



Novembre 2023

Appel à contributions - EU Space Law

Position du CNRS

Résumé

L'augmentation exponentielle du nombre de satellites en orbite autour de la terre, fait croître la pression et le risque sur les activités de recherche aussi bien au sol qu'en orbite. Dans ce cadre, **le CNRS se félicite de l'effort européen de régulation des activités spatiales, en soulignant le besoin prioritaire du respect des activités de recherche.** Sans opposer acteurs publics et privés, la mise en place de cette loi peut être l'occasion de **renforcer des synergies entre acteurs établis et entrants du secteur autour d'un ensemble d'enjeux industriels et sociétaux** (utilisation des **données**, accès aux **infrastructures**, sécurité, énergie, biodiversité) tout en servant les objectifs de souveraineté et de résilience de l'Europe.

Rappelant que la **soutenabilité et la résilience spatiale européenne** ne pourront aboutir sans **un appui marqué à la recherche européenne**, le CNRS appelle à accompagner cette loi **d'un soutien fort aux activités de R&D notamment via le développement de capacité de production et de contrôle des données** (capacité souveraine de suivi des événements du ciel transitoire, mise en place de tiers de confiance pour la certification des données) accessibles et pouvant bénéficier aussi bien au secteur public que privé mais également en soutenant les **activités de recherche fondamentale comme vecteurs d'un leadership européen fort sur la scène internationale.**

La loi européenne sur les activités spatiales répond à l'objectif de créer un cadre européen commun en matière de sécurité, de résilience et de durabilité des activités et opérations spatiales tout en évitant la fragmentation et les obstacles au sein du marché unique et en garantissant la compétitivité du secteur spatial européen.

Le CNRS se félicite ainsi particulièrement de la mise en avant, par la Commission européenne, dans le cadre de sa consultation sur la loi spatiale, de l'impact des activités spatiales sur la recherche astronomique et la recherche de mesures de protection du ciel noir et silencieux.

Sur la base des éléments avancés par la Commission dans sa consultation le CNRS souhaiterait formuler les considérations suivantes :

- 1. Faire des organismes de recherche des alliés pour atteindre les objectifs de la loi spatiale européenne**
- 2. Intégrer la protection prioritaire des activités de recherche dans la définition de la viabilité des activités spatiales**



1. Faire des organismes de recherche des alliés pour atteindre les objectifs de la loi spatiale européenne

Les organismes de recherche comme vecteurs du leadership spatial européen sur la scène internationale

La recherche fondamentale joue un rôle central dans l'émergence de technologies innovantes et de rupture, assurant à long terme le leadership et la souveraineté technologique d'un État ou d'une région.

Les réalisations dans le domaine spatial, qu'elles soient techniques et instrumentales (lancements, stations spatiales...) ou scientifiques (James Webb, Rosetta...), **reposent avant tout sur la recherche fondamentale, les efforts collectifs et internationaux des équipes de recherche, et la formation de chercheurs et ingénieurs**. L'impact de ces avancées trouve souvent un écho grandissant auprès des **citoyens** et sur la scène internationale, démontrant ainsi la capacité technique de l'Europe et lui assurant une place parmi les grands acteurs mondiaux du secteur. Depuis plusieurs années, le CNRS observe une diminution significative de la place de la recherche fondamentale, en termes de nombre d'appels et par l'augmentation des TRL initiaux exigés, au sein des programmes-cadres successifs. Or, **considérer l'Europe comme un acteur spatial régulateur, durable et résilient ne peut se faire sans s'assurer de sa capacité en termes de recherche sur l'ensemble du spectre des activités liées à l'espace (technologies en orbite et au sol, géolocalisation, communication, surveillance du climat et des écosystèmes terrestres, sécurité et sûreté, météorologie de l'espace etc.) et de formation (ingénieurs, doctorat, post-doctorat) y compris pour l'analyse de la dimension sociétale et politique de l'usage des satellites**.

Recommandation 1 : Accompagner la loi spatiale européenne d'un renforcement significatif du financement de la recherche fondamentale spatiale dans le programme Horizon Europe et le futur FP10, la recherche très en amont étant un des garants de la capacité de l'Europe à anticiper les enjeux de la durabilité de l'accès à l'espace proche et lointain.

