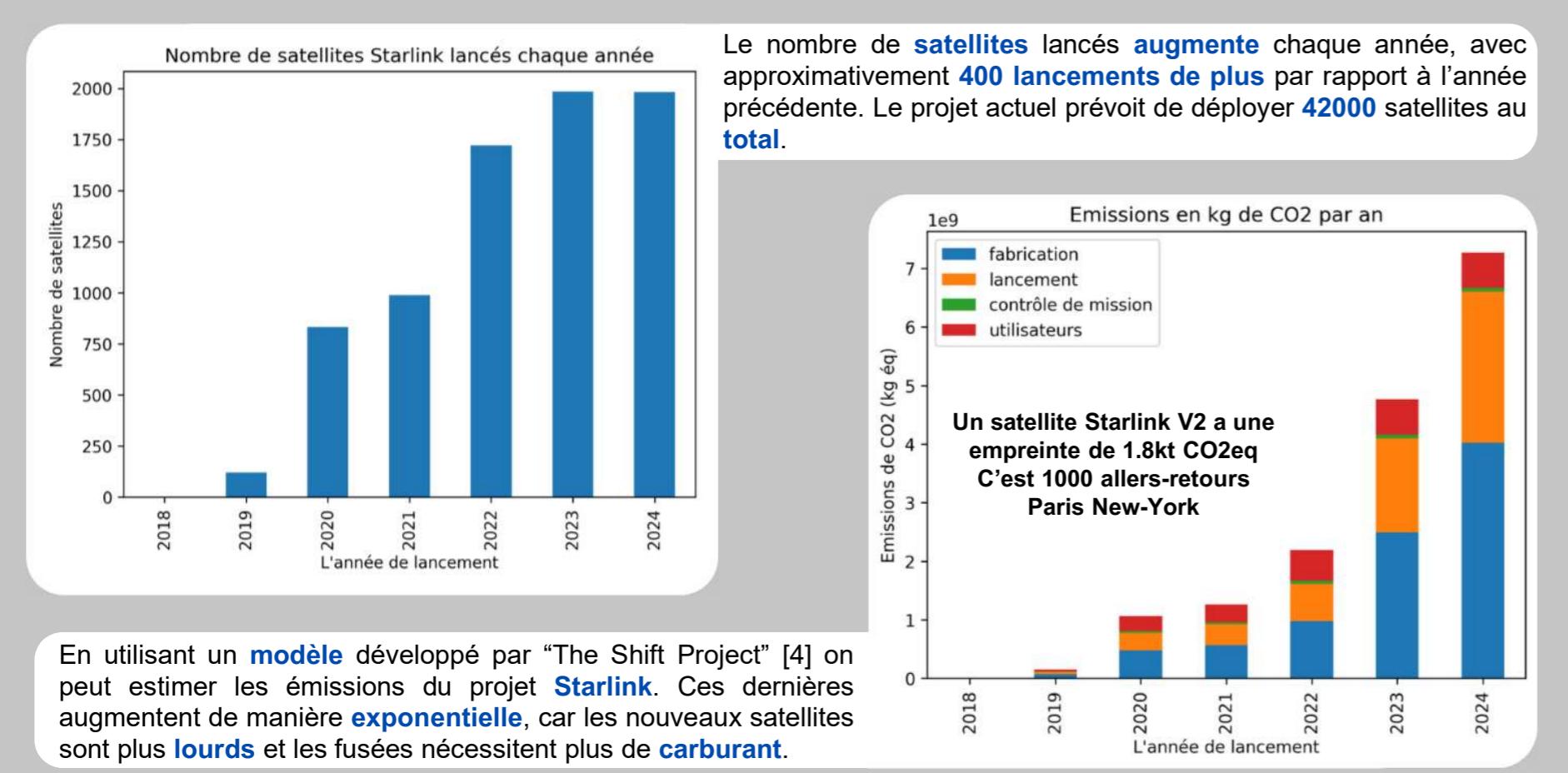
## Impact écologique de l'industrie spatiale – enjeux &amp; perspectives

Laurentin-Wilhelm Ahrend, Elyesse Benyeloul,  
Grégoire Girardet, Mikhail Kataevskii

