



SEPTEMBRE
2024

Sat-to-Cell Vers la connectivité universelle ?



Eric BOTTLAENDER
Paul WOHRER

L’Ifri est, en France, le principal centre indépendant de recherche, d’information et de débat sur les grandes questions internationales. Créé en 1979 par Thierry de Montbrial, l’Ifri est une fondation reconnue d’utilité publique par décret du 16 novembre 2022. Elle n’est soumise à aucune tutelle administrative, définit librement ses activités et publie régulièrement ses travaux.

L’Ifri associe, au travers de ses études et de ses débats, dans une démarche interdisciplinaire, décideurs politiques et experts à l’échelle internationale.

Les opinions exprimées dans ce texte n’engagent que la responsabilité des auteurs.

ISBN : 979-10-373-0906-8

© Tous droits réservés, Ifri, 2024

Couverture : © Andrey Suslov/Shutterstock.com

Comment citer cette publication :

Eric Bottlaender et Paul Wohrer, « *Sat-to-Cell*. Vers la connectivité universelle ? », *Études de l’Ifri*, Ifri, septembre 2024.

Ifri

27 rue de la Procession 75740 Paris Cedex 15 – FRANCE

Tél. : +33 (0)1 40 61 60 00 – Fax : +33 (0)1 40 61 60 60

E-mail : accueil@ifri.org

Site Internet : ifri.org

Auteurs

Eric Bottlaender est ingénieur, auteur et rédacteur spécialisé sur le domaine spatial et son actualité. Outre ses articles remarquables pour la presse écrite et numérique, il rédige plusieurs publications à destination du public pour le Centre national d'études spatiales (CNES) et publie en collaboration « De Gagarine à Thomas Pesquet, l'entente est dans l'espace » (Louison, 2017). Diplômé de l'École nationale supérieure d'ingénieurs du Sud Alsace (ENSISA) avec une spécialisation en robotique, il travaille trois ans en recherche à l'Institut franco-allemand de Saint-Louis avant d'intégrer plusieurs structures privées, puis de rapporter les évolutions de secteur spatial en tant qu'indépendant.

Paul Wohrer est chercheur spécialisé dans les questions spatiales à l'Institut français des relations internationales (Ifri). Ses recherches portent sur les enjeux géopolitiques, stratégiques et les évolutions technologiques et industrielles du domaine spatial. De 2017 à 2023, il a travaillé au sein de la Fondation pour la recherche stratégique (FRS) en tant que chargé de recherche sur les questions spatiales. Paul Wohrer est diplômé de Sciences Po Bordeaux et de l'International Space University de Strasbourg.

Résumé

Le *Sat-to-Cell* est un nouveau type de service qui permet de connecter des smartphones directement aux satellites. Il a récemment permis de nouveaux usages tels que des SMS d'urgence par satellite. La technologie évolue rapidement et de nombreuses questions se posent désormais sur ses impacts potentiels.

L'émergence du *Sat-to-Cell* a été favorisée par l'évolution de l'industrie spatiale, en particulier les grandes constellations de satellites. Le cadre réglementaire a également progressé, avec l'implication d'organismes de standardisation pour la mise en place de ce type de services. Proche cousin technologique de l'Internet des objets (IoT), sa dynamique économique est dominée par des acteurs américains et chinois, avec un retard notable des acteurs européens. Par rapport à ce qui a le potentiel de devenir un nouveau marché, l'entreprise SpaceX apparaît particulièrement bien positionnée.

Ces nouvelles applications ne posent pas seulement des questions économiques, mais sont porteuses d'enjeux géopolitiques. Une infrastructure de connectivité globale pourrait permettre l'émergence de nouveaux types d'opérations militaires ou de *soft power*, voire signer la fin du contrôle des États sur Internet dans certains pays. Il semble aujourd'hui nécessaire d'anticiper les possibles évolutions des usages pour s'y adapter.

Le *Sat-to-Cell* reste cependant une technologie balbutiante, incapable de rivaliser à court terme avec les réseaux téléphoniques terrestres. Le marché potentiel reste incertain et comporte des risques d'interférences avec les opérateurs établis. Certaines caractéristiques poussent cependant à le considérer comme une technologie de rupture, dont il faudra surveiller l'évolution.

Executive summary

Sat-to-Cell is a new type of service that connects smartphones directly to satellites. It has recently enabled innovative applications such as emergency text messaging via satellite. The technology is developing rapidly, and many questions are now being raised about its potential impact.

The emergence of *Sat-to-Cell* is enabled by the development of space technologies, in particular large satellite constellations. The regulatory framework has also evolved with the involvement of standardization bodies, which helped implement this type of service. As a close technological relative of the Internet of Things (IoT), its dynamics are dominated by American and Chinese companies, while European actors are almost absent. SpaceX appears in a particularly strong position to exploit this new market.

In addition to economic issues, geopolitical questions are also raised by these new applications. A global connectivity infrastructure could enable the emergence of new military uses, new regime destabilization operations or even the end of state control over the Internet in certain countries. It seems necessary to anticipate possible changing use cases and to adapt to them.

Sat-to-Cell is still in its infancy and cannot compete with established networks in the short term. Its accessible market remains uncertain, and there is a risk of interference with terrestrial operators. However, there are several reasons to see it as a potentially disruptive technology whose development should be monitored.

Sommaire

INTRODUCTION	6
L'ESPOIR D'UNE CONNECTIVITÉ UNIVERSELLE	8
Iridium et Globalstar, les précurseurs des années 1990	8
Les étapes vers le <i>Sat-to-Cell</i>	9
Une innovation de rupture ?	11
ENJEUX GÉOPOLITIQUES DU <i>SAT-TO-CELL</i>	13
Vers la fin des restrictions sur Internet ?	13
Quelles utilisations militaires de la technologie <i>Sat-to-Cell</i> ?	15
Des développements européens limités	16
DES INNOVATIONS CLÉS POUR LE <i>SAT-TO-CELL</i>.....	18
Évolutions des satellites	18
<i>Anciennes et nouvelles architectures spatiales.....</i>	<i>18</i>
<i>Impact attendu des grandes constellations</i>	<i>20</i>
Progrès des récepteurs terrestres	22
<i>Un proche cousin de l'Internet des objets.....</i>	<i>22</i>
<i>Les avancées <i>Sat-to-Cell</i> des smartphones</i>	<i>23</i>
Les évolutions des standards et de la réglementation	25
LES PERSPECTIVES INCERTAINES DU <i>SAT-TO-CELL</i>	27
Une technologie encore balbutiante	27
Risque d'interférences avec les opérateurs terrestres.....	28
Incertitudes de marché.....	29
CONCLUSION	31

Introduction

En mars 2024, une famille a été sauvée après avoir été surprise par une tempête de neige dans une forêt de l'Oregon. Isolés sans accès au réseau mobile, la famille a pu envoyer un message de détresse avec son iPhone grâce à un SOS par satellite. Cette nouvelle fonction, proposée sur les derniers téléphones de la firme Apple, change la donne pour certains services d'urgence et a déjà permis de sauver nombreuses vies¹. Il illustre également les progrès rapides des technologies dites *Sat-to-Cell*.

Dans la mise en place d'infrastructures de télécommunication globales, le spatial a souvent joué un rôle important. Au cours des années 1960, les satellites de communication ont permis de relier d'abord les deux côtés de l'Atlantique, puis la planète entière. De leur position géostationnaire, ils pouvaient transmettre les émissions de télévision et les signaux de téléphone plus efficacement que toute autre technologie².

À partir des années 1990, les « autoroutes de l'information » sont devenues le réseau Internet que nous connaissons. Les années 1990 ont également vu la généralisation du téléphone portable. Ces deux révolutions technologiques ont fini par fusionner au sein du smartphone, à la fois téléphone et moyen d'accès à Internet³. Cependant, même si les satellites de positionnement ont permis le développement d'applications de navigation et que les satellites de télécommunication ont joué un rôle de « backhaul⁴ » pour le réseau mobile, le spatial n'a eu qu'un rôle marginal dans le développement de ces deux technologies. Elles sont en effet basées essentiellement sur des infrastructures terrestres : les téléphones sont connectés à des antennes-relais qui maillent le territoire, tandis que la colonne vertébrale d'Internet est constituée de câbles terrestres et transocéaniques par lesquels transite la quasi-totalité du trafic mondial.

Jusqu'à récemment, toutes les tentatives d'utiliser les satellites pour la connexion à Internet ou aux téléphones n'ont abouti au mieux qu'au développement de marchés de niche, au pire à des échecs. Si quelques

1. R. Romme, « iPhone's SOS Satellite Feature Helped Rescue a Family of Hikers Lost in a Freezing Oregon Forest, Says Report », *Business Insider*, 24 mars 2024, disponible sur : www.businessinsider.com.

2. D. J. Wahlen, « Communications Satellites: Making the Global Village Possible », NASA, 2010, disponible sur : www.nasa.gov.