Les organismes de recherche comme acteurs de la capacité souveraine et résiliente des données issues du spatial

Les organismes de recherche, de par la nécessité de leurs activités, ont développé **une capacité spécifique à contrôler et certifier la qualité des données en assurant leur traçabilité et leur traitement**. La multiplication des acteurs produisant des données, tant pour le suivi de leurs activités que pour la fourniture de services, pose aujourd'hui la question de la sécurité et de la certification des données, pour des raisons à la fois scientifiques et économiques, ainsi que pour la souveraineté européenne dans ce domaine.

Dans le cadre des activités de suivi des opérations spatiales, l'Europe doit ainsi renforcer sa capacité à être souveraine en matière de données de surveillance et de suivi de l'espace (SST et SDA).

Dans le cadre de ses activités d'observation de la Terre, l'Europe devrait **créer un « cadre de confiance » en renforçant les liens avec les initiatives nationales déjà existantes (ex : pôles thématiques CNES) ainsi que les « core-users (acteurs institutionnels, acteurs de la recherche et acteurs économiques) autour des données transmises et utilisées**.

Recommandation 2 : Dans le cadre d'un processus de labellisation, inclure, le cas échéant, un volet relatif à la fiabilité des informations transmises, en instaurant un principe de « tiers de confiance » via un recours aux infrastructures de données existantes.



Les organismes de recherche comme acteurs du spatial durable de demain

Les organismes de recherche pluridisciplinaires, tels que le CNRS, de par la pluralité de leurs compétences sont les acteurs les plus à même d'identifier et de mobiliser rapidement les moyens techniques (infrastructures) et les ressources humaines nécessaires à l'atteinte d'objectifs spécifiques. Dans le cadre de la recherche sur la durabilité des opérations spatiales, les organismes de recherche devraient ainsi être des acteurs de premier plan en raison de leur capacité à mobiliser des experts dans diverses disciplines (Physique, Climat, Mathématiques, SHS, etc.) ainsi que des moyens d'essais existants qui ne sont pas forcément à la disposition des entreprises, notamment des startups. Les acteurs de la recherche sont également à même de développer, d'identifier et d'accompagner les technologies émergentes vers des processus applicatifs.

Le développement rapide des **projets de retour sur la Lune et de services en orbite** (IOS, in orbit servicing) nécessite également **le développement d'une réflexion et d'une évaluation particulière par l'Europe de ces activités nouvelles, de leurs impacts et de leurs risques potentiels (fabrication en orbite, exploitation des ressources célestes...) en termes de sûreté, résilience et durabilité**. Dans ce domaine, les organismes de recherche peuvent jouer un rôle moteur pour l'Union européenne via le développement d'une expertise interdisciplinaire spécifique et encore peu explorée au niveau international et permettant, sur le long terme, de développer un cadre européen spécifique pour l'approche des enjeux liés à l'espace.

Recommandation 3 : Renforcer le financement de la recherche, notamment fondamentale et interdisciplinaire relative aux activités d'exploitation des données spatiales et du développement de méthodologies d'évaluation de l'impact et des risques des activités spatiales présentes et futures.

Recommandation 4 : Renforcer le soutien européen dans les programmes assurant la continuité entre recherche fondamentale et appliquée dans le processus de développement de l'innovation.

2. La notion de viabilité des activités spatiales doit intégrer la protection prioritaire des activités de recherche.

L'augmentation importante et non réglementée du nombre de satellites et des débris qui en résultent peut avoir divers impacts sur les activités de recherche et la sécurité des opérations en orbite. Elle peut ralentir ou réduire la capacité à mener des recherches, compromettre les données obtenues et mettre en danger les satellites de recherche en raison d'un risque accru de collision.

Concernant le dark & quiet skies

Astronomie optique et infrarouge

L'augmentation du nombre de satellites et des débris potentiels en résultant interfère de plusieurs manières sur les activités d'astronomie optique et infrarouge.