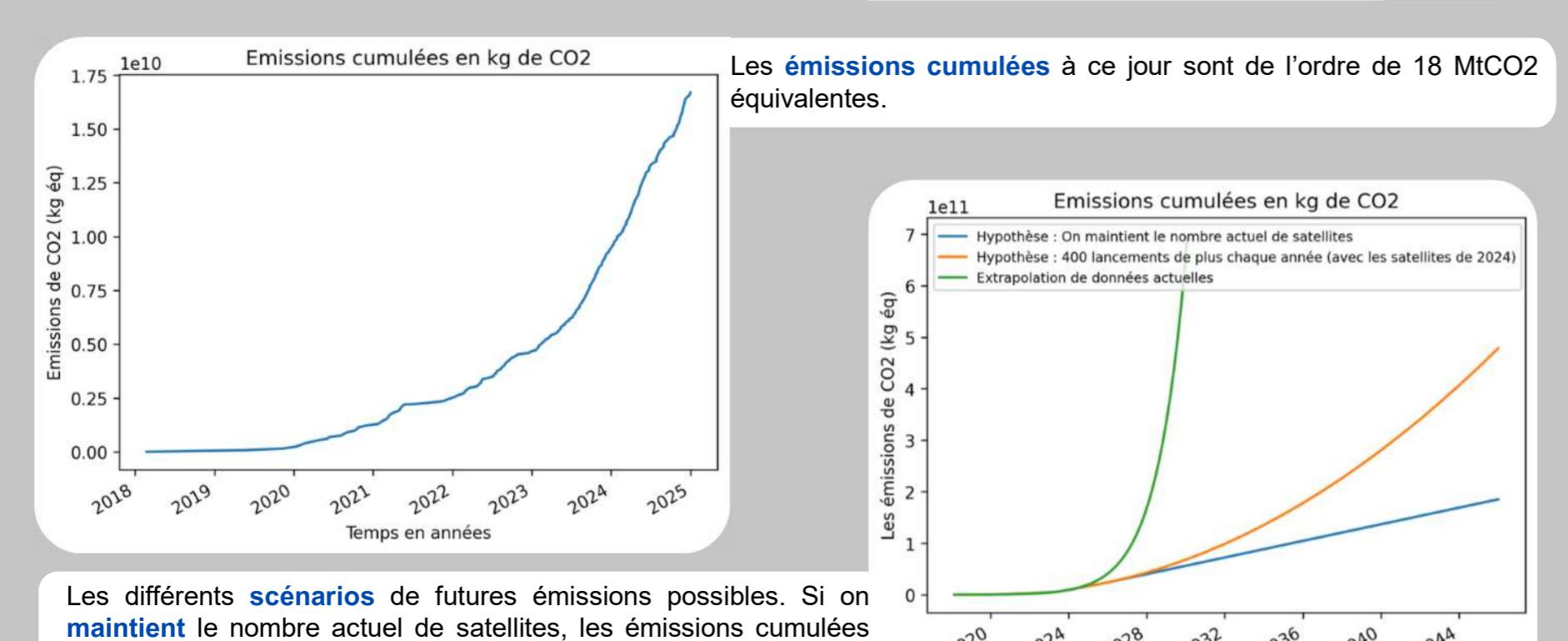
## Les lancements de satellites ne font qu'augmenter