3. Un smartphone combine les fonctions de téléphonie mobile (GSM) et d'un mini-ordinateur, permettant l'accès à Internet *via* des points d'accès mobiles (4G, 5G), fixes (Wi-Fi) et la réception de signaux satellites de positionnement, timing et navigation (GPS, Galileo).

4. Il s'agit de la partie du réseau qui n'est pas en contact avec l'utilisateur final, mais fait l'interface entre l'utilisateur et le cœur de réseau.

entreprises espéraient ainsi dans les années 1990 connecter les téléphones portables à l'aide de satellites, le marché ne s'est jamais concrétisé et la plupart d'entre elles ont fait faillite. De même l'utilisation des satellites géostationnaires pour accéder à Internet n'a jamais véritablement trouvé de débouchés commerciaux, les limitations techniques liées au faible débit et à la latence élevée ayant empêché l'adoption de cette technologie par le grand public⁵.

Des innovations technologiques permettent aujourd'hui d'envisager à nouveau le développement de ce type de services. Segment particulier de la connectivité par satellite, ce secteur est généralement dénommé « *Direct-to-Device* », « *Direct-to-Cell* » ou encore « *Sat-to-Cell* »⁶. Il attire à la fois des acteurs établis et de nouvelles entreprises du spatial.

L'objectif poursuivi est celui d'une connectivité illimitée sur terre, sur mer ou dans les airs, et affranchie de la couverture des réseaux cellulaires. Une telle capacité, accessible à tout détenteur de smartphone dans le monde, porte la promesse d'un accès universel au réseau Internet. Elle porte également en creux l'ambition de s'affranchir des contrôles et restrictions mis en place par certains états comme la Chine, l'Iran ou la Russie, offrant ainsi des possibilités d'émancipation à des milliards d'individus.

Ces perspectives sont-elles crédibles au regard de l'état de l'art, de la régulation qui encadre ces infrastructures, ou encore de la dualité de ces technologies ? Cette étude se fixe pour ambition d'explorer les enjeux géopolitiques et économiques de ces nouveaux usages, sans omettre les incertitudes propres à tout domaine émergent. Elle propose également des recommandations et pistes de réflexion afin de tirer parti de ces développements au niveau européen.

5. La latence fait référence au délai entre l'émission d'un signal et la réponse du serveur. La plupart des satellites étant situés en orbite géostationnaire à 36 000 kilomètres (km) de la surface de la Terre, la latence est élevée car le signal met environ 240 millisecondes à faire l'aller-retour, tandis qu'un réseau 4G possède généralement une latence entre 30 et 70 millisecondes.

6. La dénomination exacte de ce nouveau secteur fait encore débat aujourd'hui, principalement dans les cercles anglo-saxons. « *Device-to-Device* » souvent abrégé en « D2D », émerge comme la dénomination dominante, mais c'est une notion plus large qui inclut non seulement les services *Sat-to-Cell* et de nombreux services liés à l'Internet des objets (IoT), qui ne font pas forcément usage de smartphones.

L'espoir d'une connectivité universelle

Iridium et Globalstar, les précurseurs des années 1990

À partir du milieu de la décennie 1970, les premières générations de satellites commerciaux géostationnaires ont principalement concerné la diffusion télévisée. Leur expansion s'est poursuivie et accélérée au cours des années 1980 puis 1990 avec l'apparition d'un grand nombre d'opérateurs publics puis privés tels qu'Intelsat, Eutelsat ou SES. Le contexte a permis le transfert vers le grand public de technologies qui, quelques années plus tôt, étaient réservées au domaine militaire, comme la géolocalisation par satellite. L'arrivée des premières générations de téléphones mobiles et leur succès auprès du grand public ont laissé entrevoir au début des années 1990 un large marché pour la téléphonie mobile par satellites.

Les premières entreprises privées dédiées à la téléphonie mobile par satellite, Globalstar et Iridium, ont ainsi émergé au cours des années 1990. Ces deux entités, financées à travers des partenariats⁷, des emprunts et d'importantes levées de fonds, ont lancé leurs constellations de satellites en orbite basse : 48 pour Globalstar⁸, 77 pour Iridium⁹.

Cependant, contrairement aux espoirs exprimés à l'époque, la téléphonie par satellite est restée marginale au début des années 2000. Elle reposait en effet sur des terminaux spécifiques, des appareils mobiles plus imposants et moins ergonomiques que les téléphones cellulaires traditionnels, dont la croissance à la même période était exponentielle. Les coûts pour les utilisateurs étaient supérieurs à ce que proposaient les opérateurs terrestres. Surtout, les téléphones satellitaires souffraient de grandes limitations de service, avec des coupures régulières et peu ou pas de fonctionnement dans les bâtiments ou les canyons urbains.

Ces limitations ont condamné cette technologie à quelques marchés de niche : usages militaires, services d'urgence, ou navires effectuant de longues traversées à distance des réseaux terrestres. Cet échec à conquérir le marché de masse a considérablement freiné l'élan d'optimisme autour de

7. Notamment Motorola pour Iridium.

8. Le premier appel fut effectué en novembre 1998 et le réseau est entré en service en février 2000.

9. Le vice-président Al Gore a été le premier utilisateur d'Iridium, utilisant l'un de leurs appareils pour joindre l'arrière-petit-fils de Graham Bell, l'inventeur du téléphone dans une opération de communication.

cette technologie : confrontés à des dettes massives et des résultats incompatibles avec les attentes de leurs créanciers, les deux opérateurs ont fait faillite, Iridium en 1999 et Globalstar en 2003¹⁰.

Pourtant, Globalstar comme Iridium ont été sauvés et rachetés¹¹. Restructurés autour de leurs marchés resserrés, ils ont pu attirer de nouveaux investissements pour remplacer leurs satellites vieillissants avec de nouvelles générations aux capacités améliorées. Globalstar a pu financer puis déployer une deuxième génération de 24 satellites entre 2010 et 2013, et prévoit que 17 satellites seront envoyés en orbite à partir de 2025. Iridium a remplacé l'ensemble de sa constellation, désormais nommée Iridium Next, entre 2017 et 2020 avec 72 satellites. Ces deux opérateurs font désormais partie de l'écosystème du *Sat-to-Cell* qui se structure en 2024 avec de nouveaux entrants tels qu'AST Spacemobile, Lynk Space ou encore Starlink.

Les étapes vers le *Sat-to-Cell*

Dans les réseaux 5G actuels, les satellites jouent déjà un rôle important de « *backhaul* ». Les satellites permettent ainsi de relier certaines tours de téléphonie cellulaire isolées qui ne peuvent être reliées entre elles par fibre optique¹². Ce type de connexion est principalement réalisée dans les pays en développement¹³.

Le prochain saut technologique, dit « *Sat-to-Cell* », consiste à connecter directement des smartphones aux satellites. Cet objectif porte la possibilité dans un avenir proche d'une connectivité universelle, avec à terme la fin des zones blanches sur l'ensemble du globe. En effet à l'heure actuelle, plus de 90 % de la population mondiale est servie par les réseaux terrestres, mais seulement 40 % de la surface géographique des continents sont couverts par ces réseaux¹⁴.

10. C. Mellow, « The Rise and Fall and Rise of Iridium », *Smithsonian Magazine*, septembre 2004, disponible sur : www.smithsonianmag.com.

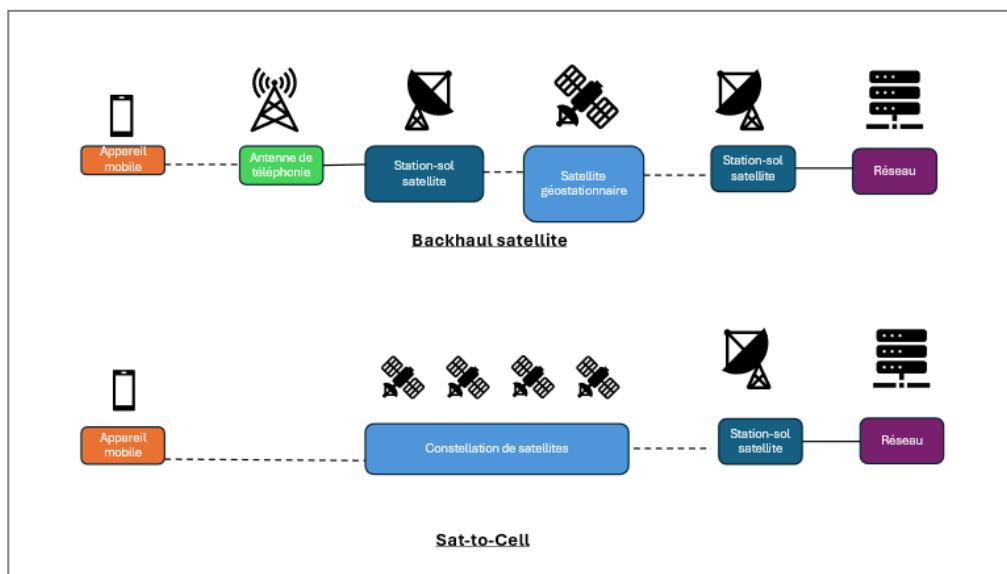
11. « Iridium Back from the Dead », *Wired*, mars 2001, www.wired.com.