- *Traînées lumineuses visibles* : En raison de leur exposition au soleil, les satellites réfléchissent la lumière à la fois vers l'espace et vers la Terre, laissant des traînées visibles qui affectent les activités de recherche par leur présence sur les images et d'autres artefacts, ainsi qu'en brouillant d'éventuels signaux faibles provenant d'astéroïdes et d'autres corps célestes dans les sources lumineuses lointaines du cosmos qu'étudient les astronomes. L'augmentation du

nombre de satellites en orbite, et l'augmentation conséquente de ces perturbations lumineuses, a conduit les chercheurs à modifier leurs pratiques afin de limiter ces perturbations. **Cependant, ces adaptations ne peuvent être viables que si leur nombre reste limité.** D'ores et déjà, ces mesures compensatoires se mettent en place **au détriment de la recherche et des financements publics en limitant le temps d'observation et/ou en augmentant le temps de traitement des données.** Elles pèsent également sur **la capacité même à produire des résultats de recherche en dégradant les données collectées.** À titre d'exemple, l'observatoire Vera Rubin estime que si la constellation SpaceX Starlink atteint son nombre prévu de 42 000 satellites, jusqu'à 30 % de toutes les images collectées contiendraient au moins une traînée de satellite.¹ Une estimation ne prenant pas en considération les autres projets de constellation de satellites. Si le nombre de traînées ou leur luminosité devient trop important, des lots complets d'images pourraient ainsi devenir totalement inutilisables.

- *Pollution spectrale/infrarouge* : Les observations astronomiques consistent également à étudier les spectres lumineux obtenus en dispersant la lumière collectée par les télescopes. Les informations obtenues grâce à ces méthodes permettent de connaître la vitesse des objets célestes, leur composition et leur température. Ces données spectrales sont cruciales dans de très nombreux domaines de l'astrophysique (physique stellaire, études des galaxies, cosmologie...). En réfléchissant la lumière du Soleil, **les satellites peuvent ainsi brouiller les données obtenues lors de l'observation de spectres en renvoyant le spectre solaire ou en émettant des sources de chaleur infrarouge.** Cette contamination des données est particulièrement difficile à détecter.
- *Luminosité globale du ciel* : La luminosité du ciel ne dépend pas uniquement des signaux visibles. **La recherche astronomique est également affectée par l'augmentation significative de la luminosité globale du ciel résultant de deux phénomènes.** Premièrement, les petits objets spatiaux (débris, constellations) ne laissent pas forcément de trace visible lors de l'observation. Néanmoins, leur accumulation et la réflexion lumineuse induite s'intègrent au ciel nocturne environnant, ce qui se traduit par un ciel plus lumineux. Cela représente une perte d'efficacité potentielle, en particulier pour les télescopes à très grand champ de vision utilisés pour effectuer des relevés dans de vastes zones du ciel. Comme le ciel s'éclaircit en raison de la présence d'objets spatiaux, ces relevés peuvent être plus longs et plus coûteux à obtenir, et la pollution lumineuse au sol s'en trouve accrue. Ce phénomène touche également les relevés infrarouges. Les satellites et les débris spatiaux, en absorbant la lumière du soleil et en rayonnant dans l'infrarouge, peuvent ainsi rendre difficile la perception de faibles signaux infrarouges provenant du cosmos. Il convient de noter que certaines solutions d'atténuation de la pollution lumineuse, telles que l'assombrissement des satellites, peuvent accroître les perturbations infrarouges en augmentant le rayonnement dans les longueurs d'onde infrarouges et submillimétriques, créant ainsi des interférences avec les observations au sol à ces longueurs d'onde².

Radioastronomie

Les radiofréquences font désormais partie de la vie quotidienne des citoyens pour l'utilisation de technologies telles que le Wi-Fi, le Bluetooth ou encore la radiodiffusion. L'utilisation des radiofréquences en astronomie permet désormais des avancées majeures dans des vastes domaines de

¹ Impact of Satellite Constellations (Observatoire Vera Rubin, 2022) <https://www.lsst.org/content/lsst-statement-regarding-increased-deployment-satellite-constellations>

² <https://www.nature.com/articles/s41550-023-01904-2>



la recherche en astrophysique, cosmologie et physique fondamentale. Les nouveaux radio télescopes opérationnels ou en construction permettent des analyses sans égales, par exemple, sur l'évolution des galaxies au cours de l'histoire de l'Univers, l'aube du cosmos, les champs magnétiques cosmiques, la détection et le suivi électromagnétique d'ondes gravitationnelles. La radioastronomie présente également l'avantage de ne pas être affectée par les conditions météorologiques (Soleil, nuages, pluie) mais est particulièrement sensible à l'émission d'autres ondes radio alentour. C'est pourquoi ces infrastructures de recherche sont souvent construites dans des zones éloignées de l'activité humaine.