## Étude de cas concret : les satellites Starlink

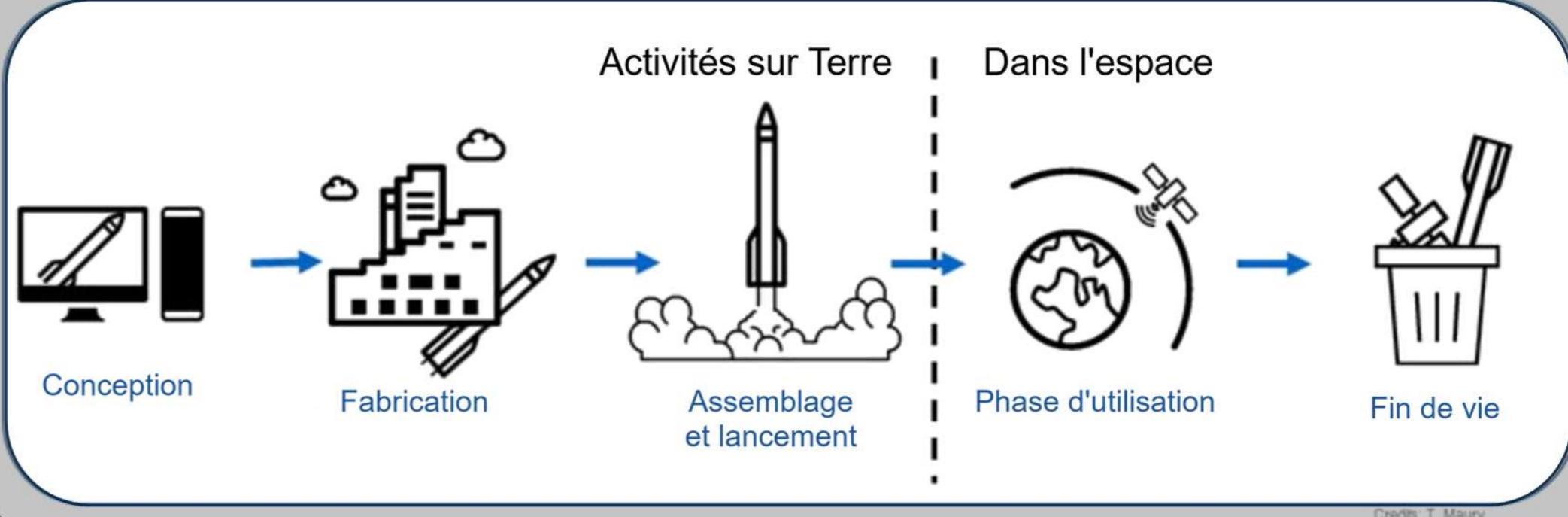


En utilisant un modèle développé par "The Shift Project" [4] on peut estimer les émissions du projet Starlink. Ces dernières augmentent de manière exponentielle, car les nouveaux satellites sont plus lourds et les fusées nécessitent plus de carburant.



Cependant, les émissions de CO<sub>2</sub> de Starlink, qui représente 2/3 des satellites en orbite aujourd'hui, ne correspondent qu'à un millionième des émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien.

