

Contribution à la consultation publique de l'Arcep

I. Contexte de la consultation

Dans une décision du 9 février 2021 (n° 2021-0116), l'Arcep a attribué à la société Starlink Internet Services Limited (Starlink) une autorisation d'utilisation de fréquences radioélectriques pour un réseau ouvert au public du service fixe par satellite¹. Cette autorisation a été attribuée pour une durée de dix ans.

Un arrêt du Conseil d'État du 5 avril 2022 (affaire n° 455321) a annulé cette décision au motif que son adoption n'a été précédée d'aucune consultation publique. Dans le cadre de la présente consultation publique, l'Arcep entend donc se conformer à l'enseignement de cet arrêt². Il n'existe aucune information publiquement disponible permettant de savoir si la demande d'autorisation de Starlink concerne sa configuration Gen1 (exploitation de 4 408 satellites) et/ou sa configuration Gen2 (exploitation de 29 988 satellites supplémentaires). La présente contribution de Skylogic France SAS (Skylogic France), une filiale de Viasat, Inc. (Viasat), tiendra donc compte de ces deux configurations et de leur impact.

La présente contribution est structurée comme suit : une description générale du groupe Viasat et de ses activités en France et en Europe (II), un aperçu des obligations de l'Arcep lors de l'évaluation de la demande de Starlink (III), une description des principales préoccupations de Skylogic France concernant la constellation de satellites de Starlink (IV), et les conclusions de Skylogic France sur la manière dont l'Arcep devrait agir à la suite de la demande d'autorisation d'utilisation de fréquences de Starlink (V).

II. Introduction

Skylogic France remercie l'Arcep de l'occasion qui lui est donnée d'apporter sa contribution concernant l'autorisation d'utilisation des fréquences demandée par Starlink. Cette consultation publique est opportune et importante au vu de l'intensification des activités spatiales et du rythme d'innovation sans

¹ [Décision n° 2021-0116 de l'Arcep en date du 9 février 2021 attribuant une autorisation d'utilisation de fréquences radioélectriques à la société Starlink Internet Services Limited pour un réseau ouvert au public du service fixe par satellite.](#)

² [Conseil d'État \(conseil-etat.fr\)](#)

précédent dans l'espace, circonstances qui exigent que tous les acteurs prêtent une attention particulière à l'utilisation et au partage efficaces des ressources orbitales limitées.

Skylogic France fait partie du groupe Viasat, un fournisseur mondial de solutions de communication qui est persuadé que tout et tout le monde peut être connecté. Les 5 800 employés de l'entreprise, répartis sur plus de 60 sites dans le monde, fournissent de la connectivité aux consommateurs, aux entreprises, aux gouvernements et aux armées du monde entier, même dans les endroits les plus difficiles à atteindre. Viasat est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de services fixes à haut débit et de connectivité en vol par satellite, avec des centaines de milliers d'abonnés fixes dans les Amériques, en Europe, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord et environ 1 500 avions commerciaux en service.

Viasat possède des décennies d'expérience en orbite géostationnaire (OSG) et en orbite terrestre basse (LEO) : en OSG, l'entreprise possède et exploite actuellement, détient des baux à vie sur, ou est en train de construire un total de 9 satellites, dont Ka-Sat, un satellite immatriculé en France qui opère sous des assignations de fréquences françaises à la position de longitude 9° Est et fournit un accès à haut débit à des dizaines de milliers de foyers en France et dans le reste de sa zone de couverture ; en LEO, au cours des trente dernières années, Viasat a construit des charges utiles, conçu et fabriqué des réseaux terrestres et des terminaux d'utilisateurs et/ou exploité des satellites.

En France, Viasat travaille régulièrement avec l'industrie spatiale nationale. Arianespace a été le partenaire de lancement pour les satellites WildBlue-1 et ViaSat-2 en 2007 et 2017. Eutelsat est le partenaire opérationnel de Viasat pour Ka-Sat depuis de nombreuses années. La constellation ViaSat-3 est actuellement en phase finale de construction et devrait faire l'objet de trois lancements à partir du second semestre 2022, dont un qui desservira la France et l'Europe, et l'un de ces lancements se fera sur Ariane 6. Le programme ViaSat-3 s'accompagnera d'une montée en puissance des opérations françaises de Viasat, avec près de 100 millions d'euros alloués à la construction et à l'exploitation du réseau terrestre ViaSat-3 en France pendant la durée de vie du satellite.

En tant que leader mondial de l'industrie, Viasat a toujours été un grand promoteur de pratiques responsables et équitables visant à garantir l'accès pour tous à l'environnement orbital ainsi que la sécurité et la durabilité des opérations spatiales. Cet engagement de longue date est illustré par la récente signature par Viasat de l'initiative "*Net Zero Space*" du Forum de Paris sur la Paix, qui vise à lutter contre la crise croissante des débris spatiaux.

Skylogic France espère que ses suggestions ci-dessous aideront l'Arcep à s'assurer que les autorisations d'utilisation du spectre qu'elle déciderait, le cas échéant, d'attribuer créeront des conditions équitables pour tous les acteurs, que ce soit en OSG, en LEO ou en orbite non géostationnaire (non OSG) autre que LEO, et ne constitueront pas une menace pour l'utilisation efficace du spectre, les intérêts nationaux de la France, la sécurité spatiale ou l'environnement.

III. Les obligations de l'Arcep à l'égard de la demande d'autorisation d'utilisation de fréquences de Starlink

Suite à l'annulation de sa décision n° 2021-0116 par le Conseil d'État et sur la base des contributions reçues dans le cadre de la présente consultation publique, l'Arcep doit, dans un premier temps, apprécier si elle doit attribuer, ou non, l'autorisation requise par Starlink. Si l'Arcep conclut qu'elle peut et devrait accorder une telle autorisation, elle doit ensuite déterminer sous quelles conditions elle doit le faire.

Les pouvoirs de l'Arcep en matière d'octroi d'autorisations d'utilisation de fréquences radioélectriques sont définis par l'article L42-1 du Code des postes et des communications électroniques (CPCE). Cet article prévoit notamment que ces autorisations peuvent être refusées, y compris pour des raisons tenant à la sauvegarde de l'ordre public, les besoins de la défense nationale ou de la sécurité publique (L42-1.I.1°), à l'exercice au bénéfice des utilisateurs d'une concurrence effective et loyale (L42-1.I.1°bis), et à la bonne utilisation des fréquences (L42-1.I.2°). Par ailleurs, l'obligation pour les autorités nationales de régulation de rejeter une demande d'autorisation d'utilisation du spectre, lorsque le projet envisagé est susceptible d'entraîner une distorsion de concurrence, résulte également du droit de l'UE³. En conséquence, l'Arcep doit procéder à une évaluation approfondie, portant notamment sur l'impact du projet de Starlink au regard des critères prévus par le CPCE, avant de se prononcer sur la délivrance de l'autorisation sollicitée.

Sur cette base, l'Arcep devrait, à tout le moins, procéder à une évaluation indépendante qui lui permettrait d'adopter une décision éclairée concernant les questions sérieuses soulevées par Skylogic France dans la présente contribution. Cette évaluation devrait tenir compte de l'impact du projet Starlink en matière de concurrence efficace et durable sur les marchés français et européens de la fourniture d'accès à l'Internet à haut débit depuis l'espace, ainsi que des interférences probables avec d'autres systèmes OSG et non OSG.

Outre ces éléments, il serait important que cette évaluation indépendante analyse l'impact de l'utilisation du spectre proposée, par la constellation Starlink, sur l'astronomie, le ciel nocturne, l'atmosphère, et le risque de collision et de création de débris orbitaux supplémentaires. Ceci serait conforme à l'article L122-1 du Code de l'environnement, qui prescrit que les projets qui, par leur nature, leur dimension ou leur localisation, sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine font l'objet d'une évaluation environnementale⁴. En outre, garantir un niveau élevé de protection de l'environnement constitue l'un des objectifs de l'Arcep, conformément au CPCE^{5 6}.

Si au terme d'une évaluation indépendante et approfondie, l'Arcep conclut qu'elle peut et devrait accorder l'autorisation demandée par Starlink, l'Arcep devra déterminer les conditions régissant cette

³ Voir en ce sens l'arrêt du 15 avril 2021, *Eutelsat SA*, C-515/19, EU:C:2021:273, point 51.

⁴ Cela serait également conforme au droit européen applicable, voir l'article 2 de la directive 2011/92/UE du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2011 concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, JO L 26 du 28.1.2012, p. 1-21.

⁵ Article L32-1-II-8°.

⁶ Article L32-1-II-8°.

autorisation. Il convient de rappeler que lorsque l'Arcep accorde des droits individuels d'utilisation de fréquences radioélectriques, elle doit s'assurer que cette utilisation est soumise à des conditions appropriées, notamment des conditions relatives à la nature et aux caractéristiques techniques des équipements, réseaux, technologies et services qui peuvent utiliser la fréquence ou la bande de fréquences, ainsi que des conditions techniques et opérationnelles nécessaires pour éviter les brouillages préjudiciables (L42-1, II, 1° et 4°). À cet égard, l'Arcep doit tenir compte de ses objectifs généraux, notamment la promotion d'une concurrence effective et loyale (L32-1.III et L42-1-1)⁷.

Seule une action appropriée en la matière permettra à la France de remédier aux atteintes aux intérêts français et européens qu'implique le système Starlink. Cette action pourrait inclure l'imposition de conditions appropriées pour atténuer les risques de ces atteintes.

Compte tenu des graves problèmes résultant du déploiement et de l'exploitation du système Starlink en termes de concurrence, d'utilisation efficace du spectre, de protection de l'environnement, de défense et de sécurité nationales, Skylogic France estime que les conditions que l'Arcep doit imposer si elle décidait de délivrer une autorisation doivent (i) garantir l'absence d'interférences avec les systèmes OSG et non OSG, (ii) garantir le respect par l'ensemble du système Starlink des limites qui s'appliquent à chaque système non OSG en termes d'interférences, (iii) limiter l'effet d'exclusion d'accès aux ressources orbitales limitées et partagées des non OSG qu'implique le système Starlink, et (iv) gérer à la fois les risques de collision et de débris orbitaux (et les dommages qui en résultent pour les autres systèmes qui opèrent en LEO ou y transitent) et les autres dommages environnementaux, comme exposé ci-dessous.

À cet égard, les conditions imposées par l'Arcep doivent être suffisamment précises pour constituer une garantie *ex ante* contre les interférences indésirables, les effets d'éviction et les dommages environnementaux. Dans le cas contraire, les dommages qui résulteraient de l'autorisation en cause seront extrêmement difficiles à rattacher avec spécificité et certitude à Starlink et à atténuer une fois que les satellites de Starlink auront commencé à utiliser le spectre pour fournir des services en France. Seules des conditions définies au préalable et correctement modulées pourront atténuer les effets préjudiciables attendus du projet de Starlink sur la concurrence, sur l'utilisation efficace des ressources spectrales et orbitales, ainsi que sur l'environnement.

Comme le souligne un récent rapport de l'*International Risk Governance Center* de l'EPFL, il est impératif de prendre des mesures préventives dès maintenant au niveau national, car nous ne parviendrons pas à court terme à un consensus international sur un nouveau cadre de réglementation des grandes constellations LEO⁸. Par conséquent, les mesures préventives prises par l'Arcep constitueraient un premier pas important, nécessaire et critique vers la gestion des risques à court terme et fourniraient également "un précédent pouvant servir de base à l'élaboration d'accords internationaux plus larges"⁹.

⁷ Voir également l'article 52, paragraphe 1, de la directive (UE) 2018/1972 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 établissant le code des communications électroniques européen, JO L 321 du 17.12.2018, p. 36-214.

⁸ R. Buchs, *Policy Options to Address Collision Risk From Space Debris*, Lausanne : EPFL International Risk Governance Center, 2021.

⁹ *Id.* à ii.

L'Arcep ne peut pas se fonder sur la prémisse que ces risques pour les intérêts français et européens ont été traités de manière adéquate par les administrations chargées de l'octroi des autorisations de Starlink. En effet, d'autres Etats ont intérêt à remplir le LEO avant la France. De même, d'autres Etats que la France ont, parce qu'ils accueillent nettement moins d'entreprises mondiales de satellites OSG qui peuvent être affectées par les interférences, qu'il s'agisse de télévision directe à domicile (DTH) ou à haut débit, beaucoup moins de raisons d'adopter des mesures strictes afin de faire face aux menaces pour les intérêts français et européens qui font l'objet de la présente contribution.

Les principales missions de l'Arcep, selon le CPCE mais aussi selon le Code des communications électroniques européen¹⁰, sont de favoriser une utilisation efficace et efficiente du spectre¹¹ et d'assurer une concurrence effective et durable dans l'intérêt des utilisateurs finaux¹². Skylogic France invite l'Arcep à faire preuve d'une grande prudence dans la poursuite de ces missions compte tenu (i) des effets perturbateurs que les versions de première et de deuxième génération du projet Starlink auraient inévitablement sur le marché de la fourniture de services DTH et d'Internet haut débit en France et en Europe. De même, l'Arcep doit tenir compte des risques posés par ce projet à d'autres utilisations de l'espace LEO – y compris des utilisations à des centaines de kilomètres des orbites que Starlink utiliserait, telles que, entre autres, les observations spatiales pour les prévisions météorologiques, la surveillance du climat et les sciences de la terre, ainsi que le positionnement, la navigation et la synchronisation (PNT).

En effet, les mesures que prendra l'Arcep ici pour préserver et promouvoir la concurrence et l'accès équitable à un spectre et à des ressources orbitales limités pour servir les intérêts français et européens serviront de modèle important pour d'autres régulateurs nationaux – et constitueront une étape critique vers le maintien d'un environnement concurrentiel pour les opérateurs de satellites, les fabricants et les fournisseurs de services de lancement français et européens, dans le monde entier.