12. « Backhaul Media for 5G and Beyond », *Ericsson Microwave Outlook Report*, 2023, disponible sur : www.ericsson.com.

13. Entretien de recherche avec un spécialiste des télécommunications et de l'industrie spatiale, Ifri, 1^{er} août 2024.

14. Entretien de recherche avec un spécialiste des télécommunications et de l'industrie spatiale, Ifri, 1^{er} août 2024.

Architectures de connectivité cellulaire par satellite



Source : Schéma réalisé par Paul Wohrer © Ifri, 2024.

Il est possible d'envisager trois étapes dans l'évolution des capacités *Sat-to-Cell* :

- Une première étape limitée à des SMS d'urgence pré-enregistrés sur des téléphones adaptés à ce type d'usage. Ces services sont déjà disponibles sur iPhone aux États-Unis et devraient également être accessibles dans la nouvelle version du logiciel Android.
- Une deuxième étape fournissant des services de SMS, MMS et voix par satellite. Ce type de service est disponible sur les derniers téléphones Huawei en Chine et pourrait être disponible sur iPhone à l'automne¹⁵.
- Une troisième étape incluant une connexion à Internet à partir de téléphones standards. Un test a été mené avec succès par les équipes de Starlink en mai 2024¹⁶.

Cette troisième étape pourrait concrétiser l'objectif d'une « transparence » complète dans l'utilisation des réseaux téléphoniques, qui permettrait d'obtenir une connectivité véritablement universelle. La plupart des entreprises du secteur visent cette dernière étape. À l'horizon 2030-2040, il est ainsi possible d'envisager des services comparables à la performance des réseaux 3G+, soit environ 10 mégabytes par seconde (Mb/s) en liaison descendante et 1Mb/s en liaison montante¹⁷.

15. A. Mbida, « Téléphone portable : grâce aux satellites, les appels d'urgence sans réseau sont possibles sur certains mobiles », *France Info*, 17 juin 2024, disponible sur : www.francetvinfo.fr.

16. Compte Twitter (X) de SpaceX, 21 mai 2024, disponible sur : <https://x.com>.

17. Entretien de recherche avec un spécialiste des télécommunications et de l'industrie spatiale, Ifri, 1^{er} août 2024.

Traditionnellement, un système spatial est composé de trois segments : le segment spatial, constitué de satellites ; le segment-sol, constitué de stations d'émission-réception des données satellitaires ; et un segment utilisateur : paraboles, téléphones satellites, récepteurs IOT, etc.

La partie segment-sol a déjà pu être simplifiée par certains opérateurs par l'utilisation de liaisons inter-satellites. Le nombre de stations-sols a ainsi été fortement réduit par rapport à ce qui était historiquement nécessaire pour maintenir le réseau d'une constellation de satellites, réduisant d'autant le coût de l'infrastructure terrestre. Par ailleurs, les technologies de gestion automatiques du pilotage des constellations réduisent également le besoin d'opérateurs humains pour ajuster la position des satellites, notamment pour éviter des débris¹⁸.

La perspective de pouvoir se servir de récepteurs déjà présents dans la poche de plus de la moitié des habitants de la planète permettrait également de se passer du développement souvent coûteux et complexe de terminaux-utilisateurs dédiés¹⁹.

Une innovation de rupture ?

L'innovation de rupture, ou innovation disruptive, est un concept mis en avant par Clayton Christensen, qui décrit certaines innovations comme ayant la capacité de changer les règles sur un marché établi, généralement en proposant un produit ou un service moins performant et moins fiable que l'existant, mais plus pratique et moins cher²⁰. Il l'oppose à l'innovation incrémentale, qui consiste à augmenter les performances d'un produit dans un marché donné. Les performances des télécommunications sont définies par le débit de données et la latence du réseau : un réseau est plus performant avec un débit élevé et une latence faible. C'est ainsi que sont définies les différentes générations de réseaux mobiles, qui par innovations incrémentales augmentent leurs performances, depuis la première génération dans les années 1980 jusqu'à la 5G aujourd'hui.

Le *Sat-to-Cell* dispose de nombreux attributs qui le rapprochent d'une innovation disruptive. Il est tout d'abord moins performant que les réseaux terrestres selon les critères actuels : le débit de données est moins important et la latence est plus élevée. Il est également moins fiable : la connexion est plus longue, peu disponible dans les bâtiments, sensible à la météo, etc.

18. C. Young, « SpaceX Starlink Satellites Have Made 50,000 Collision-avoidance Maneuvers », Interesting Engineering, 7 juillet 2023, disponible sur : <https://interestingengineering.com>.

19. M. Shanahan et K. Bahia, « The State of Mobile Internet Connectivity Report 2023 », GSMA, octobre 2023, disponible sur : www.gsma.com.

20. C. Christensen, *The Innovator's Dilemma*, Boston, MA : Harvard Business School Press, 1997.

Le *Sat-to-Cell* présente cependant l'avantage d'être disponible partout dans le monde, sans zones blanches, même sur les océans, les pôles et dans les airs. Cette capacité unique pourrait créer de nouveaux usages et de nouvelles attentes pour les clients, comme la capacité à utiliser son téléphone en mobilité, à l'étranger ou dans des zones isolées.

La grande inconnue est la comparaison entre les coûts de déploiement des constellations de satellites par rapport au déploiement de l'infrastructure 5G. Certains chiffres font état d'un investissement à travers le monde de près de 1 000 milliards de dollars pour la 5G²¹, chiffre à mettre en perspective avec le coût d'une constellation comme Starlink, estimé à 10 milliards de dollars en 2024²².

En théorie, une innovation disruptive a plus de chance de s'implanter dans un marché où les performances des produits ou services proposés sont trop importantes par rapport aux besoins des clients. Les performances des réseaux *Sat-to-Cell* ne sont bien sûr pas comparables à celles des réseaux terrestres actuels. Il existe cependant des signaux faibles tendant à indiquer que les réseaux 5G seraient aujourd'hui trop performants par rapport aux besoins du marché. *Les Échos*²³ comme le *Wall Street Journal*²⁴ ont notamment décrit une certaine « déception » par rapport à la 5G, les utilisateurs n'utilisant pas le réseau au maximum de ses capacités par manque de besoin.

Il reste par ailleurs de nombreuses zones blanches à travers le monde, représentant soit des régions trop peu denses pour être couvertes par des réseaux mobiles, soit trop pauvres pour permettre un retour sur investissement à la mise en place d'infrastructures. L'existence d'un marché non exploité par les entreprises historiques peut offrir la possibilité à des services disruptifs de s'installer.

La théorie de l'innovation disruptive n'est pas infaillible et ne peut présager du succès de la technologie *Sat-to-Cell*. Il faut également rester prudent, car l'état de l'art des capacités satellites face aux réseaux terrestres ne permet pas d'envisager de manière fiable leur évolution à court ou moyen terme. Il convient cependant d'anticiper l'émergence potentielle de nouveaux besoins et de nouveaux marchés au regard des signaux faibles constatés actuellement.

21. F. Fassot, « Réseaux 5G : 880 milliards de dollars d'investissement d'ici 2025 », *VIPress*, 9 mars 2020, disponible sur : <https://vipress.net>.

22. P. Lionnet, « SpaceX and the Categorical Imperative to Achieve Low Launch Cost », *Space News*, 7 juin 2024, disponible sur : <https://spacenews.com>.

23. C. Praud, « 5G : la grande déception ? », *Les Échos*, 6 mars 2024, disponible sur : www.lesechos.fr.

24. J. Stern, « It's Not Just You: 5G Is a Big Letdown », *The Wall Street Journal*, 11 janvier 2023.

Enjeux géopolitiques du *Sat-to-Cell*

Vers la fin des restrictions sur Internet ?

De nombreux pays maintiennent une surveillance très importante de l'accès à Internet pour leurs citoyens. Si la Chine en est le meilleur exemple, avec les techniques de contrôle très poussées du projet « Bouclier doré », parfois qualifié de « Grand Firewall de Chine²⁵ », ce n'est pas le seul pays à contrôler étroitement Internet. Iran, Russie, Vietnam, Cuba, Soudan, Venezuela... En tout, ce sont 22 nations dans lesquelles l'Internet n'est pas libre, ce qui signifie que certains services sont inaccessibles aux citoyens et que la liberté d'expression y est fortement réprimée²⁶.