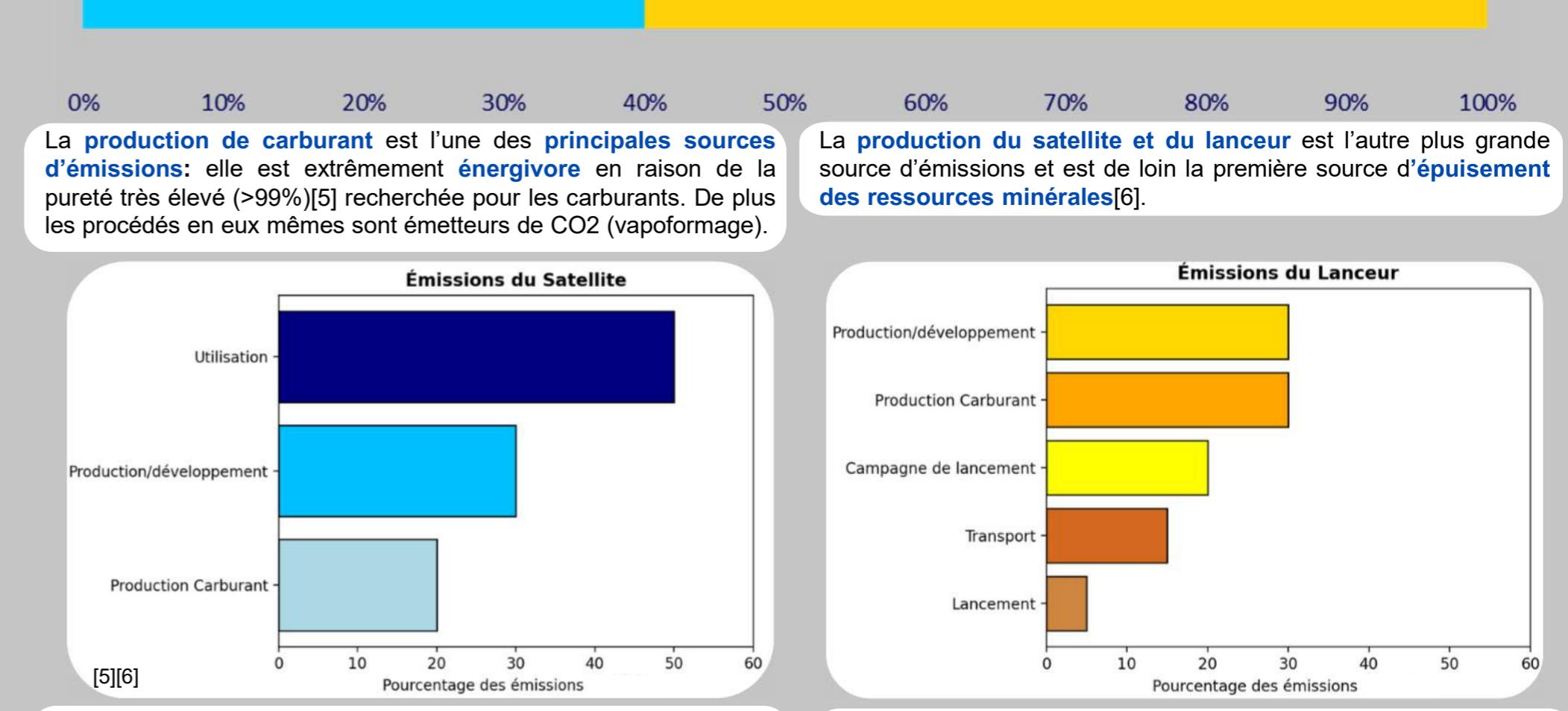
## Cycle de vie d'une mission spatiale



## Bilan carbone d'un satellite

## Répartition des émissions lors d'une mission

Satellite (40%) Lanceur (60%)

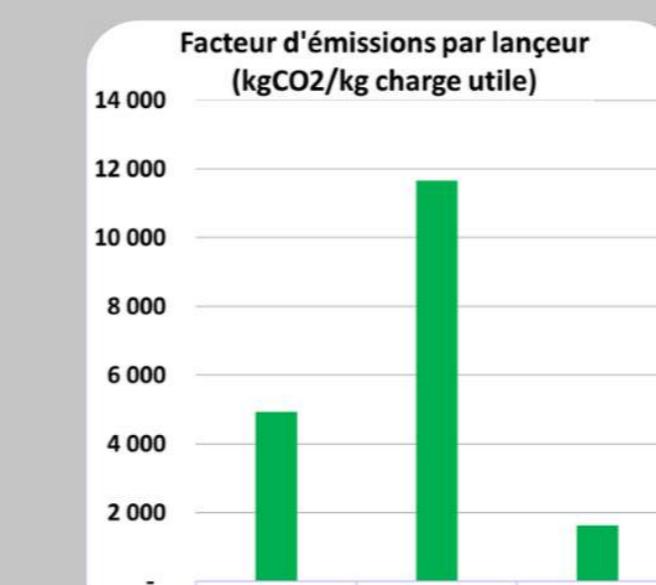


## Émissions du Satellite



Les émissions liées à la phase d'utilisation du satellite sont principalement dues aux infrastructures sur Terre nécessaire à leur fonctionnement (centres de contrôle, antennes) et à leur consommation électrique. [7]

## Tous les lanceurs ne se valent pas



Au lieu d'encourager la sobriété, les gains d'efficacité des lanceurs alimentent la croissance du secteur en renforçant la rentabilité économique des lancements: c'est le paradoxe de Jevons.