IV. Les préoccupations de Skylogic France concernant la constellation de satellites Starlink et le projet d'autorisation en cause

Dans ses conclusions rendues dans l'affaire n° 455321, publiées le 5 avril 2022, le Rapporteur public décrit un projet Starlink susceptible d'avoir « *une incidence importante, si ce n'est sur le marché des télécommunications, à tout le moins sur le marché de l'accès internet à haut débit par satellite* ». Par ailleurs, le Rapporteur public indique que l'activité proposée par Starlink « *doit également être regardée comme affectant les intérêts des utilisateurs [finaux]* ». Les conclusions du Rapporteur public mentionnent aussi les préoccupations selon lesquelles le propriétaire de Starlink, SpaceX, pourrait acquérir une « *position ultra dominante* » dans la nouvelle industrie spatiale (l'« industrie du

¹⁰ Directive (UE) 2018/1972 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 établissant le Code des communications électroniques européen, JO L 321 du 17.12.2018, p. 36-214.

¹¹ Voir les articles L32-1-III-7° et L32-1-I-10° du CPCE et l'article 3, paragraphe 2, point c), de la directive 2018/1972.

¹² Voir les articles L32-1-III-1° et L32-1-III-2° du CPCE et les articles 3, paragraphe 2, point b) et 3, paragraphe 4, point f) de la directive 2018/1972.

Newspace »), en particulier dans le secteur LEO, et « *pourrait même bouleverser l'équilibre économique d'autres secteurs du fait de la stratégie d'intégration verticale de SpaceX* ».

Dans le contexte de l'augmentation des projets de méga-constellations, Skylogic France souhaite s'assurer que le déploiement et l'exploitation du système Starlink, s'il est autorisé en France, soient menés de manière à respecter l'intérêt public et à soutenir la durabilité à long terme de l'environnement. Skylogic France croit fermement à la concurrence ouverte. Pour permettre la concurrence, il faut que l'accès à l'espace soit sûr et disponible pour plusieurs systèmes LEO et plusieurs états. À ce titre, les politiques spatiales durables et la compétitivité de l'industrie sont complémentaires.

Par conséquent, Skylogic France soumet la contribution suivante qui se concentre sur cinq questions clés : (1) le verrouillage de l'accès à l'espace et les interférences avec les systèmes OSG et autres systèmes non OSG, (2) les impacts négatifs significatifs sur l'industrie spatiale française et européenne, (3) les conséquences négatives sur les intérêts des utilisateurs finaux et des citoyens, (4) les effets environnementaux sur l'atmosphère, l'espace durable, l'astronomie optique et la radioastronomie, et (5) les implications potentielles pour la sécurité nationale. Skylogic France soumet également à l'Arcep une liste non exhaustive de quelques conditions précises dont l'autorisation éventuellement accordée pourrait (et devrait) être assortie, à (voir V, « Conclusion »).

1. Permettre à Starlink d'utiliser le spectre radioélectrique pour le déploiement de la constellation de satellites proposée empêcherait l'accès équitable et sûr à l'espace et interférerait avec les réseaux OSG et les autres réseaux non OSG

Comme le note le Rapporteur public, l'objectif du projet Starlink « *est le déploiement à terme d'une constellation d'environ 42 000 satellites afin de proposer aux 7 milliards de Terriens un accès à Internet en passant par l'espace* ». Ce projet d'expansion spectaculaire du système Starlink proposé par SpaceX lui permettrait de dominer le spectre et les ressources orbitales critiques, rares et partagées, empêchant les autres opérateurs de satellites d'accéder au spectre (et plus généralement en LEO) et de l'utiliser pour proposer des offres satellitaires innovantes et compétitives qui répondraient aux besoins des consommateurs et à d'autres besoins vitaux.

Cette approche « d'appropriation des ressources » par SpaceX présente donc des risques très réels, notamment :

- A. Des interférences non autorisées sur les réseaux OSG qui interrompent leur fonctionnement et réduisent leur capacité ;
- B. Le blocage de l'accès équitable aux bandes de fréquences non OSG partagées ;
- C. L'empêchement de l'accès sûr et fiable à environ 86 % des altitudes comprises entre 300 km et 700 km, quelle que soit la bande de fréquences ;
- D. Un dépassement de la part équitable de la quantité totale de brouillages que tous les systèmes non OSG (combinés ensemble) peuvent générer dans les réseaux OSG.

Comme Skylogic France le démontrera ci-dessous, chacun de ces risques entraîne de graves menaces à la concurrence loyale sur le marché de la fourniture de solutions innovantes d'Internet à haut débit par satellite avec des conséquences négatives pour les consommateurs et pour l'utilisation et le partage efficaces du spectre.

A. Brouillage non admissible avec les réseaux OSG

(i) Starlink ne devrait pas être autorisé à utiliser le spectre car rien ne prouve ex ante qu'un angle d'évitement approprié sera utilisé pour atténuer les brouillages avec les réseaux OSG.

Les mouvements des satellites non OSG dans le ciel créent des opportunités de brouillages variables dans le temps avec les réseaux OSG. À moins qu'un opérateur non OSG, comme Starlink, n'emploie des mesures d'atténuation appropriées, les instances de brouillages par alignement avec les réseaux OSG dégraderont et perturberont de manière répétée les services aux utilisateurs finaux des réseaux OSG.

Les satellites OSG d'aujourd'hui sont extrêmement efficaces dans leur façon d'utiliser le spectre pour fournir des services innovants avec des terminaux utilisateurs plus petits que jamais. Tirant parti des progrès technologiques, les satellites OSG modernes sont capables de fournir plus de 1 Tbit/s chacun de capacité totale, avec des débits encore plus élevés prévus dans les prochaines années.

Les réseaux OSG parviennent à cette augmentation sans précédent de la capacité grâce, entre autres, à une efficacité spectrale accrue, facilitée par l'utilisation de récepteurs satellites à basse température de bruit et à gain d'antenne élevé (G/T). Aujourd'hui, même un seul système non OSG, comme Starlink, est susceptible de causer des brouillages dans les réseaux OSG. Plusieurs systèmes non OSG fonctionnant simultanément sur les mêmes fréquences posent un risque de brouillage global encore plus grand pour ces réseaux OSG.

À moins que les liaisons de communication de Starlink ne soient séparées angulairement de l'arc OSG par une distance suffisante, elles pourraient facilement dégrader les niveaux de service et entraîner des pertes de capacité pour les réseaux OSG avec lesquels Starlink cherche à entrer en concurrence, notamment ceux qui desservent la France et l'Europe. La séparation angulaire est une technique opérationnelle relativement simple dans laquelle les satellites non OSG évitent de fonctionner dans une séparation angulaire appropriée autour de l'arc OSG. Si l'utilisation d'un satellite non OSG particulier pour desservir un emplacement donné ne permet pas de maintenir une séparation angulaire suffisante, un autre satellite sera utilisé, et l'autre satellite non OSG servira à desservir un autre emplacement où il sera en mesure de maintenir la séparation angulaire requise. Le schéma 1 ci-dessous illustre ce concept.

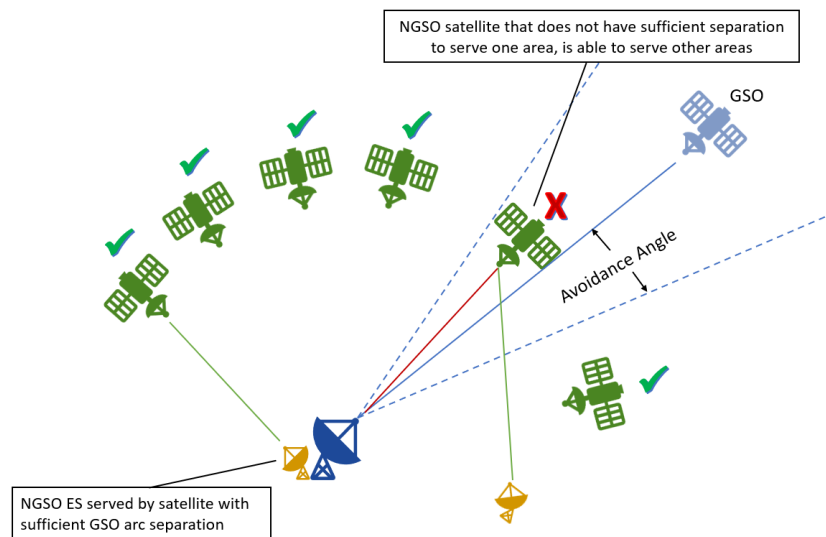


Schéma 1 - Système non OSG utilisant l'angle d'évitement OSG.

Traduction du schéma :

NGSO satellite that does not have sufficient separation to serve one area, is able to serve other areas - Le satellite non OSG qui n'a pas une séparation suffisante pour desservir une zone est capable de desservir d'autres zones

NGSO ES served by satellite with sufficient GSO arc separation – Station terrienne non OSG desservie par un satellite avec une séparation suffisante de l'arc OSG

Avoidance angle - Angle d'évitement

Il convient de noter que la séparation angulaire n'impose pratiquement aucune contrainte à la capacité des systèmes non OSG, car les grands systèmes non OSG comme Starlink disposent toujours de plusieurs options pour affecter différents satellites afin de desservir différents endroits sur la Terre. De plus, ils transfèrent régulièrement le trafic d'un satellite non OSG à un autre tenant compte du fait que les satellites se déplacent rapidement dans le ciel. La séparation angulaire est d'ailleurs couramment utilisée par les systèmes non OSG dans les accords de coordination de l'UIT pour protéger les réseaux OSG.

Bien que l'évitement de l'arc OSG puisse atténuer efficacement certains brouillages potentiels causés par des systèmes non OSG dans les opérations OSG, l'efficacité de cette technique dépend entièrement de l'angle d'évitement spécifié. La question de savoir si cet angle est suffisant ne peut être évaluée que sur la base d'informations relatives à la conception des radiofréquences et à la performance EPFD du système non OSG concerné.

Cela souligne la nécessité de définir dès le départ des paramètres appropriés dont il est démontré par des calculs mathématiques qu'ils sont raisonnablement susceptibles d'atténuer le risque de brouillage des opérations des réseaux OSG par Starlink – par exemple, en spécifiant *ex ante* un angle précis et approprié d'évitement de l'arc OSG.

Aucune information publique de ce type n'est toutefois disponible en ce qui concerne les opérations de Starlink en France pour lesquelles une autorisation est demandée et une consultation publique a été ouverte. Dès lors, il est impossible de garantir que l'angle d'évitement que Starlink pourrait prévoir d'utiliser serait concrètement suffisant pour protéger les opérations OSG de tout brouillage.

Pour ces raisons, et puisque, en l'espèce, la preuve de l'existence de mesures adéquates pour éviter les brouillages préjudiciables doit être apportée *avant* l'octroi de toute autorisation (voir ci-dessous), l'Arcep ne peut pas adopter le projet de décision soumis à cette consultation publique.

Si l'Arcep devait néanmoins envisager d'accorder à Starlink une autorisation d'utilisation du spectre, elle devrait, au minimum : (i) calculer l'angle minimal d'évitement de l'arc OSG qui garantirait que le système Starlink est en mesure d'éviter les brouillages des réseaux OSG desservant la France et l'Europe ; (ii) permettre aux parties intéressées d'évaluer l'efficacité de la solution proposée ; et (iii) exiger que Starlink maintienne un angle d'évitement de l'arc OSG approprié comme condition de toute autorisation qui pourrait finalement être accordée dans cette procédure.

Pour faciliter cette analyse, l'Arcep devrait demander à Starlink de fournir les informations suivantes :

- Nombre total de faisceaux sur chaque satellite desservant la France et l'Europe ;
- Nombre de faisceaux co-fréquence sur chacun de ces satellites ;
- Nombre et taille des canaux de fréquence sur chacun de ces satellites ;
- Nombre de faisceaux de satellites utilisés pour des transmissions sur la même fréquence dans des zones identiques ou se chevauchant à un moment donné ;
- Mesures proposées par Starlink afin d'éviter les brouillages avec les réseaux OSG créés par les lobes latéraux des stations terriennes et des satellites, et les lobes arrières des stations terriennes, en particulier lorsque des antennes réseau à commande de phase sont utilisées.

Ces informations sont pertinentes pour évaluer l'impact potentiel des brouillages causés par Starlink sur les réseaux OSG, le potentiel de partage du spectre avec d'autres systèmes non OSG discuté ci-dessous, et, plus largement, l'impact de Starlink sur le spectre et l'environnement concurrentiel en France et en Europe.

Afin de s'assurer que les bases sur lesquelles l'Arcep accorde finalement une autorisation (si elle décide de le faire) ne changent pas en raison des itérations continues de la conception de Starlink, l'Arcep devrait également (i) spécifier que Starlink ne peut modifier les caractéristiques radiofréquences de son système satellitaire sans le consentement préalable de l'Arcep, et (ii) exiger que Starlink fournisse un rapport semestriel sur les itérations de la conception de Starlink afin de garantir le respect de cette condition.

(ii) Starlink ne respecte pas les limites de l'UIT en termes d'EPFD destinées à limiter les brouillages avec les réseaux OSG

Le risque de perturbation des réseaux OSG par des systèmes non OSG est bien connu et c'est ce qui a conduit à l'élaboration de divers règlements des radiocommunications (RR) de l'UIT qui protègent les

réseaux OSG des brouillages générés par les systèmes non OSG, y compris dans les bandes de fréquences dans lesquelles Starlink propose de fonctionner en France.

Ces dispositions comprennent :

- RR n° 22.2 qui exige que les systèmes à satellites non OSG ne causent pas de brouillages *inacceptables* aux réseaux à satellite OSG et ne demandent pas de protection vis-à-vis de ces réseaux ;
- Dans certaines bandes de fréquences, des limites de puissance surfacique équivalente (EPFD) qui, si elles sont effectivement respectées pendant le fonctionnement, remplissent l'obligation de la RR n° 22.2 d'un système non OSG ;
- Dans d'autres bandes de fréquences, une exigence selon laquelle les systèmes non OSG doivent se coordonner dans le cadre de la RR n° 9.11A en fonction de la priorité de la date de la fiche de notification du réseau de l'UIT.