Une grande partie de la coercition exercée par les autorités étatiques provient de leur capacité de contrôle sur les infrastructures terrestres : câbles optiques, opérateurs de télécommunications, etc. Un réseau complètement décentralisé et accessible à partir d'un simple téléphone portable pourrait alors être plus difficile à contrôler. Les câbles transocéaniques fournissent en effet 99 % de la connectivité de la planète, leurs stations d'atterrissage et les opérateurs qui les exploitent sont susceptibles d'être contrôlés par les États. S'il n'existe aucune infrastructure sur leur territoire, aucun contrôle n'est possible sur les opérateurs de télécommunication et mettre en place des mesures répressives devient complexe, sauf à généraliser un bridage matériel ou logiciel des smartphones sur leur territoire. La mise en place de telles mesures représenterait cependant un effort de grande ampleur.

En théorie, les services satellitaires, pour fonctionner dans un pays donné, doivent se soumettre aux réglementations locales sous peine d'être interdits de service. La Federal Communications Commission (FCC), agence régulatrice des télécommunications aux États-Unis, rappelle d'ailleurs ce point dans son règlement sur le *Sat-to-Cell* : « Nous notons que la fourniture de toute couverture supplémentaire depuis l'espace en dehors des États-Unis doit être dûment autorisée par les administrations concernées et sera soumise aux lois, règlements et exigences applicables à ces opérations sur les territoires des administrations qui les autorisent²⁷. »

25. L'expression anglaise, « Great Firewall of China », est une référence à la grande muraille de Chine.

26. A. Funk, A. Shahbaz *et al.*, « Freedom on the Net 2023 », *Freedom House*, 2023, disponible sur : <https://freedomhouse.org>.

27. « Single Network Futures: Supplemental Coverage from Space », Federal Communications Commission, Washington, 15 mars 2024, p. 100, disponible sur : www.fcc.gov.

Les États sont ainsi autorisés à suspendre le service dans leur pays, sous peine de sanctions contre l'entreprise qui ne se soumettrait pas à leurs injonctions.

En pratique, le système est imparfait. Un service satellitaire peut théoriquement être disponible partout sur la planète. Les restrictions viennent du côté du fournisseur et consistent à entraver le fonctionnement du système par « géo-repérage²⁸ ». Il ne s'agit pas d'une limitation intrinsèque du réseau, mais d'un bridage technique qui reste fragmentaire. Le cas de la constellation Starlink est éloquent : alors qu'il est censé ne pas fonctionner en Chine, des chercheurs ont découvert que le service était en fait disponible sur près de 90 % du territoire chinois²⁹. Il a également été rapporté que les militaires russes ont utilisé des terminaux Starlink au cours de la guerre en Ukraine³⁰, ou encore que le service est accessible dans de nombreuses régions d'Afrique où il n'est pas censé être opérationnel³¹.

Dans le cadre d'opérations d'influence ou de déstabilisation de régimes, les capacités *Sat-to-Cell* pourraient jouer un rôle important, comme l'a démontré l'usage de la constellation Starlink lors des manifestations en Iran en 2022. Le régime y avait supprimé l'accès à Internet pour l'ensemble de la population. La Maison-Blanche a alors demandé à SpaceX de rendre disponible le service Starlink en Iran afin de permettre à la population d'accéder à Internet et coordonner les manifestations contre le régime. Cependant le besoin de disposer de terminaux spécifiques, de les faire entrer clandestinement en Iran³², et le fait que les signaux qu'ils émettent soient facilement repérables a limité la portée de cet effort³³. Ce problème n'aurait pas existé avec une technologie *Sat-to-Cell* ne requérant pas de terminal spécifique, ce qui pourrait ouvrir la voie à de nouveaux types d'opérations de *soft power*.

Une parade consisterait à mettre en place des mesures techniques de restriction telles que des brouilleurs. Il s'agit d'une technologie relativement peu coûteuse et efficace, déjà utilisée par certains pays pour éviter la diffusion d'émissions de télévision réprimées par le régime³⁴. Il existe cependant peu d'informations publiques sur les capacités et la portée des

28. Appelé « Geofencing » en anglais : il s'agit d'un refus d'accès au réseau à partir des informations de géolocalisation envoyées par l'utilisateur.

29. « China Wary of SpaceX's Starlink Service during Taiwan Contingency », *Kyodo News*, 25 mai 2024, disponible sur : <https://english.kyodonews.net>.

30. A. Decker, « DOD: Russia's Use of Starlink Will Be a 'Continuous Problem' in Ukraine », *Defense One*, 21 mai 2024, disponible sur : www.defenseone.com.

31. L. Prinsloo *et al.*, « Musk's Starlink Persists in Unauthorized Areas Despite Shutdown Warnings », *Bloomberg*, 2 mai 2024, disponible sur : www.bloomberg.com.

32. K. Vick, « Receivers for Elon Musk's Starlink Internet Are Being Smuggled into Iran », *Time*, 22 octobre 2022, disponible sur : <https://time.com>.

33. N. Bertrand et A. Marquardt, « After Ukraine, Biden Administration Turns to Musk's Satellite Internet for Iran », *CNN*, 21 octobre 2022, <https://edition.cnn.com>.

34. J. Rainbow, « Eutelsat Says Satellite Jammers Within Iran Are Disrupting Foreign Channels », *Space News*, 7 octobre 2022, disponible sur : <https://spacenews.com>.

brouilleurs de satellites, en raison de la sensibilité de ces informations. En fonction de leur efficacité, ils pourraient complètement empêcher l'utilisation de tels réseaux. La Secure World Foundation dans son rapport annuel indique ainsi que la Russie est capable de brouiller le réseau Starlink dans le cadre de la guerre en Ukraine³⁵. Il serait également possible d'interdire l'usage de certains modèles de téléphones portables capables d'accéder à Internet par satellite, mais les smartphones restent des terminaux discrets, peu complexes à fournir par des réseaux de contrebande.

La technologie *Sat-to-Cell*, si elle peut contribuer à désenclaver des territoires ne disposant pas d'infrastructures terrestres suffisantes, pourrait donc également contribuer à libérer l'accès à Internet dans des pays où le contrôle de l'État sur les réseaux reste étroit. Cela ouvre des perspectives inédites qui consacrent le rôle primordial désormais joué par les entreprises spatiales par rapport aux États dans la maîtrise des flux de données.

Quelles utilisations militaires de la technologie *Sat-to-Cell* ?

Les technologies spatiales sont par nature duales et le *Sat-to-Cell* n'y fait pas exception. Les militaires, en particulier américains, ont toujours représenté pour les opérateurs satellites un marché clé. Ce fut particulièrement le cas pour Iridium après sa faillite, l'armée américaine devenant l'un des rares débouchés pour l'entreprise nouvellement restructurée. De leur côté, les militaires ont toujours trouvé dans les services satellitaires, qui offrent une capacité de mobilité inégalée par rapport aux réseaux terrestres, des solutions correspondant mieux à leurs besoins de déploiement, notamment en opérations extérieures.

Les nouvelles solutions *Sat-to-Cell*, si elles n'ont été ni suscitées ni financées par les forces armées, intéressent néanmoins celles-ci. Le colonel Eric Felt de l'US Space Force a récemment déclaré son intérêt pour ce type de technologies, qui pourrait compléter voire remplacer des capacités développées spécifiquement pour les forces armées³⁶. Son commentaire vise en particulier le système MUOS (Mobile User Objective System), un service de communications maritimes qui a subi de nombreux retards en raison de la difficulté à développer des récepteurs terrestres. Les États-Unis voient dans ce type de technologies issues d'acteurs commerciaux les moyens d'améliorer leurs capacités militaires, mais également de concurrencer leurs propres services d'acquisition institutionnels, parfois trop lents et peu efficaces pour fournir les solutions nécessaires à leurs opérations.

35. B. Weeden et V. Samson, « Global Counterspace Capabilities: An Open Source Assessment », Secure World Foundation, avril 2024, p. 2-26, disponible sur : <https://swfound.org>.

36. S. Erwin, « New Direct-to-cell Satellite Tech Could Disrupt Billion-dollar Military Satcom Programs », *Space News*, 10 juin 2024, disponible sur: <https://spacenews.com>.

En mars 2024, le Pentagone a ainsi mis en place un programme d'acquisition de services *Sat-to-Cell*³⁷ et a signé en avril 2024 un premier contrat avec la start-up Lynk³⁸. Cette tendance suit la dynamique enclenchée depuis plusieurs années aux États-Unis consistant à déléguer au secteur privé certaines fonctions militaires sous la forme d'un contrat de service, particulièrement dans le cas du *New Space*.

Des développements européens limités

À l'heure actuelle, les développements de la technologie *Sat-to-Cell* sont principalement le fait d'entreprises américaines et chinoises. Peu d'intégrateurs mettent en avant le *Sat-to-Cell* comme un débouché futur, malgré le fait que des entreprises européennes participent à la construction de satellites pour des constellations *Sat-to-Cell*³⁹. L'opérateur Orange a bien noué un partenariat avec l'opérateur européen One Web, mais pour des solutions de *backhaul* et pas *Sat-to-Cell*⁴⁰. Certains équipementiers travaillent également sur ces technologies, comme Alcan Systems en Allemagne pour les antennes de téléphones portables ou ST Microelectronics pour les composants GaN présents sur les constellations de satellites.