Une première précision importante est que le risque de contamination des signaux radio par les satellites peut avoir deux effets différents, selon que la gamme de fréquences qui subit l'interférence est ou non une bande protégée pour la radioastronomie. Si le signal arrive à l'intérieur d'une des bandes protégées, il existe une voie réglementaire pour y remédier par l'intermédiaire des administrations nationales et, en dernier ressort, de l'UIT-R. En revanche, des problèmes se posent en dehors des bandes protégées, où les radiotélescopes observent, car la plupart des sources radio astrophysiques ont une émission continue sur une très large bande de fréquences, il n'y a pas de protection réglementaire puisque ces fréquences sont attribuées à d'autres services. Ainsi, lorsque l'on considère les risques pour les observations radio astronomiques, on peut les classer en "émissions non désirées dans les bandes protégées" et "occupation croissante du spectre en dehors des bandes protégées".

L'activité des satellites peut ensuite entraver les activités de recherche en radioastronomie de deux manières principales.

- *Les interférences directes* : La croissance exponentielle du nombre de satellites actifs en orbite terrestre basse pourrait faire en sorte que des milliers de satellites se trouvent au-dessus de l'horizon local des radiotélescopes à tout moment, transmettant des signaux dans la gamme de fréquences observée par les instruments astronomiques. Les radiotélescopes sont sensibles à tout émetteur en ligne de mire par le biais de leur faisceau principal ou des lobes secondaires de l'antenne. Le nombre croissant de satellites augmentant en particulier la probabilité d'un couplage direct des faisceaux (où le satellite et le télescope pointent directement l'un vers l'autre), des niveaux de puissance extrêmement élevés peuvent être reçus par les antennes. Ceci aurait comme effet de saturer les récepteurs ou de faire passer le système en régime non linéaire. Une augmentation significative des satellites LEO menace potentiellement la viabilité des observations pour l'ensemble des bandes d'observations aux mêmes fréquences émises par les satellites, à moins que des mesures d'atténuation rigoureuses ne soient mises en place.
- *Les interférences indirectes* : tout en respectant les fréquences attribuées à la radioastronomie, certains opérateurs peuvent émettre involontairement des signaux hors bande. En ce cas, une partie de la puissance radio qu'ils émettent se situe à des fréquences autres que celles prévues pour la diffusion. Ce cas a notamment été référencé par les scientifiques de l'observatoire LOFAR, ayant détecté que les constellations SpaceX bien qu'autorisées à opérer dans la bande de fréquences radio de 10,7 à 12,7 GHz, principalement destinée à la connectivité internet, émettaient également aussi des signaux électromagnétiques à des fréquences nettement plus basses situées entre 110 et 188 MHz pour 47 des 68 satellites observés. Les satellites ont donc non seulement produit des interférences inattendues en dehors de leur bande d'opération, mais en plus certains de ces signaux tombent dans une des gammes spécifiquement attribuées à l'astronomie (150.05 - 153MHz). **Selon les chercheurs impliqués dans cette étude, les**



émissions détectées proviennent de l'électronique embarquée de ces satellites et sont donc distinctes des transmissions de communication prévues.³

L'augmentation de ces activités rend ainsi de plus en plus fréquent le nombre de ces perturbations entraînant des perturbations importantes pour la recherche. En outre, la croissance exponentielle du nombre d'acteurs présents dans l'espace complexifie la capacité à conduire des activités de recherche en :