Comme indiqué ci-dessus, l'une des principales conditions opérationnelles pour respecter ces exigences de non-brouillage est que le système non OSG réduise considérablement la quantité d'énergie non désirée qu'il génère vers l'OSG, notamment en maintenant un angle d'évitement approprié par rapport à l'arc orbital de l'OSG.

En ce qui concerne les bandes de fréquences 10.7-12.75 GHz et 14-14.5 GHz qui font spécifiquement l'objet de la présente consultation, Starlink est soumis à des limites sur les niveaux de EPFD qu'il peut générer vers les réseaux OSG¹³. Il existe deux types de limites. Les limites EPFD "pour une seule source" limitent la quantité de brouillage que le système Starlink lui-même peut générer à l'égard des réseaux OSG. Ces limites sont spécifiées comme une série de différents niveaux EPFD qui sont autorisés pour des intervalles variant dans le temps, et sont reflétées dans les courbes EPFD incluses dans l'Annexe A¹⁴. Comme le montre également l'Annexe A, la limite EPFD doit être respectée 100 % du temps, et les autres limites EPFD doivent être respectées pendant d'autres pourcentages de temps variables.

En outre, des limites EPFD "cumulatives" limitent la quantité des brouillages que tous les systèmes non OSG (y compris Starlink) peuvent générer au total, sur une base cumulative. Ces limites cumulatives ont été établies sur la base d'un maximum de 3,5 systèmes non OSG fonctionnant à un moment donné, chacun de ces systèmes générant des niveaux de EPFD compatibles avec les limites de EPFD "pour une seule source" applicables¹⁵. Ces limites cumulatives doivent être partagées et réparties entre tous les systèmes non OSG utilisant les fréquences qui se chevauchent.

Comme l'illustre l'Annexe A, le système Starlink dépasserait à divers égards les limites de l'EPFD "pour une seule source" et "cumulative". Le dépassement des limites EPFD "pour une seule source" en tout point de la courbe constitue une violation du Règlement des radiocommunications de l'UIT. Le dépassement de la limite EPFD "cumulative" en tout point de la courbe constitue également une violation. Les cas décrits dans l'Annexe A dans lesquels Starlink violerait les limites EPFD "pour une

¹³ Article 22 du Règlement de radiocommunications de l'UIT; Résolution 76 de l'UIT.

¹⁴ Article 22 du Règlement de radiocommunications de l'UIT.

¹⁵ Voir la résolution 76 de l'UIT.

seule source" 1%, 10% et même 100% du temps sont très préoccupants. Le brouillage généré à ces niveaux pourrait bien dégrader les niveaux de service et causer des pertes de capacité aux réseaux OSG à haut débit avec lesquels Starlink cherche à entrer en concurrence, y compris ceux qui desservent la France, ainsi que les services DTH utilisés par plusieurs millions de citoyens français, et par des centaines de millions d'utilisateurs dans le monde sur des satellites construits, exploités et/ou lancés par des sociétés françaises.

Le non-respect des limites EPFD "cumulatives" par SpaceX résulte de sa tentative de faire abstraction de la manière dont Starlink fonctionnera réellement, c'est-à-dire en essayant et d'essayer plutôt de (1) scinder artificiellement le système Starlink en différents composants constitutifs, et (2) d'examiner le respect par chacun de ces composants constitutifs (au lieu du système Starlink dans son ensemble) du respect des limites EPFD "pour une seule source"¹⁶. En particulier, l'UIT n'a aucun moyen de vérifier efficacement la capacité d'un opérateur de système à essayer de contourner ("jouer avec") le système de cette manière, en modifiant les entrées EPFD de manière à "passer" les vérifications ponctuelles de l'UIT concernant l'EPFD sans refléter la manière dont le système non OSG fonctionnera réellement. Cette responsabilité incombe aux administrations et aux régulateurs individuels, tels que l'Arcep, qui envisagent d'autoriser les opérations Starlink¹⁷, et il incombe en dernier ressort à l'opérateur non OSG de mener ses opérations dans le respect total de toutes les limites EPFD, indépendamment de toute évaluation limitée, initialement menée par l'UIT, fondée uniquement sur les fichiers de données fournis par cet opérateur et sans tenir compte du fonctionnement réel du système non OSG.

L'Arcep doit donc effectuer cette analyse de conformité dès maintenant. Il sera pratiquement impossible à l'avenir de mesurer directement les niveaux EPFD générés par Starlink dans les réseaux OSG. Entre autres choses, les statistiques de l'EPFD comprennent un élément de pourcentage du temps, de sorte que les niveaux de l'EPFD devraient être mesurés au fil du temps, puis traités pour être comparés aux limites de l'EPFD - un processus qui exige beaucoup de calculs et prend du temps pour les mêmes raisons que toute analyse initiale de l'EPFD prend du temps. En outre, lorsque plusieurs systèmes non OSG fonctionnent dans la même bande, il n'est pas pratique aisé de différencier les contributions de chaque système non OSG étant donné toutes les transmissions en faisceau principal et en lobes secondaires des nombreux satellites de ces multiples systèmes non OSG. L'Arcep n'ignore pas que de multiples systèmes non OSG fonctionnent actuellement dans les mêmes bandes de fréquences que Starlink. La manière dont les différents systèmes non OSG contribuent au niveau global d'EPFD reçue par une station terrienne OSG est illustrée par le schéma 2, ci-dessous. Du point de vue de la station terrienne OSG, le brouillage EPFD est un brouillage EPFD, *c'est-à-dire que* la station terrienne OSG ne peut pas isoler les composantes individuelles de ce brouillage ni remonter à leurs sources spécifiques. C'est pourquoi il est essentiel que l'Arcep évalue la conformité de Starlink en termes d'EPFD (y compris les contributions des stations terriennes Starlink opérant en France) avant d'accorder une autorisation pour le service Starlink en France.

¹⁶ SpaceX prévoit d'exploiter divers éléments de son système intégré Starlink dans le cadre de diverses fiches d'enregistrement auprès de l'UIT introduites en son nom par la Norvège, les États-Unis et l'Allemagne.

¹⁷ Néanmoins, la Commission fédérale des communications des États-Unis (FCC - U.S. Federal Communications Commission) a indiqué qu'elle n'avait pas effectué une telle analyse de Starlink.

Il est d'ailleurs important de noter que, SpaceX s'est déjà engagé à limiter à *un* le "nombre de satellites émettant simultanément sur une même fréquence et desservant un point donné de la Terre"¹⁸ afin de limiter les niveaux d'EPFD pour protéger les réseaux OSG.

Pour ces raisons ainsi que d'autres, l'Arcep devrait assortir toute autorisation qu'elle pourrait accorder de la même condition que celle qui s'applique aux opérations des stations terriennes de Starlink autorisées par la FCC, à savoir que "les opérations sont soumises à la condition que SpaceX n'utilise pas plus d'un faisceau satellitaire de l'un de ses satellites sur la même fréquence dans la même zone ou dans des zones qui se chevauchent à la fois"¹⁹.

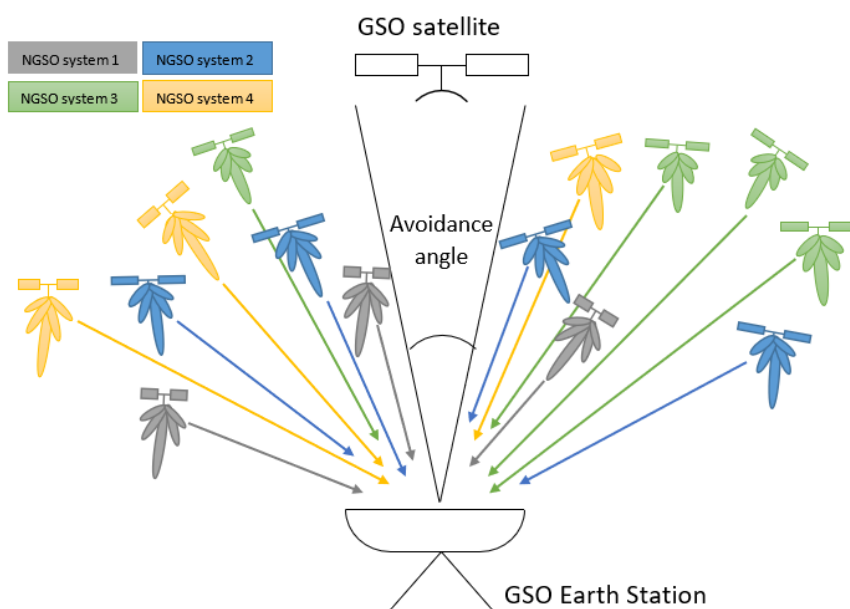


Schéma 2 - Contributions globales au brouillage du lobe principal et du lobe secondaire de plusieurs systèmes non OSG à la station terrestre OSG.

B. Blocage de l'accès équitable aux bandes de fréquences partagées non OSG

SpaceX propose d'exploiter 34 396 satellites Starlink dans les bandes Ku et Ka (4 408 satellites dans sa configuration de première génération, plus 29 988 satellites supplémentaires à déployer dans sa configuration de deuxième génération).

Le type de grand système LEO que SpaceX propose d'utiliser pour desservir la France peut consommer des portions importantes des "angles de vue" vers l'espace, et des orbites LEO essentielles, empêchant l'utilisation des outils de partage qui ont été employés avec succès pendant des décennies par les systèmes non OSG.

¹⁸ Voir la lettre de SpaceX à la FCC, IBFS Dossier n°. SAT-MOD-20200417-00037, à 1 & Att. à 3, 2 avril 2021.

¹⁹ Voir l'autorisation, Dossier IBFS n°. SES-LIC-20210708-01019, indicatif d'appel E210127, condition 90676, 10 novembre 2021.

Cette menace pour le partage du spectre non OSG est due au fait que les configurations de première et de deuxième génération du système Starlink "couvriraient le ciel", provoquant de nombreux brouillages par alignement qui limiteraient et parfois empêcheraient complètement les autres systèmes non OSG de partager le même spectre. Le système Starlink serait rarement (voire ne serait jamais) confronté à ce problème parce qu'il est composé d'un nombre de satellites beaucoup plus important que les constellations non OSG plus petites, ce qui offre à Starlink d'autres voies de communication où le même spectre reste disponible pour son utilisation. Ces incidences sont décrites dans l'Annexe B.

Le résultat est que SpaceX n'aura aucune incitation à éviter les brouillages par alignement, et, au contraire, toutes les incitations à les maximiser; un grand nombre de brouillages par alignement entravera la concurrence des petits systèmes non OSG sans avoir d'impact significatif sur les opérations de SpaceX. En conséquence, SpaceX pourrait effectivement empêcher d'autres opérateurs de satellites, y compris les nouveaux entrants et les autres concurrents potentiels, d'accéder et d'utiliser le spectre partagé et les ressources orbitales dans l'intérêt public. Même SpaceX a reconnu ce type de risques lorsqu'elle s'est opposée à une proposition qui, selon elle, permettrait à OneWeb d'avoir accès à deux fois plus de spectre que les autres opérateurs non OSG en bande Ku/Ka ; comme SpaceX l'a fait remarquer, « *le contrôle de deux systèmes dans une bande réduirait les incitations à investir dans des technologies qui utilisent efficacement le spectre et augmenterait les incitations à l'obstructionnisme et aux stratagèmes dans la coordination entre opérateurs* »²⁰.

De plus, cette dynamique a pour effet dangereux d'encourager une "course vers le bas" dans laquelle les systèmes LEO déploieraient beaucoup plus de satellites que ce qui est réellement nécessaire, utilisant un grand nombre de satellites spectralement inefficaces et rejetant les approches raisonnables qui permettraient un partage efficace du spectre entre tous les types de systèmes non OSG - même ceux fonctionnant à d'autres altitudes.

En résumé, la proposition de Starlink, visant à "couvrir le ciel", a des conséquences directes et néfastes pour les autres systèmes non OSG et les opérateurs - exclut la concurrence et nuit à l'intérêt public en général. Ceci pourrait peut facilement conduire à une situation où seul un ou deux systèmes non OSG seront en mesure de desservir la France.

Une solution à ce problème consisterait à adopter une condition exigeant le fractionnement de "l'angle de vue", en vertu de laquelle, à chaque fois qu'il existe un risque de brouillage à un endroit de la Terre, Starlink et un autre système non OSG desservant la France dans les fréquences qui se chevauchent devront diviser la gamme des azimuts des satellites vus de cet endroit. Par exemple, dans un tel cas de figure, un système ne fonctionnera qu'avec des satellites situés à l'ouest de cet endroit, tandis que l'autre système ne fonctionnera qu'avec des satellites situés à l'est de cet endroit. Tant que chaque système dispose d'un satellite dans la direction qui lui est assignée et ne se trouvant pas dans l'angle d'évitement minimum d'un satellite de l'autre système, il ne devrait pas y avoir de réduction de capacité.

Le même niveau de fractionnement de "l'angle de vue" se produirait quel que soit le nombre de satellites dans une constellation non OSG donnée. Chaque opérateur supporterait ainsi la même charge par

²⁰ Requête de rejet ou de renvoi de Space Exploration Holdings, LLC, US Federal Communications Commission IBFS File Nos. SAT-LOI-20170301-00031 et SAT-AMD-20180104-00004 à 13, 6 août 2018.

défaut, en l'absence d'un autre résultat coordonné. Cette approche permettrait à plusieurs systèmes non OSG d'accéder aux ressources spectrales disponibles et de les utiliser de manière équitable.

Avec cette règle, les systèmes non OSG seraient sur un pied d'égalité, quelle que soit leur taille, ce qui inciterait tous les systèmes non OSG à se coordonner, à préserver et à promouvoir la concurrence en France et en Europe. Ceci pourrait également servir de modèle pour les autres régulateurs nationaux - une étape importante vers le maintien d'un environnement compétitif au niveau mondial pour les opérateurs de satellites, les fabricants et les lanceurs français.