Cette discrétion est étonnante, car la technologie suscite pourtant l'intérêt de nombreux analystes, comme en témoigne la participation d'entreprises européennes à la définition des standards de la Third Generation Partnership Project (3GPP) pour le *Sat-to-Cell*⁴¹. Il existe néanmoins plusieurs jeunes entreprises européennes dans le domaine *Sat-to-Cell*. Par exemple la start-up espagnole Sateliot qui cumulera avec ses satellites les fonctions d'Internet des objets (IoT) et de connectivité 5G⁴², ou OQ Technology, basée au Luxembourg, qui vise le marché et dispose depuis le mois de mars 2024 de dix satellites Tiger, formant la « première couche » de sa constellation en orbite⁴³. OQ Technology a signé au début de l'année un contrat avec l'Agence spatiale européenne (ESA) pour évaluer la faisabilité d'un système *Sat-to-Cell*⁴⁴. L'ESA s'intéresse également de plus

37. T. Hitchens, « Space Force to Launch 'Marketplace' for Satellite-to-cellular Communications Services », *Breaking Defense*, 3 mars 2023, disponible sur : <https://breakingdefense.com>.

38. A. Weltman, « Lynk Global Signs Satellite-to-Cell Contract with US DoD », *Via Satellite*, 25 avril 2024, disponible sur : www.satellitetoday.com.

39. « Omnispace and Thales Alenia Space Announce Successful Launch of First Satellite Mission », Thales Group, Communiqué de presse, 2 avril 2022, disponible sur : www.thalesgroup.com.

40. « Orange et OneWeb signent un accord visant à améliorer et étendre la connectivité mondiale », Orange, Communiqué de presse, 8 mars 2022, disponible sur : <https://newsroom.orange.com>.

41. Entretien de recherche avec un spécialiste des télécommunications et de l'industrie spatiale, Ifri, 1^{er} août 2024.

42. J. Rainbow, « Spanish Startup Sateliot Seeks Funds for 64 More Connectivity Satellites », *Space News*, 12 janvier 2024, disponible sur : <https://spacenews.com>.

43. « OQ Technology Successfully Completes Batch-1 with Two New 5G IoT Satellites Launch on Transporter-10 », OQ Technology, Communiqué de presse, 10 mars 2024, disponible sur : www.oqtec.com.

44. « OQ Technology Signs Contract with ESA for Direct-to-Cell Feasibility Study », OQ Technology, Communiqué de presse, 8 février 2024, disponible sur : www.oqtec.space.

en plus à ce domaine, et a récemment publié des appels d'offres pour explorer cette technologie⁴⁵.

Les entreprises européennes sont cependant beaucoup plus petites et apparaissent moins ambitieuses que les start-ups américaines et se présentent plus volontiers comme des entreprises de l'IoT plutôt que du *Sat-to-Cell*. La constellation souveraine planifiée par l'Union européenne (UE), IRIS², n'inclut pas non plus cette capacité dans sa définition initiale⁴⁶. Ajouter des services *Sat-to-Cell* à cette constellation pourrait pourtant permettre la mise en place de services publics innovants tels qu'une messagerie d'urgence dans les zones blanches. Ce type de fonctionnalités pourrait également offrir des opportunités de coopération avec l'Afrique, objectif affiché de la constellation IRIS². Le taux de pénétration des smartphones sur ce continent est en effet de plus en plus important, avec une croissance anticipée de 6,72 % par an⁴⁷.

45. « ESA Investigating Direct-to-Device », Agence spatiale européenne, 6 avril 2024, disponible sur : <https://esastar-publication-ext.sso.esa.int>.

46. Régulation (EU) 2023/588 du Parlement européen et du conseil du 15 mars 2023 mettant en place le programme de l'Union pour une connectivité sécurisée pour la période 2023-2027, disponible sur : <https://eur-lex.europa.eu>

47. « Smartphones – Africa », Statista, disponible sur : www.statista.com.

Des innovations clés pour le *Sat-to-Cell*

Évolutions des satellites

Anciennes et nouvelles architectures spatiales

Si les services *Sat-to-Cell* actuels se reposent encore beaucoup sur les services satellitaires disponibles au début des années 2000 et l'usage de téléphones spécifiques, on constate désormais l'arrivée sur le marché de start-ups spatiales innovantes. Celles-ci ont su s'appuyer sur les financements de piliers du secteur de la téléphonie mobile tels qu'AT&T, Vodafone ou encore Google pour mettre en place leurs développements⁴⁸. Elles proposent pour la plupart un service innovant : des services *Sat-to-Cell* à partir de smartphones classiques. Les principales évolutions qui ont permis l'émergence de ce type de services viennent donc de l'industrie spatiale, notamment grâce à la baisse des coûts de lancement et l'industrialisation de la fabrication des satellites⁴⁹.

AST Spacemobile, par exemple, est une entreprise fondée en 2017, restée dans l'ombre jusqu'au mois de mars 2020. Les groupes britanniques Vodafone et japonais Rakuten ont alors conduit un investissement de 128 millions de dollars pour assurer la croissance de l'entreprise, encore nommée AST & Science⁵⁰. La start-up a ensuite déposé un projet de constellation spécifiquement dédiée au *Sat-to-Cell* incluant, dans un premier temps, 243 satellites. AST Spacemobile s'est fait connaître avant même l'envoi de son prototype fonctionnel, BlueWalker-3, du fait de la taille de son antenne qui couvre un carré de 64 mètres carrés (m²), promettant de le rendre particulièrement visible à sa future orbite à 500 kilomètres (km) d'altitude. Malgré les protestations d'astronomes, le satellite est lancé le 10 septembre 2022. AST Spacemobile réussit ses tests avec BlueWalker-3 et relaie le 25 avril 2023 un appel téléphonique avec un smartphone non modifié, démontrant une capacité initiale de *Sat-to-Cell*. Quelques mois plus tard, le même prototype permet une liaison 5G vers un appareil isolé hors réseau.

48. « AST SpaceMobile Secures Strategic Investment from AT&T, Google and Vodafone », *Business Wire*, janvier 2024, disponible sur : www.businesswire.com.

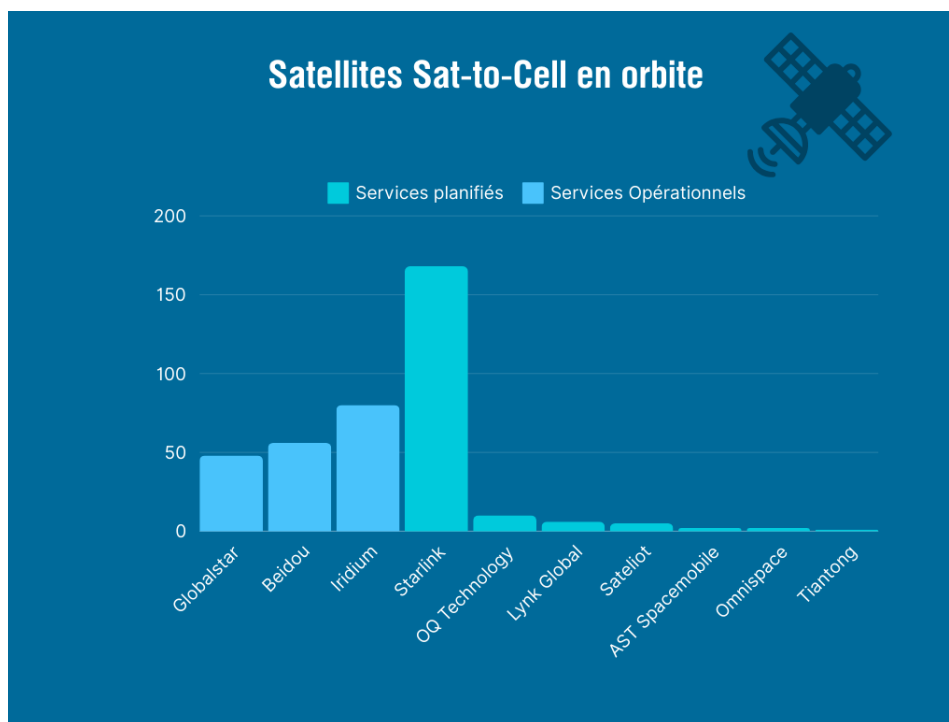
49. Entretien de recherche avec un spécialiste des télécommunications et de l'industrie spatiale, Ifri, 1^{er} août 2024.

50. « Rakuten and Vodafone Invest in AST & Science », ST Spacemobile, mars 2020, disponible sur : <https://ast-science.com>.

Ces essais montrent la pertinence technologique des solutions retenues : avec un système satellitaire adapté, les liaisons sont possibles vers et depuis des smartphones non spécifiques. AST Spacemobile prévoit d'envoyer cinq nouveaux satellites en orbite. En attirant les investisseurs, ses essais de 2023 ont assuré la trésorerie nécessaire à leur production et leur lancement. AST Space Mobile a lancé 5 satellites en septembre 2024⁵¹.