## Ce qui monte finit par retomber

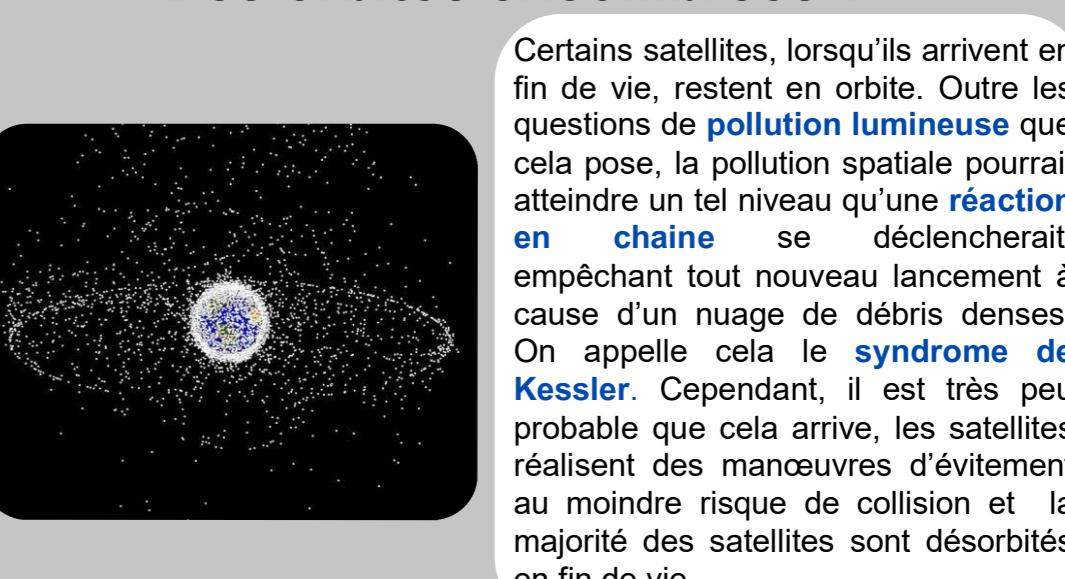
Comme cela a été révélé dans un article récent du journal *Le Monde* [8], la désintégration massive des satellites en fin de vie pose d'importantes questions quant à la pollution de la haute atmosphère. Très peu de recherches existent à ce jour, mais l'injection de milliers de tonnes de métal dans l'atmosphère chaque année pourrait avoir un impact significatif. Les mécanismes chimiques restent mal connus et plusieurs études sont en cours pour évaluer ce risque.

## Des pistes d'améliorations



La production de carburant peut être décarbonnée en remplaçant le kérone par des alternatives et en s'appuyant sur un mix électrique à faible empreinte carbone. Il existe des méthodes de production électrique de dihydrogène et de méthane, telles que l'électrolyse et la réaction de Sabatier. Décarboner le mix électrique pourrait ainsi réduire jusqu'à 50 % l'empreinte carbone du secteur.