C. Empêchement d'un accès sûr et fiable à environ 86 % des altitudes comprises entre 300 km et 700 km, quelle que soit la bande de fréquences

Le partage du spectre est également menacé par le fait que les orbites sur lesquelles les satellites LEO doivent fonctionner pour pouvoir utiliser le spectre sont limitées, comme le reconnaissent les principaux experts²¹. Les opérateurs de méga-constellations LEO sont engagés dans une course pour peupler une large bande des "meilleures" orbites (entre 300 et 700 km) avec un grand nombre de satellites. Les orbites situées dans cette gamme sont essentielles pour les missions des satellites d'observation de la terre²² et PNT²³ et sont également très attrayantes à d'autres fins en raison des temps de déclin passifs associés pour les satellites défaillants (qui peuvent se désorbiter beaucoup plus rapidement qu'à partir d'orbites plus élevées). Les opérateurs de méga-constellations LEO se livrent à un "accaparement" de ces ressources orbitales de premier ordre en prévoyant de fonctionner avec des tolérances orbitales inutilement larges, et donc en remplissant effectivement des centaines de kilomètres d'orbites à l'exclusion d'autres systèmes non OSG qui pourraient autrement fonctionner en toute sécurité sur des orbites proches. Cela empêche ces autres systèmes non OSG d'utiliser les orbites basses pour fournir des services compétitifs et innovants au public et fausse l'équilibre concurrentiel dans les orbites basses, ce qu'il est particulièrement important d'éviter à ce stade précoce de la nouvelle ère spatiale.

Si le nombre de satellites Starlink est déjà un problème en soi, l'effet d'éviction est amplifié par les tolérances orbitales excessivement larges dans lesquelles Starlink propose de fonctionner (pour les raisons évoquées ci-dessus). SpaceX propose de fonctionner sur des *centaines de kilomètres en LEO*, y compris dans des plans qui s'étaleraient de 290 km à 430 km et de 475 km à 687 km d'altitude. Comme le montre le schéma 3, ce résultat se produirait parce que SpaceX cherche à opérer n'importe où entre 50 km au-dessous et 70 km au-dessus de chacune des altitudes nominales de ses différents plans orbitaux²⁴.

²¹ Voir <https://www.theverge.com/2021/1/27/22251127/elon-musk-bezos-amazon-billionaires-satellites-space>.

²² Voir, par exemple, https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEM7YN6SXIG_0.html.

²³ Voir <https://www.rolia.com/what-are-leo-satellites-and-why-are-they-good-for-pnt/>.

²⁴ Voir le dossier IBFS n° SAT-AMD-20210818-00105, p. 4, 18 août 2021, ("exposé technique de la modification"). SpaceX prévoit d'exploiter la première génération de ses satellites Starlink avec des tolérances orbitales qui s'étaleraient de 510 km à 580 km.

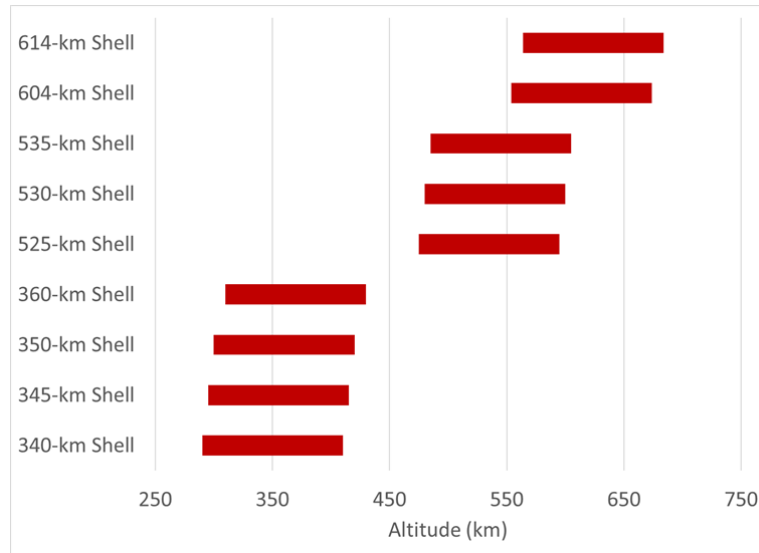


Schéma 3 - Étendue des orbites physiques proposées pour être consommées par Starlink.

L'effet net serait d'empêcher les autres systèmes LEO d'accéder de manière sûre et fiable à environ 86% des altitudes comprises entre 300 km et 700 km, quelle que soit la bande de fréquences (seuls 45 km d'altitude entre 430 km et 475 km pourraient être accessibles aux autres systèmes non OSG).

Pour les mêmes raisons que celles évoquées ci-dessus à propos des brouillages par alignement, SpaceX a tout intérêt à ne pas consentir à l'exploitation d'autres systèmes LEO dans les altitudes décrites dans le schéma 3. En particulier, étant donné que Starlink LEO doit déjà fonctionner dans des tolérances orbitales beaucoup plus étroites pour éviter les collisions, il n'y a aucune raison valable de l'autoriser à fournir un service à la France en utilisant des groupes de satellites qui se chevauchent sur des orbites très larges et qui consomment indûment ce qui autrement serait partagé. En outre, ni l'administration chargée de l'octroi des autorisations de SpaceX ni Starlink elle-même n'ont déterminé les paramètres qui devraient être respectés pour permettre à d'autres satellites ou constellations LEO d'occuper ou de chevaucher en toute sécurité les orbites que Starlink prévoit d'occuper. D'autres opérateurs (par exemple, Amazon/Kuiper et Iridium) ont affirmé au contraire que d'autres constellations LEO ne peuvent pas partager les mêmes orbites en toute sécurité.

Là encore, SpaceX a à la fois la capacité et la motivation d'empêcher les autres opérateurs de satellites, y compris les nouveaux entrants et autres concurrents potentiels, d'accéder et d'utiliser le spectre partagé et les ressources orbitales dans l'intérêt public. SpaceX bénéficie déjà de la possibilité d'utiliser les orbites basses, que la coordination physique avec un autre opérateur soit menée à bien ou non. Il n'en va pas de même pour les nouveaux entrants qui pourraient être dissuadés de tenter de déployer des systèmes qui se chevauchent avec le système Starlink.

L'une des mesures d'atténuation de ce risque consisterait à exiger que Starlink maintienne une tolérance orbitale de +/- 2,5 km pour l'apogée et le périhélie de chaque satellite, et une tolérance de 0,5° pour chaque inclinaison orbitale qu'il utilise, afin de garantir que les autres systèmes non OSG qui cherchent à desservir la France puissent accéder à l'espace LEO partagé, ou bien à appliquer les exigences de tolérance orbitale que l'Arcep estime appropriées pour garantir que les autres satellites et systèmes

desservant la France puissent fonctionner en toute sécurité sur les orbites occupées par Starlink et d'autres grandes constellations, ou les chevaucher.

D. Consommation supérieure à une part équitable de la limite EPFD cumulative pour tous les systèmes non OSG.

Comme l'explique l'Annexe A, les plans de SpaceX visant à exploiter Starlink dans le cadre de multiples notifications à l'UIT auront pour conséquence que Starlink dépassera les limites de l'EPFD cumulative de l'UIT d'un facteur pouvant aller jusqu'à 7 dB. Outre le fait que SpaceX causera beaucoup plus de brouillages dans les réseaux OSG que ne le permet le Règlement des radiocommunications de l'UIT, SpaceX empêchera d'autres parties d'exploiter leurs propres systèmes non OSG, car Starlink consommera la totalité du "budget" de l'EPFD cumulative qui doit être réparti entre tous les systèmes non OSG utilisant les mêmes fréquences ou des fréquences qui se chevauchent.

Et même si Starlink ne consommait pas la totalité du budget cumulatif de l'EPFD, du fait qu'il revendique des droits d'exploitation en vertu de nombreuses fiches de notifications de systèmes différents auprès de l'UIT, SpaceX disposera d'un moyen de pression important sur les autres systèmes non OSG lors des négociations qui pourraient avoir lieu sur la répartition du "budget" cumulatif de l'EPFD entre les systèmes non OSG.

2. Impact négatif important sur l'industrie spatiale française et européenne

Une position "ultra-dominante" de SpaceX en ce qui concerne les ressources non OSG n'empêcherait pas seulement les autres opérateurs de satellites ou les projets de constellations de se faire concurrence efficacement. Elle aurait également un impact négatif important sur l'ensemble de l'industrie spatiale et des télécommunications française et européenne, qu'il s'agisse des fabricants de satellites (Airbus, Thales Alenia Space, OHB, etc.), des lanceurs de satellites (Arianespace, Avio, etc.), des fabricants d'équipements au sol / de terminaux utilisateurs (Thales etc.) ou des opérateurs de télécommunications (Orange, SFR, Bouygues, Free etc.). Comme l'a souligné le Rapporteur public, ces effets sont exacerbés par la stratégie d'intégration verticale de SpaceX, c'est-à-dire le fait qu'elle a délibérément choisi de concevoir et de fabriquer ses satellites et ses terminaux utilisateurs en interne, de lancer la constellation Starlink sur ses propres fusées et de commercialiser ses services directement auprès des clients finaux, court-circuitant ainsi tout l'écosystème existant et gardant pour elle 100 % de la valeur du projet.

La perte de valeur pour l'économie française et européenne et l'impact négatif correspondant sur les emplois seraient énormes. À titre d'illustration, la Commission européenne a estimé que son initiative de "Connectivité sécurisée" dans l'espace, un projet de constellation de satellites multi-orbites d'une ampleur bien plus modeste que celle de SpaceX, stimulerait à elle seule l'écosystème spatial européen en apportant une valeur ajoutée brute (ou un impact direct sur le PIB) de 17 à 24 milliards d'euros²⁵.

À long terme, la combinaison d'une position "ultra-dominante" de SpaceX en ce qui concerne les ressources non OSG et de l'intégration verticale complète de la société exclurait l'industrie spatiale et

²⁵ Voir : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_921.

Cependant, l'augmentation du nombre d'objets spatiaux - de 2 000 satellites actifs fin 2018 à environ 4 000 aujourd'hui et probablement 100 000 ou plus d'ici la fin de la décennie - une quantité croissante de débris orbitaux, et l'encombrement croissant des orbites basses qui en résulte, augmentent la probabilité d'événements de collision qui peuvent désactiver et même détruire des satellites, et également générer plus de débris orbitaux³⁰. Chaque collision conduira statistiquement à d'autres collisions et finalement à une "ceinture de débris autour de la Terre"³¹, conduisant à une série de collisions auto-entretenues, appelée syndrome de Kessler, qui pourrait rendre certaines orbites inutilisables pour les services spatiaux civils, militaires et commerciaux essentiels. Une importante étude pilotée par la National Science Foundation (NSF) des États-Unis indique qu'il n'est peut-être pas possible de maintenir le déploiement de Starlink dans le temps en raison de cette dynamique. Cette étude de la NSF prévoit une augmentation spectaculaire des collisions spatiales et des nouveaux débris, et ce d'ici quelques années seulement ; à plus long terme, "les satellites sont détruits [par des collisions avec des débris] plus rapidement qu'ils ne sont lancés"³².

Le risque de collision est encore exacerbé par les taux de défaillance documentés des satellites Starlink: en effet, les satellites qui ne peuvent pas manœuvrer ne peuvent pas éviter les collisions, et l'expérience opérationnelle de Starlink démontre que SpaceX n'a pas été capable de maintenir un niveau de fiabilité d'élimination suffisamment bas³³. En outre, toutes les collisions potentielles ne peuvent être prédites, et même lorsqu'un satellite est manœuvrable, toutes les collisions potentielles ne peuvent être évitées.

Ces points sont particulièrement pertinents à la lumière de l'attention récente portée aux conséquences à court et à long terme d'un essai antisatellite (ASAT) réussi qui s'est produit en novembre 2021 avec le satellite Cosmos 1408. Une autre étude récente montre que l'on peut s'attendre à un résultat similaire en cas de collision catastrophique entre deux gros satellites Starlink³⁴. Ces deux types d'événements génèrent un grand nombre de débris létaux qui se propagent sur des orbites situées à des centaines de kilomètres du point d'impact et persistent pendant des décennies³⁵, y compris des débris létaux *non traçables*, qui (i) augmentent le risque de collisions d'engins spatiaux (et de victimes humaines dans l'espace), (ii) ne peuvent pas être vus et ne peuvent donc pas être évités, et dont les risques ne peuvent pas être autrement atténués aujourd'hui, et (iii) peuvent détruire ou désactiver des satellites actifs et ainsi perturber des services satellitaires vitaux en France et en Europe.

Les défaillances et les collisions de ce type n'affecteraient pas seulement la constellation Starlink elle-même. Les satellites Starlink défaillants, les collisions impliquant Starlink et les champs de débris qui en résulteraient affecteraient tous les satellites individuels et les constellations qui occupent ou transitent sur des orbites occupées par Starlink, ce qui pourrait perturber le fonctionnement d'autres systèmes

³⁰ [Les arguments en faveur de l'environnementalisme spatial | Nature Astronomy](#)

³¹ D. Kessler et B. Cour-Palais, "Fréquence de collision des satellites artificiels : La création d'une ceinture de débris" ("Collision Frequency of Artificial Satellites The Creation of a Debris Belt"), à l'adresse : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JA083iA06p02637>.

³² G. Long, Les incidences des grandes constellations de satellites (*The Impacts of Large Constellations of Satellites*), JASON - Corporation MITRE, JSR-20-2H, Nov. 2020, (Mise à jour : 21 janv. 2021) (The MITRE Corporation), à 97, disponible sur https://www.nsf.gov/news/special_reports/jasonreportconstellations/JSR-20-2H_The_Impacts_of_Large_Constellations_of_Satellites_508.pdf.