D'autres structures sont proches de la commercialisation de leurs premiers services après des démonstrations réussies. C'est le cas de Lynk Global (anciennement Ubiquitylink, États-Unis), qui dispose d'au moins six satellites actifs nommés « Lynk Tower » à 500 km d'altitude. Plus que son application proposée, qui vise à couvrir le globe grâce à son service de messagerie par satellite et de transmissions d'urgence (l'entreprise a également testé avec succès des appels sur des smartphones non spécifiques⁵²), Lynk dispose de plusieurs dizaines de partenariats et accords autour du monde : Turquie, Argentine⁵³, États-Unis, etc. Dans le paysage industriel, les acteurs américains sont aujourd'hui dominants, mais quelques acteurs chinois et européens émergent également.

Les principales entreprises et leur flotte de satellites



Source : Graphique réalisé par Paul Wohrer © Ifri, 2024.

51. « AST SpaceMobile Provides Interim Business Update to Confirm Upcoming Orbital Launch and Warrant Redemption », *Business Wire*, 4 septembre 2024, disponible sur : www.businesswire.com.

52. R. Jewett, « Lynk Demonstrates Voice Calls Over Satellite », *Via Satellite*, juillet 2023, disponible sur : www.satellitetoday.com.

53. M. Holmes, « Telefonica and Lynk Demonstrate Satellite to Cell in Argentina », *Via Satellite*, février 2024, disponible sur : www.satellitetoday.com.

Impact attendu des grandes constellations

Deux grandes constellations de satellites sont déjà déployées ou en cours de déploiement : OneWeb (634 satellites en mai 2023), qui appartient à Eutelsat, et Starlink (plus de 6 000 satellites opérationnels), qui appartient à SpaceX. D'autres projets de grandes constellations sont en développement, tels que Telesat (Canada), Amazon (États-Unis), mais aussi Guowang (Chine) et IRIS² (Europe).

Par leurs capacités de transferts de données conçues pour minimiser les délais de latence, les constellations de connectivité en orbite basse apparaissent comme les plateformes privilégiées pour le déploiement à grande échelle des services de communication *Sat-to-Cell*. Toutefois à l'exception de SpaceX, les acteurs se concentrent pour l'instant sur des services à destination d'entreprises. C'est le cas de OneWeb, qui a testé avec succès en 2023 une connexion 5G avec l'Université de Surrey⁵⁴, ou la future constellation Kuiper d'Amazon, qui dispose d'un accord de soutien de réseau 5G avec l'opérateur Vodafone⁵⁵.

La constellation la plus avancée à ce jour est Starlink de SpaceX. La firme californienne dirigée par Elon Musk apparaît en position de force au regard de l'évolution du *Sat-to-Cell*⁵⁶. SpaceX dispose d'un accès privilégié à l'espace, car elle déploie ses propres satellites à l'aide de ses propres lanceurs. Ceci lui permet des lancements « à prix coûtant », sans intermédiaire d'achat et sans être tributaire d'un agenda particulier sinon celui de ses autres clients.

D'autre part, SpaceX conçoit et fabrique ses satellites Starlink en série, ce qui la dote d'une maîtrise du cycle de production, de l'approvisionnement et de la technologie embarquée dont ne disposent pas ses concurrents. Il est par exemple possible pour SpaceX de prototyper, sur un nombre limité de satellites, des fonctionnalités inédites comme des transpondeurs dédiés au *Sat-to-Cell*, qu'elle peut ensuite produire en série. L'entreprise américaine annonçait en février être capable de construire 55 satellites par semaine⁵⁷. Les concurrents de Starlink ne peuvent pas se permettre un tel procédé et doivent généralement s'adresser à un constructeur de satellites pour modifier la charge utile et ce, uniquement si elle respecte les contraintes liées à son lancement (volume, masse, liaisons, etc.)

54. « 5G End-to-end Link First at ESA 5G Hub », *ESA Connectivity & Secure Communications Blog*, Agence spatiale européenne, 28 juin 2022, disponible sur : <https://connectivity.esa.int>.

55. « Vodafone and Amazon's Project Kuiper to Extend Connectivity in Africa and Europe », Vodafone, Communiqué de presse, 5 septembre 2023, disponible sur : www.vodafone.com.

56. D. Jones, « Can Direct-to-cell Satellite Services Make Money ? », *Fierce Network*, 21 juin 2024, disponible sur : www.fierce-network.com.

57. J. Foust, « SpaceX to Deorbit 100 Older Starlink Satellites », *Space News*, février 2024, disponible sur : <https://spacenews.com>.

Starlink est un service de connectivité qui utilise des antennes au sol, également produites par SpaceX afin de fournir un accès à Internet. Les comptes de SpaceX sont privés mais selon son fondateur Elon Musk, en novembre 2023, la situation financière de la constellation était à l'équilibre⁵⁸. Cette affirmation a été corroborée par le vice-président de Starlink Jonathan Hofeller, ainsi que par Bloomberg qui projetait un revenu global de 15 milliards de dollars pour SpaceX en 2024⁵⁹. Ainsi, l'extension des capacités des satellites Starlink pour soutenir des services *Sat-to-Cell* est une stratégie qui repose sur des atouts déjà en place et générateurs de revenus.

En s'appuyant sur ses capacités, SpaceX progresse rapidement vers la mise en place d'offres *Sat-to-Cell* commerciales. Le 22 août 2022⁶⁰, SpaceX annonce une nouvelle offre en partenariat avec T-Mobile aux États-Unis, utilisant des satellites Starlink à destination des smartphones non modifiés grand public, en utilisant une bande de fréquence 4G. Le 3 janvier 2024, un premier lot de six satellites Starlink modifiés est mis en orbite⁶¹. Le service *Sat-to-Cell* pour une application de messagerie grand public est annoncé pour 2024, tandis que huit opérateurs sont pour l'instant partenaires dans différentes nations. SpaceX annonce pour l'instant une extension à de la téléphonie, de l'IoT ainsi que de l'échange de données (soit un accès Internet 4G) d'ici 2025⁶².

L'entreprise est installée en tant que fournisseur d'accès Internet, sans intermédiaire, à partir d'une solution propriétaire. Elle commercialise ses antennes, ses forfaits et gère toute son infrastructure. Dans ce cadre, la firme californienne s'est fortement positionnée sur les technologies *Sat-to-Cell*. En septembre 2024 elle dispose de plus de 150 satellites dédiés au *Sat-to-Cell*⁶³, prévoit de déployer des services d'appels et de données à partir de 2025. Le 27 août 2024, Elon Musk annonce souhaiter déployer gratuitement des capacités d'appel d'urgence par satellite sur l'ensemble de la planète, sous réserve de l'autorisation des gouvernements⁶⁴. L'entreprise californienne est ainsi à surveiller, car elle pourrait être un acteur majeur de l'évolution du *Sat-to-Cell* dans les mois et les années à venir, induisant un risque de monopole.

58. Compte Twitter (X) d'Elon Musk, novembre 2023, disponible sur : <https://twitter.com>.

59. E. Ludlow et G. Tan, « SpaceX Eyes \$15 Billion in 2024 Sales on Starlink Strength », *Bloomberg*, 6 novembre 2023, disponible sur : www.bloomberg.com.

60. « T-Mobile Takes Coverage Above and Beyond with SpaceX », T-mobile, Communiqué de presse, août 2022, disponible sur : www.t-mobile.com.

61. J. Rainbow, « SpaceX Deploys Direct-to-smartphone Satellites in First Launch of 2024 », janvier 2024, disponible sur : <https://spacenews.com>.

62. « Starlink Direct to Cell », *Blog Starlink*, disponible sur : www.starlink.com.

63. Données Celestrack, disponibles sur : <https://celestrak.org>.

64. Compte Twitter (X) d'Elon Musk, 27 août 2024, disponible sur : <https://x.com>.

Progrès des récepteurs terrestres

Un proche cousin de l'Internet des objets

La capacité technique de lier un smartphone non modifié avec une constellation orbitale a nécessité de nombreuses innovations techniques au niveau des terminaux terrestres. Les premières tentatives de téléphonie par satellite en sont un pilier, mais elles s'appuyaient sur des terminaux spécifiques, équipés d'une antenne très encombrante. Les vingt dernières années ont vu la miniaturisation et la généralisation d'autres objets communicants avec des constellations en orbite, notamment *via* les matériels de géopositionnement (uniquement des récepteurs), intégrés dans une multitude d'objets de grande consommation : montres connectées, smartphones, véhicules, etc.