- *Augmentant la pression sur les fréquences et le nombre d'observations passives* : Avec l'augmentation du nombre de demandes d'attribution de fréquence radio liées à l'augmentation du nombre d'opérateurs, l'Union internationale des télécommunications (UIT) est désormais contrainte de plus en plus fréquemment d'attribuer des fréquences « voisines » de celles utilisées par les astronomes. **Cette augmentation du nombre de fréquences voisines se traduit par une augmentation des observations « passives », ce qui peut compliquer le traitement des données et rendre plus difficile la détection des signaux faibles, en raison de la sensibilité requise des infrastructures d'astronomie.**
- *Ne permettant plus l'existence de zones « silencieuses »* : Les satellites sont devenus une source particulière de pollution pour la radioastronomie car ils émettent des signaux radio presque partout, contrairement aux sources d'émission radio au sol qui peuvent être évitées grâce à des stratégies d'éloignement des centres d'activité humaine. Il devient ainsi impossible, hors zone de « non survol », de préserver des « zones de silence radio », même dans le cadre d'accords avec des pays ou des localités, d'autant plus que les interférences radio peuvent provenir de plusieurs directions simultanément.

Recommandation 5 : Ne pas limiter le processus de labellisation à l'évaluation individuelle des satellites des opérateurs mais prendre en compte l'impact total des activités spatiales sur la luminosité et le bruit du ciel.

Recommandation 6 : En application de la loi spatiale, prévoir ou renforcer des mécanismes de financement :

1. *de plateformes de mesures optiques et radio afin d'estimer objectivement l'impact des satellites sur les infrastructures de recherche. Ces plateformes seraient des éléments clés du processus de labellisation*
2. *de programmes de R&T permettant de nettoyer ou d'anticiper ces pollutions (financement Horizon Europe ou contribution des opérateurs dans le cadre de l'octroi d'un label)*

Recommandation 7 : Prendre en considération les interférences directes (respecter des bandes de fréquences interdites pour les émissions en orbite) et indirectes des activités spatiales (électronique embarquée) ainsi que l'obligation de coopération des opérateurs avec les infrastructures de recherche astronomique dans le cadre de l'attribution d'un label de soutenabilité et/ou d'autorisation d'activités et de services en Europe.

Recommandation 8 : Dans sa consultation la Commission européenne s'intéresse au coût potentiel de mesures limitant les interférences radio et lumineuses. Le CNRS appelle la Commission à également évaluer et prendre en considération les coûts déjà existants et potentiels sur les infrastructures publiques

³ <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/decouverte-dun-nouvel-impact-des-constellations-de-satellites>



liées aux perturbations radio et lumineuses, limitant l'utilisation de ces infrastructures impliquant un travail supplémentaire de nettoyage des données.

Recommandation 9 : Développer les services publics européens ad hoc et le soutien aux activités de recherche publique européennes permettant de développer la capacité à suivre les événements du ciel transitoire à toutes les échelles de luminosité (luminosité de l'objet et amplitude de variation), toutes les échelles spatiales (objets en mouvement), toutes les échelles temporelles (milli-seconde à multi-séculaire) et toutes les échelles spectrales. Cette recommandation permettrait non seulement de renforcer la capacité de l'Europe à vérifier le respect des règles établies pour les satellites, mais aussi à améliorer sa recherche fondamentale et d'assurer la sécurité de ses propres infrastructures ou de celles de ses entreprises.

Recommandation 10 : Parmi les mesures devant être encouragées auprès des opérateurs européens et non européens (hors service de défense) :

- *Limiter la magnitude visuelle apparente des satellites à $V_{mag} > 7.0 + 2.5 \times \log_{10}(\text{SatAltitude} / 550 \text{ km})$ afin que les images restent exploitables et renforcer la R&T pour réduire cette empreinte lumineuse*
- *Rendre accessibles, à des fins de recherche, les éléments orbitaux / éphémérides précis des satellites*
 - *pour adapter les programmes d'observation afin d'éviter les satellites brillants*
 - *pour prédire les configurations d'occultations d'astres en arrière-plan*
- *Rendre accessibles, à des fins de recherche, les diagrammes d'émission angulaire des satellites (diagrammes d'antenne)*

Recommandation 11 : Dans le cadre de ces activités sur la scène internationale la Commission européenne devrait :

- *Plaider pour l'élaboration de mesures et standards appropriés dans le cadre de l'UIT*
- *Plaider pour la détermination d'un maximum de contribution artificielle afin de limiter l'augmentation globale du fond diffus du ciel.*

Recommandation 12 : Inclure dans le cadre des programmes de financements européens le lancement de programmes d'observations afin de mesurer précisément l'impact et le coût des satellites sur les mesures scientifiques (optique, radio...) ainsi que des programmes de recherche et développement (en partenariat public-privé) afin de mettre au point des solutions techniques limitant la réflectivité des satellites.