³³ Voir <https://planet4589.org/space/stats/star/starstats.html> (détaillant une variété de types de défaillances et d'anomalies impliquant les satellites Starlink).

³⁴ Voir Les collisions de satellites ont les mêmes conséquences que les essais antisatellites, novembre 2021, (*Satellite Collisions Have the Same Consequences as ASAT Tests*), disponible sur <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

³⁵ Voir *le mythe de l'orbite autonettoyante*, décembre 2021, (*Self-Cleaning Orbit Myth*), disponible à l'adresse suivante <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

satellites critiques, y compris ceux en LEO. Les satellites défaillants et les collisions catastrophiques rendraient l'environnement orbital plus encombré et plus dangereux, et l'accès à l'espace plus coûteux et plus risqué pour d'autres, y compris les satellites qui fournissent des services de communication à haut débit, ainsi que ceux qui fournissent des observations spatiales essentielles pour les prévisions météorologiques, la surveillance du climat, les sciences de la terre et les services de positionnement, de navigation et de datation (PNT).

Ces préjudices comprendraient également les coûts et les risques liés à la conception des satellites et constellations non OSG pour fonctionner dans un environnement plus encombré (et dangereux), les risques et les retards associés au lancement des satellites dans et à travers ces environnements encombrés (en route vers des orbites plus hautes, y compris l'orbite OSG), et les risques associés à la désorbitation des satellites à travers ces orbites encombrées en fin de vie.

De plus, comme l'a observé le PDG d'un fournisseur de services de lancement de satellites³⁶, l'encombrement des orbites basses par les seuls satellites actifs de SpaceX réduirait le nombre de fenêtres de lancement viables disponibles, et augmenterait donc les coûts et les délais liés aux activités de lancement de tous types, pour les satellites de toutes orbites.

En outre, dans un rapport qui fait date, l'Organisation de coopération et de développement économiques (l'OCDE) pointe du doigt le risque croissant d'une catastrophe environnementale et industrielle irréversible dans l'espace³⁷. Le déploiement de méga-constellations telles que Starlink en dehors d'un cadre et d'une réglementation clairs pour la préservation de LEO constitue donc une menace potentielle directe pour le fonctionnement de systèmes spatiaux clés, tels que Galileo et Copernicus, qui, à son tour, « *aurait un impact direct sur la sécurité, la sûreté, l'économie et le bien-être des citoyens européens* », comme le souligne la Commission européenne³⁸.

Les risques de collision et de génération de débris orbitaux sont également affectés de manière significative par la masse et la taille des satellites LEO, ainsi que par le nombre de satellites dans une constellation et les orbites particulières qu'ils utilisent. L'Arcep devrait donc (i) exiger de Starlink qu'elle divulgue ces valeurs afin que le risque global présenté par Starlink puisse être évalué, et (ii) exiger que Starlink n'apporte pas de changements qui augmentent la masse ou la section transversale de ses satellites, le nombre de ses satellites ou les orbites qu'elle prévoit d'utiliser, sans en informer l'Arcep et obtenir son autorisation. Ces informations sont essentielles pour permettre un calcul et une gestion de la contribution totale de Starlink au risque de collision et de débris orbitaux.

Enfin, des effets négatifs sur les consommateurs et les entreprises sont prévisibles en raison du risque de concentration du marché et de l'absence de concurrence. En effet, un système Starlink élargi placerait SpaceX dans une situation de quasi-monopole *de fait* en termes de connectivité à large bande par satellite en orbite basse, ce qui éliminerait la concurrence et réduirait considérablement les

³⁶ Jackie Wattles, L'espace devient trop encombré, prévient le PDG de Rocket Lab, CNN, 8 Octobre 2020) (*Space is becoming too crowded, Rocket Lab CEO Warns, CNN*), <https://www.cnn.com/2020/10/07/> ("Les constellations de satellites peuvent être particulièrement problématiques, a-t-il dit, car les satellites peuvent voler assez près les uns des autres, formant une sorte de blocus qui peut empêcher les fusées de se faufiler.").

³⁷ <https://www.oecd.org/fr/environnement/space-sustainability-a339de43-en.htm>.

³⁸ https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/join_2022_4_1_en_act_part1_v6.pdf.

incitations à proposer des offres innovantes et compétitives. Au fur et à mesure que des entreprises telles que SpaceX étendent leur emprise sur le secteur des télécommunications spatiales, elles disposeront également d'un contrôle sans précédent sur de vastes quantités de données de ses utilisateurs - et des citoyens français – allant de l'historique des navigateurs web à la localisation.

4. Effets environnementaux sur l'atmosphère, l'espace durable, l'astronomie optique, la radioastronomie

L'utilisation accrue de l'espace n'est pas sans coût pour l'environnement. Le développement rapide des méga-constellations telles que Starlink risque de provoquer de multiples tragédies des biens communs, notamment pour l'astronomie au sol, l'orbite terrestre et la haute atmosphère de la Terre³⁹.

Un nombre croissant d'études scientifiques mettent successivement en évidence des entraves à l'astronomie, un risque accru de débris spatiaux, des modifications de la chimie de la haute atmosphère terrestre et des dangers accrus à la surface de la Terre du fait de la rentrée des débris. La NASA a elle aussi fait part de ses inquiétudes quant aux « *impacts supplémentaires potentiels sur les missions scientifiques* » dans une demande récente adressée à la Commission fédérale des communications des États-Unis⁴⁰.

Les conséquences environnementales du système Starlink, qui est sans précédent par nature et impliquerait le déploiement d'environ 90 000 satellites (ou plus) sur 15 ans, en utilisant un lancement SpaceX tous les six jours, seraient graves⁴¹. Entre autres, l'impact du dépôt d'environ 70 760 tonnes d'aluminium dans la haute atmosphère lors de la désorbitation des satellites Starlink⁴² aurait certainement des effets délétères. Et les faits (y compris ceux fournis par la NASA) montrent que SpaceX ne protège pas l'astronomie ou ne préserve pas le ciel nocturne, et SpaceX n'a pas montré comment elle le ferait avec un système Starlink étendu incorporant 29 988 satellites Gen2 opérationnels supplémentaires⁴³.

En outre, une augmentation du nombre de satellites Starlink défaillants, de collisions catastrophiques impliquant Starlink (pour quelque raison que ce soit) et des champs de débris orbitaux qui en résulteraient, rendrait l'environnement orbital plus encombré et plus dangereux, et risquerait de provoquer la catastrophe environnementale irréversible dans l'espace contre laquelle l'OCDE met en garde (voir section 3 ci-dessus).

³⁹ [Les méga-constellations de satellites créent des risques en orbite terrestre basse, dans l'atmosphère et sur Terre | Scientific Reports \(nature.com\)](#)

⁴⁰ [NTIA-NASA-and-NSF-Fi.pdf \(arstechnica.net\)](#)

⁴¹ Jeff Baumgartner, Le plan de déploiement impressionnant de Starlink "ne laisse aucune marge d'erreur" - analyste, BROADBAND WORLD NEWS (*Starlink's daunting deployment plan 'leaves no margin for error' - analyst*, BROADBAND WORLD NEWS), 18 janvier 2022, sur https://www.broadbandworldnews.com/author.asp?section_id=733&doc_id=774668, citant Starlink : Sois énorme, ou rentre chez toi (Go Big or Go Home), MOFFETT/NATHANSON, 18 janvier 2022. "Même en utilisant Starship, à 100 satellites par lancement, atteindre une constellation de 30 000 oiseaux et la maintenir jusqu'en, disons, 2030, nécessiterait de lancer cinquante mille satellites, soit cinq cents fusées, d'ici là", estime Moffett. "Cela représente un lancement de fusée tous les six jours environ... pendant neuf ans. Le simple maintien de la constellation par la suite, si l'on suppose une attrition annuelle de 20 % (désorbitation), nécessiterait un nouveau lancement tous les six jours. Pour toujours."

⁴² Sur la base de la déclaration antérieure de SpaceX selon laquelle les satellites Starlink de la première génération "sont constitués d'environ 230 livres d'aluminium" et qu'il y a une "fraction massique de 52% d'aluminium" dans l'alumine (Al₂O₃), alors 29.988 x 230 / 0,52 = 13.263.923 livres. Si l'on tient compte du remplacement de ces satellites Gen2 sur une période de licence de 15 ans et du fait que les satellites Gen2 peuvent être quatre fois plus massifs, l'expansion proposée de Starlink pourrait bien entraîner le rejet par SpaceX de plus de 78 000 tonnes d'alumine dans la haute atmosphère.

⁴³ [Les méga-constellations de satellites créent des risques en orbite terrestre basse, dans l'atmosphère et sur Terre | Scientific Reports \(nature.com\)](#).

5. Implications potentielles pour la sécurité nationale

L'espace est un élément essentiel de toute démarche visant à l'autonomie stratégique de l'UE, car il contribue à la connaissance de la situation, à la prise de décision et à la connectivité des technologies et des systèmes, y compris pour les applications de sécurité nationale et de défense.

Le récent essai anti-satellite (ASAT) de la Fédération de Russie montre que les activités hostiles d'acteurs souverains dans l'espace représentent une menace très importante pour un espace ouvert et sûr. On peut en dire autant du risque que les activités spatiales menées par des acteurs privés peuvent représenter pour tous les acteurs de l'espace, notamment par la génération d'un nombre massif d'objets spatiaux supplémentaires et le risque correspondant de collisions conduisant à la création de débris et éventuellement à un syndrome de Kessler (voir section 3 ci-dessus). Comme indiqué plus haut, selon une évaluation des débris générés par l'ASAT russe, une collision entre deux satellites Starlink générerait une dispersion similaire de débris traçables et non traçables dans l'espace⁴⁴. Les orbites rendues inutilisables par les débris spatiaux auraient un impact négatif sur les applications de défense et de sécurité au même titre que les cas d'utilisation civile et commerciale.

En tant que puissance spatiale disposant d'importants moyens existants et futurs dans l'espace pour soutenir ses intérêts de sécurité nationale, la France, par l'intermédiaire de l'Arcep, devrait être particulièrement attentive au risque que des projets démesurés en LEO, tels que Starlink, pourraient faire peser sur ses activités souveraines dans et depuis l'espace.

V. Conclusion

Alors que le rythme des activités spatiales s'accélère et que les sociétés deviennent plus dépendantes des systèmes spatiaux, les risques associés pour l'intérêt public et l'industrie spatiale française et européenne méritent une attention accrue. À la lumière des risques, décrits dans les sections précédentes, posés par le système Starlink, Skylogic France demande instamment à l'Arcep de ne pas accorder l'autorisation demandée par Starlink.

Si l'Arcep venait à conclure qu'elle ne dispose pas, à ce stade, d'informations suffisantes pour pouvoir rejeter la demande de Starlink, Skylogic France demande à l'Arcep de procéder à une évaluation indépendante des éléments évoqués ci-dessus.

Si l'Arcep décide, après cette évaluation, d'accorder à Starlink une autorisation d'utilisation du spectre radioélectrique, l'Arcep devrait en tout état de cause soumettre cette autorisation aux conditions suivantes :

- Garantir l'absence de brouillages et l'atténuation des autres effets négatifs sur les OSG, notamment en exigeant que :


⁴⁴ "Les collisions de satellites ont les mêmes conséquences que les essais ASAT", novembre 2021, disponible à l'adresse <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

- Le système Starlink maintienne un angle d'évitement de l'arc OSG approprié lors de la desserte de la France ;
 - Starlink ne cause pas de brouillages *inacceptables* aux réseaux OSG et ne demande pas à bénéficier d'une protection contre les brouillages des réseaux OSG ;
 - Starlink se dote d'une fonction opérationnelle lui permettant d'interrompre immédiatement les émissions dans les radiofréquences afin de garantir le respect de cette exigence de non-brouillage, et de cesser les émissions en cas de brouillage *inacceptable* ;
 - En cas de brouillage causé aux réseaux OSG, Starlink cesse ses opérations et ne reprenne pas ses opérations avant d'avoir remédié à la cause de ce brouillage, notamment en augmentant la séparation angulaire, en réduisant la puissance, en façonnant différemment les faisceaux d'antenne ;
 - Starlink n'utilise pas plus d'un faisceau satellite pour des transmissions par satellite à destination de terminaux d'utilisateurs fonctionnant sur la même fréquence dans la même zone ou dans des zones qui se chevauchent à la fois dans la bande 10,7-12,75 GHz ou dans la bande 19,7-20,2 GHz ;
 - Si un brouillage global est détecté sur un réseau OSG à partir de signaux transmis par plusieurs systèmes non OSG, et s'il n'est pas possible d'identifier le système non OSG qui génère le brouillage, Starlink coopère avec les opérateurs de ces autres systèmes non OSG et prend les mesures techniques nécessaires pour éliminer tout brouillage.
- Garantir l'absence de brouillage et l'atténuation des autres impacts négatifs sur les non OSG, notamment en exigeant que:
 - Starlink se conforme aux limites EPFD pour une seule source de brouillage pour l'ensemble du système Starlink, l'Arcep examinant toutes les notifications du système non OSG dans le cadre duquel le système Starlink fonctionne comme un ensemble.
 - Le système Starlink soit exploité de telle sorte qu'il ne dépasse pas les limites établies pour les systèmes non OSG individuels exploités dans le cadre d'une seule déclaration UIT couvrant toutes les opérations du système ;
 - Starlink limite ses effets d'éviction sur les ressources orbitales non OSG limitées et partagées en exigeant qu'il:
 - Fonctionne avec seulement $1/n$ des angles de vue en France, où n est le nombre de systèmes non OSG autorisés à desservir la France dans la même bande de fréquences,
 - Se coordonne de bonne foi et à l'avance avec les autres systèmes non OSG afin que l'ensemble des n angles de vue puisse être utilisé pour desservir la France par ces différents systèmes non OSG ;
 - Maintienne une tolérance orbitale de +/- 2,5 km pour l'apogée et le périégée de chaque satellite, et une tolérance de 0,5° pour chaque

inclinaison orbitale qu'il emploie, afin de garantir que les autres systèmes non OSG puissent accéder à l'espace LEO partagé (ou se conformer à toute autre exigence de tolérance orbitale que l'Arcep juge appropriée pour garantir la capacité des autres satellites et systèmes desservant la France à fonctionner en toute sécurité sur les mêmes orbites, ou en chevauchement des orbites, occupées par Starlink, ou d'autres grandes constellations LEO).