Plus récemment, des communications « montantes » sont devenues possibles entre de petits objets et des satellites. Depuis plus de quarante ans la miniaturisation progressive de ces objets connectés a ouvert la voie au *Sat-to-Cell*. L'exemple le plus connu en France est celui des balises Argos. Développées pour localiser les navigateurs au large, ces dernières ont été progressivement adaptées pour le suivi de nombreuses espèces d'animaux, émettant des messages simples décodés par des satellites puis relayés vers un centre de données. Depuis 2009, les plus petites balises Argos, dotées d'un très fin panneau solaire, d'une batterie et d'une petite antenne, ne pèsent plus que cinq grammes⁶⁵.

Ce progrès sur les émetteurs terrestres a depuis été complété par un volet spatial, marqué par l'intégration de boîtiers Argos sur plusieurs générations de satellites, dont ceux de l'entreprise Kinéis. Son P.-D.G. anticipait ainsi en 2020 des besoins accrus de connectivité des objets⁶⁶. Navires de pêche et de plaisance, sites de forage, lignes à haute tension, agriculture, détection de feux de forêts, les applications s'étendent au fur et à mesure que l'accès à cette technologie est facilité et que ses coûts baissent. La concurrence est déjà forte sur ce marché : outre Kinéis, on peut citer l'entreprise suisse Astrocast ou la constellation chinoise de Geespace (Geely Future Mobility Constellation)⁶⁷. Cette dernière, destinée spécifiquement à l'automobile, fournira des services de positionnement et de connectivité, avec un double objectif de connectivité du véhicule pour de la conduite autonome et de service type *Sat-to-Cell*. Le *Sat-to-Cell* et l'IoT apparaissent

65. C. D, « Balise Argos, la planète mode d'emploi », *Le Figaro*, octobre 2009, disponible sur : www.lefigaro.fr.

66. J. Lepretre, « Kinéis prévoit d'envoyer 25 satellites pour révolutionner l'IoT », BPI France, mars 2024, disponible sur : <https://bigmedia.bpifrance.fr>.

67. « China's Geespace Launches Eleven Low-orbit Satellites to Build Geely Future Mobility Constellation », *Iot Business News*, février 2024, disponible sur : <https://iotbusinessnews.com>.

ainsi connexes dans leur objectif de connecter des objets de plus en plus petits *via* des réseaux satellites.

L'IoT exploite généralement des fréquences à faible bande passante qui ne permettent que d'échanger de faibles quantités de données. Des passerelles apparaissent cependant entre l'IoT et celles du *Sat-to-Cell*, *via* des services appelés « 5G IoT », que plusieurs opérateurs satellitaires commencent à déployer pour desservir des zones ne bénéficiant pas de connectivité⁶⁸.

Les ponts technologiques génèrent également un besoin d'acquérir brevets et compétences. Par exemple l'entreprise américaine Swarm, fondée en 2016 et dédiée à l'IoT, a été rachetée par SpaceX. Elle avait conçu une constellation constituée de nanosatellites de dimensions très réduites (11 x 11 x 3 centimètres), non contrôlables mais pouvant être produits et lancés par grappe. Avec 120 unités en orbite, la start-up avait démontré des liaisons avec des capteurs au sol, avant son rachat en 2021 par SpaceX, ce qui en fait la seule acquisition de l'entreprise d'Elon Musk⁶⁹. Les deux fondateurs de Swarm sont désormais ingénieurs en chef dans le projet Starlink⁷⁰.

Les avancées Sat-to-Cell des smartphones

La présentation de l'Apple iPhone 14 en 2022 a marqué un tournant dans le secteur des smartphones grand public. Apple a dévoilé un partenariat avec la constellation Globalstar pour une application de SOS par satellite, qui consiste à connecter un smartphone hors réseau terrestre à l'aide d'une couverture satellite pour transmettre un message à un serveur d'urgence.

Initialement réservé aux États-Unis et au Canada, ce service gratuit est étendu en 2024 à de nombreux pays européens, ainsi qu'à l'Australie et à la Nouvelle-Zélande⁷¹. Depuis sa mise en place, de nombreux articles ont relayé les sauvetages d'utilisateurs grâce à cette nouvelle fonction : randonneurs perdus, travailleur pris dans un blizzard ou une famille isolée lors d'un épisode de feux de forêts ayant coupé les réseaux terrestres⁷². Pour le grand public, c'est la manifestation la plus visible d'un service *Sat-to-Cell*.

68. A. Hillier, « Satellite IoT for 5G – What's the Story? », *TTP*, 24 avril 2019, disponible sur : www.ttp.com.

69. M. Sheetz, « SpaceX Acquiring Satellite Data Start-up swarm Technologies », *CNBC*, 9 août 2021, disponible sur : www.cnn.com.

70. A. Alamalhodaie, « SpaceX's Acquisition of Swarm Is Paying Off with New Starlink Thrusters », *Techcrunch*, 3 mars 2023, disponible sur : <https://techcrunch.com>.

71. « Use Emergency SOS via Satellite on Your Smartphone », *Support Apple*, mars 2024, disponible sur : <https://support.apple.com>.

72. F. Ion, « Family Escapes Maui Fires Using Apple's Emergency SOS », *Gizmodo*, 10 août 2023, disponible sur : <https://gizmodo.com>.

Pour Apple, l'investissement est conséquent malgré des capacités de financement importantes : pour mettre en place ce service, le constructeur a dû adapter son nouveau téléphone. L'entreprise a également réservé 85 % des capacités de la constellation Globalstar et couvre 95 % du coût de la commande de 17 nouveaux satellites pour étendre les capacités en orbite, soit plus de 300 millions de dollars⁷³. Ces satellites ne seront opérationnels qu'à la fin de l'année 2025 dans le meilleur des cas, ce qui représente également un engagement à moyen terme pour Apple avec Globalstar.

Cette technologie a cependant de nombreuses limites. La liaison elle-même peut prendre plusieurs minutes et ne concerne que l'envoi d'un message sur un format prédéterminé. Par ailleurs, Apple a fait le choix de changer son matériel pour l'adapter à la connexion avec une constellation⁷⁴.

L'annonce de l'iPhone 14 semble avoir créé un élan au sein d'une partie de la concurrence pour disposer de services similaires. En août 2023, le constructeur chinois Huawei a présenté son modèle Mate 60 Pro équipé d'une puce spécifique et d'une adaptation matérielle pour communiquer des messages de type SMS et des appels. L'entreprise se démarque par l'utilisation d'une constellation existante de satellites chinois Tiantong-1, située en orbite géostationnaire et couvrant en particulier la région Asie-Pacifique⁷⁵.

En janvier 2023, le fabricant de puces électroniques Qualcomm a annoncé un partenariat avec la constellation Iridium, visant à créer une puce permettant d'offrir un service de messagerie d'urgence, mais aussi d'envoi de textes courts type SMS hors réseau terrestre⁷⁶. Onze mois après cette annonce, le partenariat est arrêté malgré des démonstrations concluantes, car les fabricants de smartphones n'ont pas choisi d'inclure cette technologie au sein de leurs appareils⁷⁷. Une décision qui ne relève pas nécessairement d'un besoin inexistant, mais qui repose plutôt sur d'autres démonstrations technologiques de *Sat-to-Cell* avec des smartphones sans puce ou antenne spécifique, conformes aux derniers standards de la 3GPP⁷⁸. Les dernières versions du système d'exploitation Android et iOS

73. J. Foust, « Apple to Be Largest User of Globalstar's Satellite Network for iPhone Messaging », septembre 2022, disponible sur : <https://spacenews.com>.

74. D'autres constructeurs contournent la difficulté inhérente à intégrer des fonctionnalités matérielles pour se connecter à des réseaux satellitaires, en vendant des boîtiers indépendants connectés en Bluetooth avec lesquels un abonnement mensuel permet à l'utilisateur d'envoyer des messages par satellite de façon ou d'activer, comme sur l'appareil d'Apple, un message de secours préformaté. C'est le cas du boîtier Defy Satellite Link de Motorola.

75. « Huawei Mate 60 Pro Is the World's First Satellite Calling Phone », Huawei, 29 août 2023, disponible sur : www.huaweicentral.com.

76. « Qualcomm Introduces Snapdragon Satellite, the World's First Satellite-Based Solution Capable of Supporting Two-Way Messaging for Premium Smartphones and Beyond », Qualcomm, Communiqué de presse, 5 janvier 2023, disponible sur : www.qualcomm.com.

77. M. Sheetz, « Iridium, Qualcomm End Satellite-to-phone Partnership », CNBC, 9 novembre 2023, disponible sur : www.cnbc.com.

78. « Release 17 », 3GPP, mars 2021, disponible sur : www.3gpp.org.

semblent par ailleurs montrer que la fonction *Sat-to-Cell* devrait devenir de plus en plus répandue sur ces téléphones⁷⁹.