Concernant les activités de recherche nécessitant des technologies spatiales

De nos jours, la recherche astronomique ne se limite pas aux activités au sol mais se base également sur l'envoi de télescope d'observation en orbite dont les images, en dehors de leur intérêt pour la recherche, suscitent un fort intérêt du grand public. S'il est possible de penser que ces satellites représentent une solution aux difficultés entraînées par l'augmentation des activités spatiales sur les infrastructures au sol, cet argument ne reflète pas la réalité scientifique de l'utilisation de ces télescopes, dont **les données collectées sont en réalité complémentaires de celles obtenues au sol**. Il n'est donc pas souhaitable d'envisager le déplacement des activités astronomiques dans l'espace comme une solution aux problèmes susmentionnés.

En outre, la question de la pollution lumineuse affecte également ces satellites. Comme indiqué précédemment, la réflexion des satellites et débris n'est pas uniquement dirigée vers la Terre mais



également vers l'espace entraînant ainsi une dégradation des données de certains satellites en orbite basse.

L'augmentation du nombre de satellites en orbite représente également un risque pour les instruments scientifiques en 1) limitant leur durée de vie en raison du nombre accru de manœuvres d'évitement qui consomment les réserves de carburant nécessaires et 2) en augmentant le risque de collision directe, ce qui pourrait entraîner la perte de ces satellites.

Alors que la majorité des variables nécessaires à l'observation du climat requièrent aujourd'hui des technologies spatiales, l'augmentation du risque de collision et le non respect du besoin prioritaire du respect des activités de recherche font également peser un risque important en cas de collision en chaîne (Syndrome dit de « Kessler ») et de la perte d'instruments nécessaires au suivi des indicateurs climatiques et des modélisations. Des pertes inestimables, aussi bien d'un point de vue scientifique que sociétal, seraient alors inévitables.

Recommandation 13 : Rendre contraignant, dans le cadre de l'attribution de critère de soutenabilité, la transmission d'informations avec les organismes de recherche.

Recommandation 14 : Inclure le besoin prioritaire du respect des activités de recherche dans le cadre des manœuvres d'évitement dans les constantes d'évaluation des pratiques soutenables.

Concernant l'impact sur la biodiversité et les objectifs climatiques de l'UE

Pollution lumineuse, désorbitation & Biodiversité

Il faut noter que l'augmentation globale de la luminosité du ciel peut également avoir des impacts sur la biologie et les espèces vivantes. Plusieurs études scientifiques ont, par exemple, mis en évidence que la réduction de la visibilité de la Voie lactée a un impact sur les schémas migratoires de nombreuses espèces⁴. Par ailleurs, les recherches sur les effets d'une augmentation des rentrées atmosphériques de satellites⁵ et de débris ou de l'accumulation de débris dans les océans restent limitées et bénéficieraient d'un soutien supplémentaire aussi bien dans le cadre de la mise en œuvre de cette loi qu'au regard des objectifs environnementaux de l'Europe.

Recommandation 15 : Dans le cadre des mesures d'évaluation des impacts des activités spatiales, l'Europe devrait également renforcer le financement de la recherche dédiée aux impacts de ces activités dans le domaine climatique et de la biodiversité.

A titre d'exemple le CNRS coordonne le réseau « écologique sombre » regroupant des laboratoires de divers organismes de recherches et destiné à intégrer les processus écologiques associés aux paysages nocturnes dans la lutte contre la pollution lumineuse et les stratégies de conservation de la biodiversité.

⁴ <https://www.nature.com/articles/s41550-023-01904-2>

⁵ <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89909-7>