- Adopter des conditions appropriées pour traiter les types de préjudices environnementaux évoqués ci-dessus.
- Exiger que Starlink ne modifie pas les caractéristiques de son système LEO (radiofréquence, orbites utilisées, nombre, taille ou masse des satellites) sans l'accord préalable de l'Arcep (afin de maintenir son autorisation en France).
- Exiger que Starlink fournisse, tous les 6 mois, un rapport démontrant le respect des obligations attachées à l'autorisation accordée.

Enfin, il convient de noter que ce type de conditions pourrait être appliqué équitablement à toutes les constellations LEO qui cherchent à desservir la France. Il existe des plans pour des centaines de milliers de satellites LEO provenant de plusieurs grandes constellations et des conditions équitables sont essentielles pour une concurrence efficace sur le marché. Les conditions doivent tenir compte du fait que, dans la mesure où les constellations LEO sont économiquement viables, il est probable qu'il y en aura beaucoup - et pas seulement quelques-unes. En outre, des conditions d'octroi d'autorisations cohérentes sont susceptibles de constituer un élément essentiel d'un marché concurrentiel mondial - puisque les satellites LEO sont intrinsèquement destinés à fonctionner à l'échelle mondiale. Ainsi, cela servirait les intérêts français et européens que la France travaille avec d'autres administrations pour adopter ce type d'approche de manière coordonnée afin de promouvoir un environnement propice à la concurrence qui inclut l'accès pour l'industrie française et européenne au niveau mondial.



Robert James Blair
Président
Skylogic France SAS

Annexe A : Brouillage des réseaux OSG par les liaisons Starlink

Les réseaux OSG sont sur le point d'augmenter leur capacité de quatre ordres de grandeur, en partie grâce à une efficacité spectrale accrue, facilitée par l'utilisation de récepteurs satellites à basse température de bruit et à gain d'antenne élevé (G/T). Aujourd'hui, même un seul système non OSG peut causer des brouillages dans les réseaux OSG. Les systèmes non OSG multiples fonctionnant simultanément représentent un risque encore plus grand pour ces réseaux OSG.

Dans diverses bandes de fréquences, Starlink est soumis à des limites sur l'EPFD qu'il peut générer vers les réseaux OSG⁴⁵. Il y a deux types de ces limites. Les limites EPFD "cumulatives" limitent la quantité de brouillage que **tous les** systèmes non OSG au total (y compris Starlink) peuvent générer cumulativement par rapport aux réseaux OSG. Ces limites cumulatives doivent être partagées entre tous les systèmes non OSG utilisant les mêmes fréquences ou des fréquences qui se chevauchent.

Les limites EPFD "pour une seule source de brouillage" limitent la quantité de brouillage que les systèmes non OSG individuels - y compris le système Starlink lui-même - peuvent générer par rapport aux réseaux OSG. Ces limites pour une seule source de brouillage ont été établies sur la base de l'hypothèse selon laquelle 3,5 systèmes non OSG fonctionneraient à un moment donné et généreraient des niveaux d'EPFD combinés compatibles avec les limites d'EPFD "cumulatives" applicables⁴⁶.

Comme indiqué ci-dessous, le système Starlink dépasserait à divers égards les limites de l'EPFD "à entrée unique" et "cumulative" dans les bandes Ku et Ka. Le dépassement de la courbe limite de la EPFD "à entrée unique" en tout point constitue une violation du Règlement des radiocommunications de l'UIT. Le dépassement de la courbe limite de l'EPFD "cumulative" constitue également une violation.

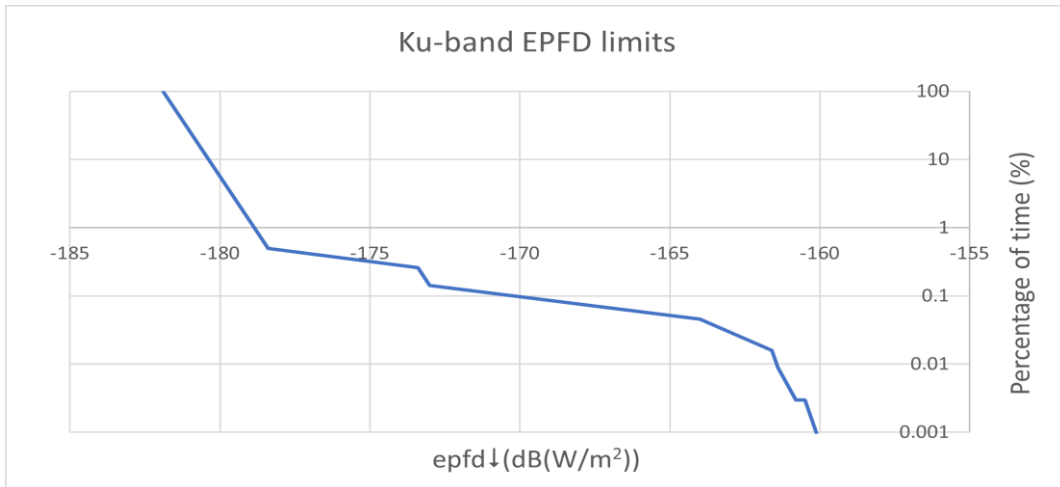
Violations par Starlink des limites de l'EPFD pour une seule source de brouillage

Les limites de l'EPFD pour une seule source de brouillage qui s'appliquent à Starlink sont spécifiées comme une série de niveaux différents qui sont autorisés pour des intervalles variant dans le temps⁴⁷. Autrement dit, une limite doit être respectée 100 % du temps, et les autres limites doivent être respectées pendant d'autres pourcentages de temps. Des exemples de courbes limites sont présentés dans les schémas A-1 (bande Ku) et A-2 (bande Ka) ci-dessous.

⁴⁵ UIT Rad. Reg. Art. 22 ; UIT Rés. 76.

⁴⁶ Voir la résolution 76 de l'UIT.

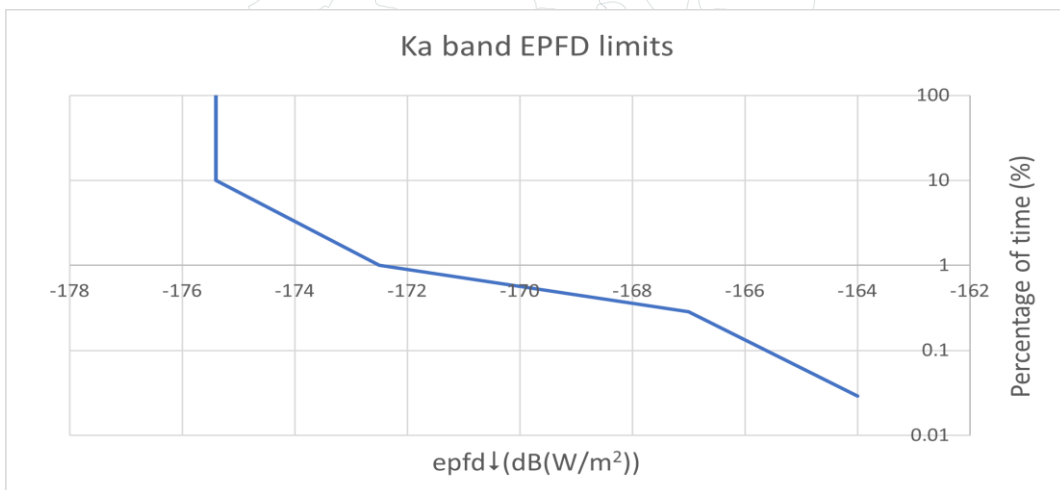
⁴⁷ UIT Rad. Reg. Art. 22.



* Ka band EPDF limits - Limites EPDF de la bande Ka

Percentage of time (%) - Pourcentage du temps (%)

Schéma A-1 - Limites de la EPFD en bande Ku applicables à Starlink



* Ka band EPDF limits - Limites EPDF de la bande Ka

Percentage of time (%) - Pourcentage du temps (%)

Schéma A-2- Limites de l'EPFD en bande Ka applicables à Starlink

Tout dépassement de ces niveaux EPFD - qu'il s'agisse de la valeur "100 %", de la valeur "1 %" ou d'autres valeurs - est susceptible de causer des brouillages préjudiciables aux réseaux OSG.

La méthode et le logiciel de mise en œuvre de l'UIT pour évaluer les niveaux de EPFD attendus des opérations non OSG reposent sur un algorithme qui dérive une "configuration dans le cas le plus défavorable" (ou Worst Case Geometry – WCG) trouvée à un endroit particulier de la surface de la Terre⁴⁸. En d'autres termes, l'algorithme tente d'identifier, pour les satellites non OSG spécifiques faisant

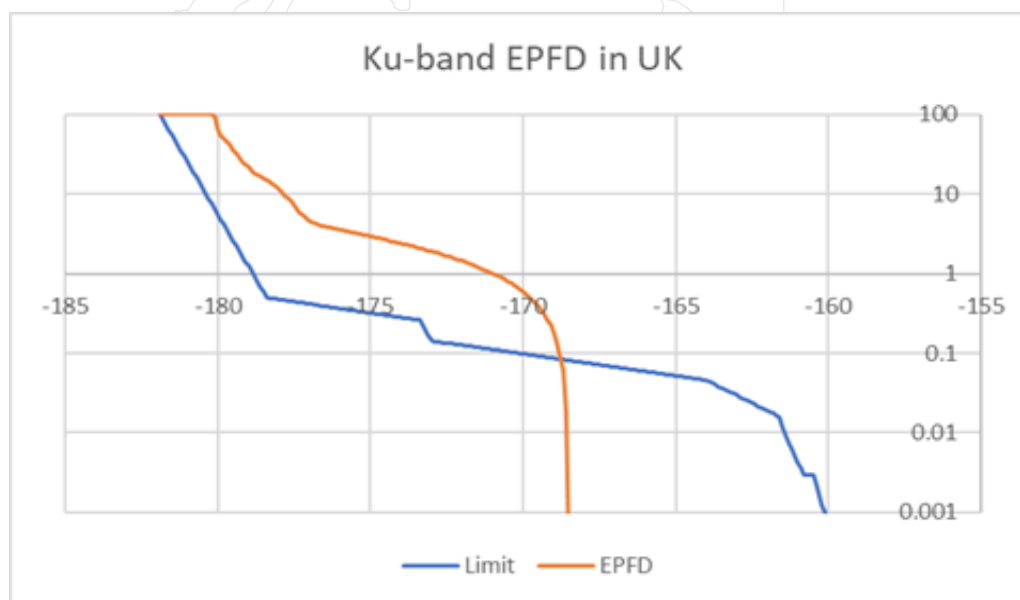
⁴⁸ Voir généralement la Rec. S.1503.

l'objet de la demande pertinente et un réseau OSG représentatif, l'emplacement unique qui donne lieu au niveau d'EPFD à le plus élevé pour une seule source de brouillage auquel on peut s'attendre. Là encore, cette valeur est produite pendant une très courte période de temps et se situe donc au bas de la courbe des résultats EPFD pertinents (c'est-à-dire l'alignement du système non OSG avec le réseau OSG qui produit le niveau de brouillage instantané le plus élevé - pour un très petit pourcentage du temps).

Il est essentiel de noter que les distributions des niveaux d'EPFD prédits à des endroits autres que celui identifié par l'algorithme peuvent dépasser la courbe limite EPFD pertinente, même si l'EPFD de pointe prédit à cet endroit est inférieur à celui de l'endroit dit "cas le plus défavorable". Ces cas dans lesquels les limites de l'EPFD pourraient être violées 1 %, 10 %, voire 100 % du temps sont très préoccupants. Les brouillages générés à ces niveaux pourraient bien dégrader les niveaux de service et causer des pertes de capacité aux réseaux OSG .

Analyse des violations de l'EPFD pour une seule source de brouillage en d'autres points de la courbe de l'EPFD

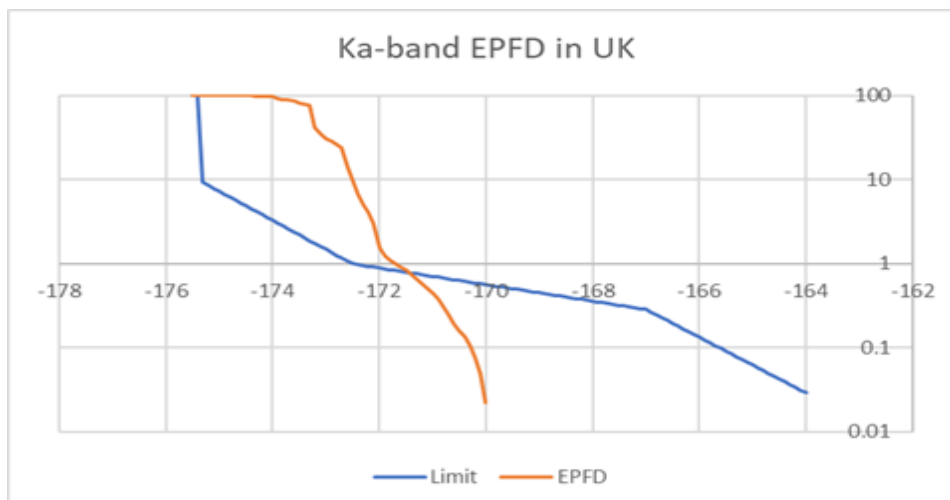
Les schémas A-3 (bande Ku) et A-4 (bande Ka) ci-dessous présentent les résultats de l'analyse des bandes Ku et Ka préparée par OneWeb pour la configuration Starlink de première génération⁴⁹.