## Des orbites encombrées ?

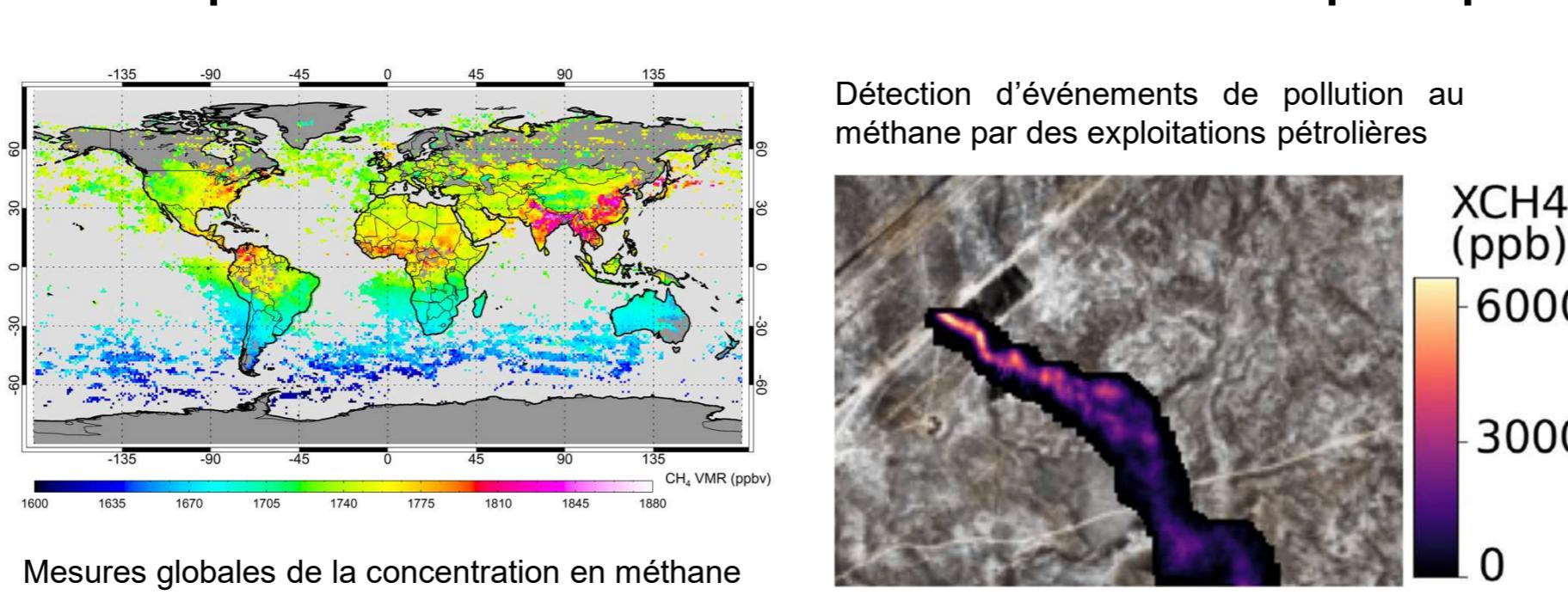


## Les bénéfices de l'industrie spatiale: mesures météorologiques et climatologiques

Plus de la moitié des 50 variables essentielles sur le changement climatique sont mesurées par satellite

Les satellites offrent la possibilité unique de mesurer des données très précises sur le climat. Grâce à un petit nombre de satellites, on peut suivre l'évolution de nombreux paramètres clés du changement climatiques sur toute la planète et à des intervalles de temps réduits. C'est le rôle du programme Copernicus de l'Union Européenne, dans le cadre duquel a par exemple été lancé le satellite Sentinel-2, qui peut détecter des points individuels d'émission de méthane dans l'atmosphère.

## Exemple: Mesure de concentration en méthane atmosphérique



## L'ESSENTIEL

Une nouvelle course spatiale mené par le secteur privé semble n'en être qu'à son début, et on doit s'attendre à une augmentation significative du nombre de satellites mis sur orbite, et donc de l'impact de l'industrie spatiale sur l'atmosphère terrestre et le reste de l'environnement.

Cependant, les satellites offrent une opportunité de mieux comprendre les mécanismes du climat et de la météo, ainsi que de surveiller en temps réel les perturbations de l'atmosphère. Les satellites sont en cela un véritable atout dans la lutte contre le réchauffement climatique.

Enfin, des innovations permettent d'envisager des missions spatiales avec une moindre empreinte écologique, notamment en réduisant l'impact carbone de l'utilisation du satellite.

Il faut néanmoins garder en tête que ces gains d'efficacité ne doivent pas accélérer l'augmentation du nombre de lancements, qui aurait pour conséquence d'annuler les bénéfices écologiques.

[1] Ehret, Thibaud, Aurélien De Truchis, Matthieu Mazzolini, Jean-Michel Morel, Alexandre D'Aspremont, Thomas Lauvaux, Riley Duren, Daniel Cusworth, and Gabriele Faccioli. « Global Tracking and Quantification of Oil and Gas Methane Emissions from Recurrent Sentinel-2 Imagery ». *Environmental Science & Technology*, no 14 (19 juillet 2022): 10517-20. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08575>.

[2] Jones, Harry W. « The Recent Large Reduction in Space Launch Cost ». *Stafford Springs*, CT, United States, 2018. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20200010933>.

[3] ESA Space Debris Office. « *ESA Space Environment Report 2024* », 19 juillet 2024. [https://esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris/ESA\\_Space\\_Environment\\_Report\\_2024](https://esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_Space_Environment_Report_2024).

[4] The Shift Project. « *Lean Networks for Resilient Connected Uses* », mai 2024. <https://theshiftproject.org/en/reports/lean-networks-for-resilient-connected-uses/>.

[5] Thibaut Mauryach, Philippe Lubaki, « Application of environmental life cycle assessment (LCA) within the space sector: A state of the art

[6] Agustin Chancone, Deloitte Sustainability. « Environmental impacts of launchers and space missions »

[7] The Shift Project. « *Carbon-footprint-Satellite-network* »

[8] « Les activités spatiales menacent-elles la haute atmosphère ? *Le Monde* »