* Ka band EPDF in UK - EPDF en bande Ka au Royaume-Uni

Schéma A-3 - Niveaux de EPFD en bande Ku de Starlink à Goonhilly (Angleterre)

⁴⁹ "Nécessité d'une procédure permettant de traiter les cas de dépassement de l'EPFD qui ne sont pas détectés par l'algorithme de géométrie du cas le plus défavorable de la Recommandation UIT-R S.1503", Document 4A/[OW-4] préparé par OneWeb et soumis au WP4A de l'UIT-R, 19 juin 2019.



* Ka band EPDF in UK - EPDF en bande Ka au Royaume-Uni

Schéma A-4 - Niveaux d'EPFD en bande Ka de Starlink à Goonhilly, en Angleterre

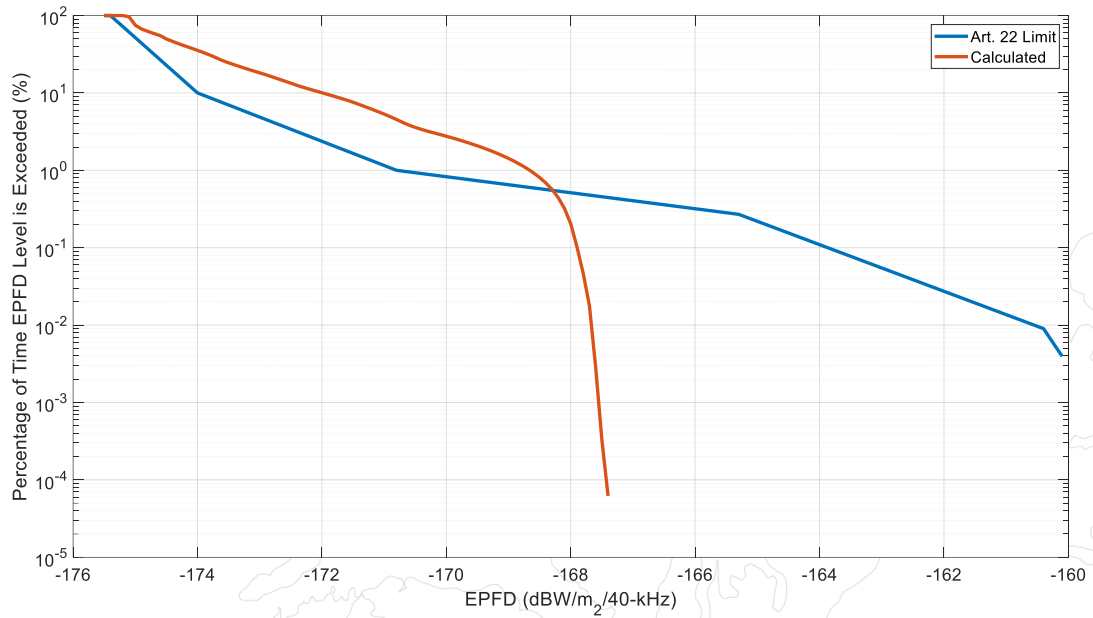
Les schémas A-3 et A-4 montrent que même si le système Starlink semble pouvoir respecter les limites EPFD↓ applicables à l'endroit "le plus défavorable" testé conformément à l'algorithme de l'UIT, il existe en réalité d'autres endroits où le même système, avec les mêmes paramètres d'entrée et les mêmes hypothèses, dépasserait les limites EPFD↓ à d'autres pourcentages de temps. En fait, un dépassement reflété dans le schéma A-3 pour Starlink seulement représente plus du double de la limite EPFD↓ cumulatif qui doit être répartie entre tous les systèmes non OSG cofréquence.

Les schémas A-5, A-6, A-7 et A-8 montrent que le système Starlink de première génération dépasse les limites EPFD de l'Article 22 des RR, en vertu du Tableau 22-5C pour la bande 10,7 - 11,7 GHz, à un autre endroit⁵⁰. Les dépassements maximaux sont indiqués dans le Tableau A-1 pour les tailles d'essai de l'antenne de la station terrienne OSG du Tableau 22-5C.

Tableau A-1 - Dépassements maximaux

| OSG ES Ant. Diam. | Dépassement max. |
|-------------------|------------------|
| 0.6 | 2,3 dB |
| 1.2 | 7,8 dB |
| 3.0 | 9,0 dB |
| 10.0 | 1,0 dB |

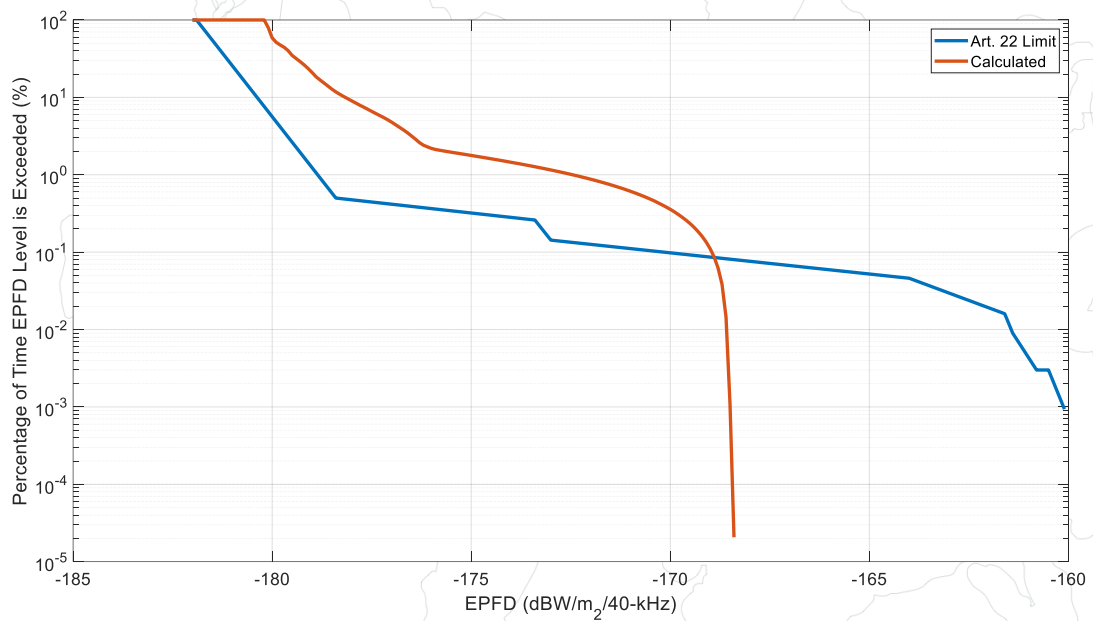
⁵⁰ OSG ES situé à N50.83°, E80.00°, et la longitude du satellite OSG de 116.09°.



* Percentage of time EPFD Level is exceeded (%) - Pourcentage de temps où le niveau EPDF est dépassé (%)

Calculated - calculé

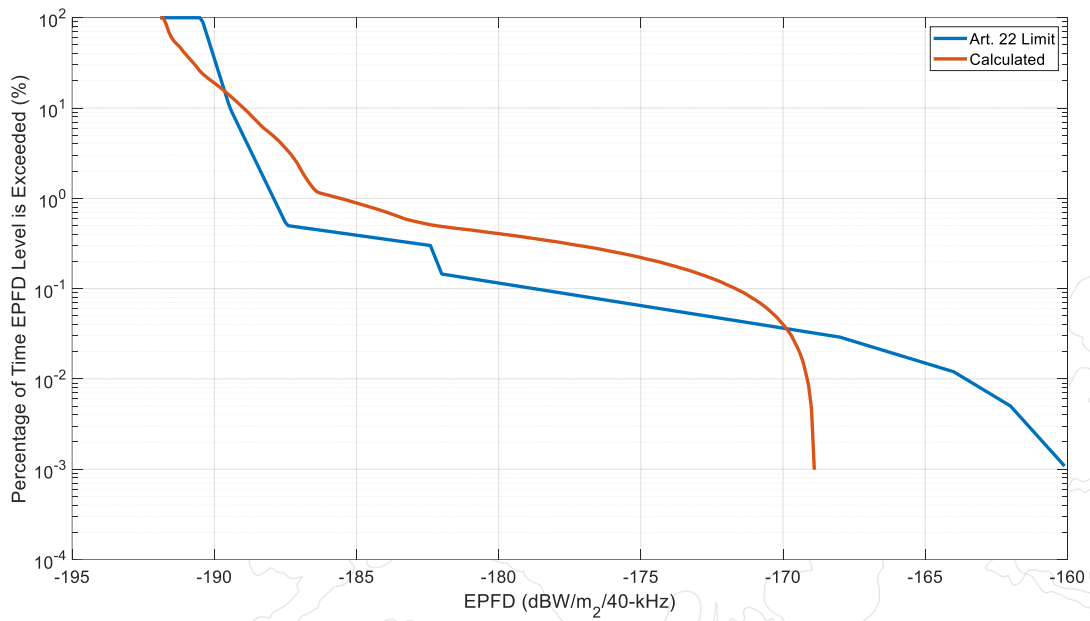
Schéma A-5 - epfd↓, SFS, F=10,7 GHz, Ant S.1428, d=.6 m, par 40 kHz



* Percentage of time EPFD Level is exceeded (%) - Pourcentage de temps où le niveau EPDF est dépassé (%)

Calculated - calculé

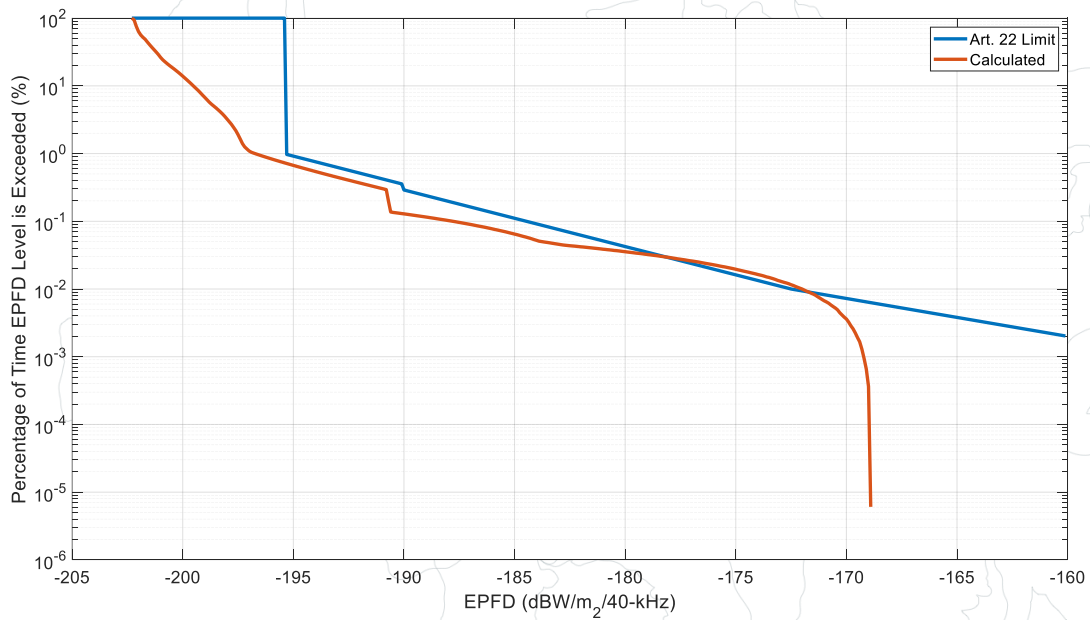
Schéma A-6 - epfd↓, SFS, F=10,7 GHz, Ant S.1428, d=1,2 m, par 40 kHz



* Percentage of time EPFD Level is exceeded (%) - Pourcentage de temps où le niveau EPFD est dépassé (%)

Calculated - calculé

Schéma A-7 - epfd↓, SFS, F=10,7 GHz, Ant S.1428, d=3 m, par 40 kH



* Percentage of time EPFD Level is exceeded (%) - Pourcentage de temps où le niveau EPFD est dépassé (%)

Calculated - calculé

Schéma A-8 - epfd↓, SFS, F=10,7 GHz, Ant S.1428, d=10 m, par 40 kHz

Notamment, la Recommandation UIT-R. S.1503 explique la nécessité de respecter toutes les limites de l'EPFD à *tous les emplacements et pour toutes les géométries*. Plus précisément :

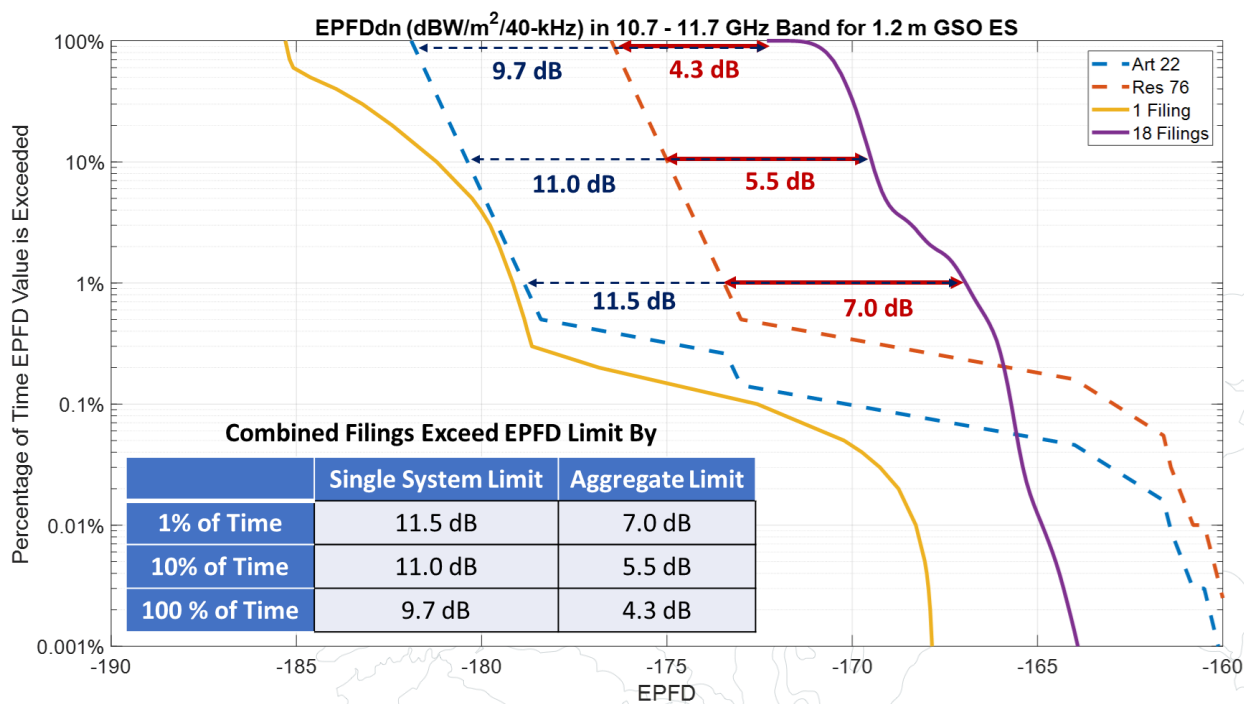
Les limites d'EPFD figurant à l'Article 22 s'appliquent à toutes les stations terriennes OSG et à tous les angles de pointage vers cette partie de l'arc OSG visible depuis la station terrienne concernée. Toutefois, il n'est pas possible de modéliser toutes ces configurations géométriques dans le logiciel de vérification. On désigne par configuration géométrique dans le cas le plus défavorable (WCG, worst case geometry) un emplacement de satellite OSG de référence et une station terrienne ou un axe de visée du faisceau du satellite OSG qui sont utilisés lors de l'examen de conformité d'un système non OSG avec les limites d'epfd figurant à l'article 22. *L'opérateur non OSG doit aussi respecter les limites d'epfd de l'Article 22 dans toutes les autres configurations géométriques, y compris pour le test de réseaux OSG spécifiques comme indiqué au § A1.3⁵¹.*

Violations des limites cumulatives de l'EPFD par Starlink

Les figures suivantes montrent l'impact du brouillage sur les réseaux OSG dans le cas où un système non OSG comme Starlink est exploité dans le cadre de notifications multiples de l'UIT. Les fichiers d'entrée EPFD USASAT-non OSG-3N fournis par SpaceX sont utilisés pour modéliser les notifications multiples. Le schéma suivant montre les limites pour une seule source de brouillage de l'Art. 22, les limites cumulatives de la Rés. 76, et les niveaux d'EPFD associés à : (i) la fiche de notification unique initiale et (ii) 18 instances de cette fiche de notification, agrégés pour montrer l'impact EPFD cumulatif de l'exploitation (non autorisée) d'un système non OSG unique dans le cadre de fiche de notifications multiples auprès de l'UIT.

Le schéma A-9 montre le cas de l'EPFD descendant ("EPFDdn") dans la bande 10,7 à 11,7 GHz pour une station terrienne OSG ("ES") de 1,2 mètre. L'EPFDdn pour la fiche de notification unique originale semble être conforme à la limite de l'Art. 22, *c'est-à-dire* que la courbe "1 Filing" est à gauche de la courbe limite de l'Art. 22 en tous points. Mais elle ne reflète pas le fonctionnement réel d'un système non OSG en cas de fiches de notifications multiples. La courbe "18 fiches de notifications" dépasse la limite cumulative de la Rés. 76 pour toutes les valeurs inférieures à -165 dBW/m² /40-kHz.

⁵¹ UIT-R Rec. S.1503 paragraphe D3 (soulignement ajouté).



* Percentage of time EPFD Level is exceeded (%) - Pourcentage de temps où le niveau EPDF est dépassé (%)

1 Filing - 1 notification

18 Filings - 18 notifications

Combined Filings Exceed EPFD Limit by - Les notifications combinées dépassent la limite EPFD de

1% of Time - 1% du temps

10% of Time - 10% du temps

100% of Time - 100% du temps

Single System Limit - Limite du système unique

Aggregate Limit - Limite cumulée

Schéma A-9 - EPFDdn cumulative pour le système non OSG fonctionnant avec notifications multiples (10,7 - 11,7 GHz, ES OSG 1,2 m)

Le dépassement d'une courbe limite de l'Art. 22 en tout point constitue une violation de cette limite et entraînerait une conclusion défavorable de l'UIT. Le dépassement d'une courbe limite de l'EPFD cumulative de la Rés. 76 constitue également une violation.

La Res. 76⁵² prévoit :

⁵² RÉSOLUTION 76 (REV.CMR-15) Protection des réseaux du service fixe par satellite géostationnaire et du service de radiodiffusion par satellite géostationnaire contre la puissance surfacique équivalente cumulée maximale produite par de multiples systèmes du service fixe par satellite non géostationnaire dans les bandes de fréquences où des limites de puissance surfacique équivalente ont été adoptées La Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 2015).

1. que les administrations qui exploitent ou envisagent d'exploiter des systèmes non OSG du SFS [...], doivent prendre toutes les mesures possibles, y compris, au besoin, en apportant les modifications voulues à leurs systèmes, pour faire en sorte que le brouillage cumulatif causé aux réseaux OSG du SFS et aux réseaux OSG du SRS par de tels systèmes fonctionnant sur la même fréquence dans ces bandes de fréquences n'entraîne pas un dépassement des niveaux de puissance cumulative indiqués dans les Tableaux 1A à 1D (voir le numéro 22.5K);
2. que, en cas de dépassement des niveaux de brouillage cumulatif des Tableaux 1A à 1D, les administrations exploitant des systèmes non OSG du SFS dans ces bandes de fréquences doivent prendre rapidement toutes les mesures nécessaires pour ramener les niveaux d'epfd cumulative à ceux indiqués dans les Tableaux 1A à 1D ou à des niveaux plus élevés si ceux-ci sont acceptables pour l'administration dont les systèmes OSG sont affectés (voir le numéro 22.5K).

Les dépassements des limites cumulatives de l'EPFD résultent de la tentative de SpaceX d'ignorer la manière dont Starlink fonctionnerait réellement, de séparer artificiellement le système Starlink en plusieurs éléments constitutifs, puis, de manière inadmissible, d'évaluer chacun de ces éléments constitutifs par rapport aux limites d'EPFD pour une seule source de brouillage⁵³.

Là encore, la recommandation UIT-R S.1503 est instructive. Elle part du principe que les paramètres spécifiés dans les fichiers d'entrée pertinents reflètent la manière dont un système non OSG fonctionnerait réellement une fois mis en œuvre. Entre autres choses, la méthodologie repose sur la prise en compte conjointe de tous les satellites susceptibles de contribuer aux niveaux d'EPFD générés par l'ensemble du système. Ainsi, par exemple, la norme UIT-R S.1503 prévoit explicitement que lorsqu'une grande constellation est divisible en "sous-constellations" distinctes, la conformité à l'EPFD sera toujours évaluée pour l'ensemble de la constellation⁵⁴.

⁵³ SpaceX prévoit d'exploiter divers éléments de son système intégré Starlink dans le cadre de diverses demandes d'enregistrement auprès de l'UIT faites en son nom par la Norvège, les États-Unis et l'Allemagne.

⁵⁴ Voir, par exemple, le paragraphe A2.4 de la norme UIT-R S.1503 (qui précise les types de constellations pouvant être évaluées à l'aide des procédures spécifiées et note explicitement que " les constellations peuvent contenir des sous-constellations ayant des paramètres d'orbite et une forme différents... ").

Annexe B : Blocage de l'accès équitable aux bandes de fréquences non OSG

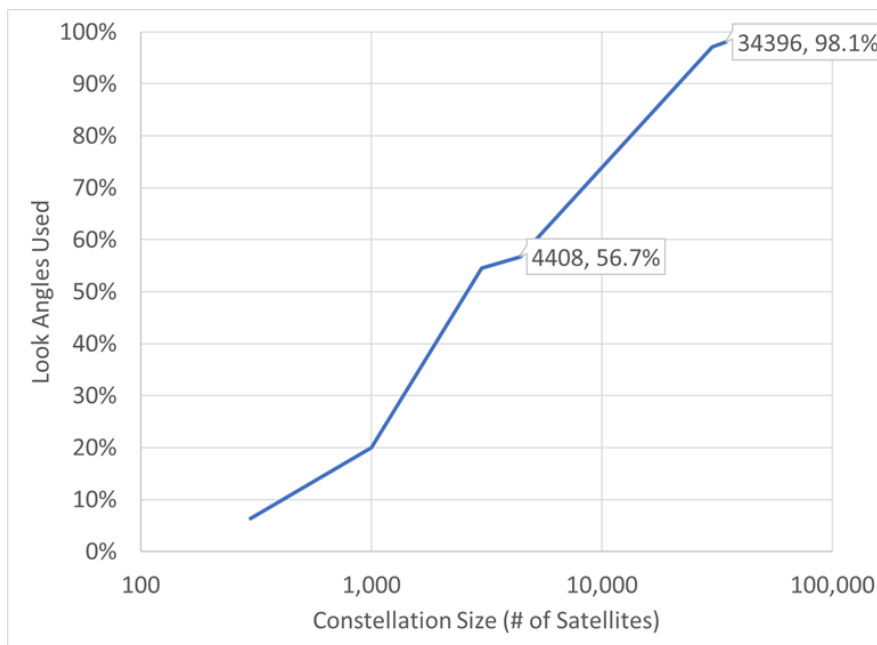
L'effet d'éviction de Starlink sur d'autres systèmes non OSG est illustré par le Tableau B-1 ci-dessous, qui montre la probabilité que d'autres systèmes non OSG de différentes tailles soient complètement "bloqués", pour ce qui est de l'accès raisonnable au spectre, par la configuration Starlink proposée, en raison d'événements de brouillage par alignement. Plus précisément, le Tableau B-1 compare l'impact exclusif de : (i) 4 408 satellites Starlink ; et (ii) un système Starlink élargi de 34 396 satellites. Les autres systèmes non OSG (constellations de 300, 1 000 et 3 000 de satellites) ont été simulés pour fonctionner à des altitudes de 12 000, 900 et 600 km, respectivement, à environ 55° d'inclinaison, avec le terminal de l'utilisateur à un emplacement représentatif à Paris. Les pourcentages reflètent la durée pendant laquelle on peut s'attendre à des événements de brouillage par alignement.

| Autre système NON OSG | Starlink | |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| | 4 408 Satellites | 34 396 Satellites |
| 300 Satellites | 52% | 97% |
| 1 000 Satellites | 20% | 94% |
| 3 000 Satellites | 9% | 93% |

Tableau B-1 - Pourcentage de temps où la constellation Starlink bloque des systèmes non OSG plus petits

Comme le montre le tableau B-1, la constellation Starlink aurait un impact important sur les autres systèmes non OSG, les systèmes plus petits subissant des événements par alignement pratiquement tout le temps.

On peut également illustrer l'effet d'éviction résultant du système Starlink élargi en examinant les "angles de vue" supplémentaires qui seraient ainsi bloqués. Le schéma B-1 ci-dessous illustre le pourcentage d'angles de vue disponibles qui seraient consommés par le système Starlink en fonction du nombre de satellites qu'il incorpore. Comme le montre le schéma B-1, une constellation Starlink de 4 408 satellites bloquerait environ 57% des angles de vue disponibles à partir de la position de Paris. Une constellation Starlink élargie de 34 396 satellites bloquerait **plus de 98% des angles de vue disponibles à partir de cette même position.**



* Look Angles Used - Angles de vue utilisés

Constellation Size (# of Satellites) - Dimension de la constellation (nombre de satellites)

Schéma B-1 - Pourcentage d'angles de vue utilisés en fonction de la taille de la constellation Starlink

La capacité de Starlink de "bloquer" des systèmes non OSG plus petits réduirait effectivement la capacité disponible pour ces systèmes non OSG (parce que ces autres systèmes verraient leur spectre disponible réduit pendant les événements de brouillages par alignement alors que Starlink, avec son engagement $N_{co}=1$, serait toujours en mesure de fournir le service par le biais d'un satellite non soumis à un événement de brouillage par alignement)⁵⁵.

Il est important de souligner que le système Starlink lui-même n'est jamais "bloqué" et ne subit aucune réduction de la capacité disponible du fait de l'exploitation de systèmes non OSG plus petits. En effet, SpaceX serait en mesure de tirer parti du nombre extrêmement élevé de satellites du système Starlink ; en cas de brouillages par alignement impliquant un satellite Starlink, SpaceX pourrait simplement réacheminer les signaux par un autre satellite Starlink. Et comme les liaisons d'utilisateurs Starlink sont basées sur " $N_{co}=1$ " - c'est-à-dire qu'il n'est pas possible d'utiliser plus d'un satellite pour desservir les abonnés dans une zone et une bande de fréquences données en même temps - cela n'entraînerait aucune réduction de la capacité du système Starlink⁵⁶.

⁵⁵ SpaceX s'est engagé à limiter à un le nombre de satellites émettant simultanément en cofréquence et desservant un point donné de la Terre dans les bandes de fréquences 10,5-12,75 GHz et 29,5-30 GHz afin de limiter ses niveaux de EPFD pour protéger les réseaux OSG. Dans le langage de l'UIT, cela se traduit par $N_{co}=1$ dans les fiches de notification déposés par SpaceX auprès de l'UIT.

⁵⁶ À des latitudes comprises entre 60°S et 60°N, chaque station terrestre Starlink serait en mesure de "voir" plus de 100 satellites dans un système Starlink de 34 396 satellites au-dessus du masque d'élévation de 25°. Avec l'engagement $N_{co}=1$, SpaceX n'aurait besoin que d'un seul de ces satellites pour ne pas être affecté par un événement de brouillages par alignement et être capable d'utiliser 100% du spectre autrement disponible.