Les évolutions des standards et de la réglementation

Le 3GPP, principal consortium industriel chargé de définir les standards de télécommunication mobiles, inclut les satellites dans ses dernières publications⁸⁰. Qualifiés de NTN (Non-Terrestrial Networks), ces services sont officiellement inscrits dans la feuille de route des développements technologiques des opérateurs de télécommunication. D'abord déployés de façon limitée dans le cadre de la 5G, ils pourraient représenter une infrastructure critique de la 6G. Ces standards ne constituent pas une réglementation, mais expriment les objectifs partagés par la majorité des opérateurs de télécommunication dans le monde et ont un impact direct sur les réglementations adoptées dans le cadre de l'Union internationale des télécommunications (UIT)⁸¹. Il semble désormais exister un consensus sur l'importance des satellites dans les futurs réseaux de télécommunication⁸².

Un tournant réglementaire a eu lieu en mars 2024 quand la FCC, agence de régulation des télécommunications américaines, a approuvé un nouveau cadre réglementaire intitulé « couverture supplémentaire depuis l'espace⁸³ ». Cette réglementation permet à des opérateurs de services spatiaux de se servir, à titre expérimental, de fréquences réservées en principe à des opérateurs terrestres. Les opérateurs spatiaux seraient cependant obligés de cesser leurs opérations en cas d'interférence avec des services terrestres. L'objectif affiché de ces nouvelles règles est de supprimer les zones blanches et de permettre la disponibilité de services d'urgence dans des zones non couvertes par des services satellitaires⁸⁴. Les entreprises qui souhaiteraient bénéficier de ce type de services sont sommées de demander l'autorisation à la FCC et prouver l'absence d'interférences avec les réseaux terrestres. Ce règlement est apparu comme un signal encourageant pour plusieurs start-ups encore au stade de la démonstration.

79. M. Rahman, « Android 15 Might Let You Send Text Messages Via Satellite », Android Authority, mars 2024, disponible sur : www.androidauthority.com.

80. « Release 17 », 3GPP, mars 2021, disponible sur : www.3gpp.org.

81. L'Union internationale des télécommunications est l'organisme chargé d'harmoniser les fréquences et de coordonner les utilisations du spectre afin d'éviter les interférences nuisibles. Elle se réunit tous les trois à quatre ans au sein de la Conférence mondiale des radiocommunications, au cours desquelles les nouvelles mesures d'harmonisation sont décidées.

82. Entretien de recherche avec un spécialiste des télécommunications et de l'industrie spatiale, Ifri, 1^{er} août 2024.

83. J. Rainbow, « FCC Approves Direct-to-smartphone Regulatory Framework », *Space News*, 14 mars 2024, disponible sur : <https://spacenews.com>.

84. « Single Network Futures: Supplemental Coverage from Space », Federal Communications Commission, 15 mars 2024, disponible sur : www.fcc.gov.

Dans ce règlement, la FCC exprime sa volonté d'harmoniser les réglementations internationales en faveur du *Sat-to-Cell* dans le cadre de l'UIT. La FCC propose ainsi d'inscrire à l'agenda de la prochaine Conférence mondiale des radiocommunications⁸⁵ qui se tiendra en 2027, le sujet de l'allocation des bandes de fréquence pour le *Sat-to-Cell*⁸⁶.

85. Les Conférences mondiales des radiocommunications qui ont lieu tous les trois ou quatre ans ont pour objectif de réviser les réglementations internationales sur les communications pour coordonner l'usage des fréquences. Elles sont organisées par l'Union internationale des télécommunications, agence des Nations unies spécialisée dans les technologies de l'information et de la communication.

86. FCC, *op. cit.* p. 24-28.

Les perspectives incertaines du *Sat-to-Cell*

Une technologie encore balbutiante

Bien que les démonstrations publiques de 2023 et 2024 aient confirmé ses performances théoriques, le *Sat-to-Cell* reste aujourd'hui une technologie rudimentaire. Les offres les plus abouties en 2024 sont particulièrement modestes, puisqu'il s'agit de messageries d'urgence préformatées ou de textes au format SMS.

Le temps d'envoi pour un message peut atteindre voire dépasser plusieurs minutes, la quantité de données envoyée ou reçue (hors démonstrations) est très faible. La clientèle est encore une niche, à savoir des personnes non équipées de matériel spécialisé, qui seraient amenées à appeler les secours ou contacter leurs proches dans une situation d'urgence en zone blanche. Les clients souhaitant véritablement une capacité de téléphonie par satellite, comme les marins ou les militaires, continuent de s'équiper d'un matériel spécialisé. À terme, le niveau de performance que pourra atteindre le *Sat-to-Cell* est inconnu.

Outre ses performances modestes, il existe des limitations physiques qui complexifient la mise en place de cette technologie. Si les constellations ne souffrent pas de la latence si préjudiciable aux satellites géostationnaires, la rotation des satellites autour de la Terre induit un effet Doppler⁸⁷. Négligeable dans le cadre de réseaux terrestres, cet effet rend complexe la connexion à des téléphones standards. Cela nécessite la mise en place de logiciels conçus pour faire croire au téléphone qu'il s'adresse à une antenne de téléphonie terrestre, beaucoup plus proche qu'un satellite en orbite à 500 km⁸⁸. La plupart des entreprises de *Sat-to-Cell* affirment avoir surmonté ce problème.

La *Sat-to-Cell* souffre cependant toujours de problèmes de connexion dans les bâtiments, sous un couvert végétal ou en cas de temps perturbé. De plus, un téléphone portable connecté à un satellite doit augmenter sa puissance d'émission, ce qui peut avoir des conséquences sur la durée de vie

87. L'effet Doppler est un phénomène qui se produit lorsqu'une source de vibration ou de rayonnement (sons, lumière, ondes radio, etc.) est en mouvement par rapport à l'observateur. Avec les constellations, ce phénomène est exacerbé par la vitesse relative entre le satellite et le récepteur (28 000 km/h) et par les hautes fréquences utilisées pour la communication (bandes Ku et Ka, voire bandes Q ou V).

88. L. Bernstein, « Outsmarting Smartphones with Cell Towers in Space », Kratos Defense, 26 juillet 2022, disponible sur : www.kratosdefense.com.

de sa batterie. À la suite de tests, l'entreprise AST SpaceMobile a indiqué que ces effets étaient cependant négligeables⁸⁹.

Risque d'interférences avec les opérateurs terrestres

Depuis plus de deux décennies, les opérateurs de téléphonie qu'ils soient privés ou étatiques disposent à travers leurs réseaux d'antennes terrestres d'un service qu'ils sont les seuls à pouvoir offrir. Pour la messagerie, la téléphonie puis la connectivité, ils régissent l'accès de leurs clients à travers le réseau terrestre, y compris en France puisque les quatre opérateurs majeurs de téléphonie sont aussi ceux fournissant des forfaits Internet.

Toutefois depuis l'arrivée sur le marché de Starlink, un nouveau paysage se dessine. Auparavant, l'usage de liaisons satellitaires était surtout envisagé pour lutter contre les zones blanches relativement peu étendues, mais ces constellations ouvrent désormais la possibilité de connecter des régions entières non liées au réseau fibré, ainsi que les océans et les pôles. Lors de la mise en place des normes internationales liées au standard 5G, ainsi que lors de l'adoption du règlement de la FCC, les entreprises des domaines terrestre et spatial avaient fait valoir leurs arguments au cours d'échanges parfois houleux pour disposer de bandes de fréquences ou les partager⁹⁰.

Certains y voient l'opportunité de gagner des parts de marché *via* des partenariats, comme c'est le cas avec Verizon, T-Mobile ou Vodafone. Les démonstrations technologiques n'étant pas terminées, leur objectif est d'être le premier entrant sur ce marché. Ils souhaitent être capables de proposer un service inédit, qui trouvera son public et que la concurrence ne pourra pas immédiatement rattraper. La pertinence dans le choix de l'opérateur satellite et dans les termes de l'accord est cruciale. Un opérateur engagé avec la future constellation Kuiper, par exemple, ne pourrait pas proposer une offre *Sat-to-Cell* avant 2025 *a minima*. De même, il existe peu de pistes d'évolutions pour le service d'Apple avec les satellites Globalstar tant que de nouvelles unités ne sont pas mises en orbite.

Si le nouveau règlement de la FCC sur le *Sat-to-Cell* a été salué par les start-ups, il n'en est pas de même pour les opérateurs historiques. Ceux-ci ont exprimé des réticences à la mise en place de ce nouveau règlement : DISH, Echostar Global, Hughes Network et Echostar Mobile Limited ont envoyé une réponse commune à la FCC l'exhortant à la prudence, en

89. K. L. Jones et A. L. Allison, « The Great Convergence and the Future of Satellite-enabled Direct-to-device », Aerospace Center for Space Policy and Strategy, septembre 2023, disponible sur : <https://csps.aerospace.org>.

90. M. Homes, « “Ludicrous and Ridiculous” – CEOs React to Intelsat’s 5G Proposal », *Via Satellite*, 10 octobre 2017, disponible sur : www.satellitetoday.com.

particulier sur la définition des fréquences à allouer au service *Sat-to-Cell*. C'est également le cas de la start-up Omnispace, qui affirme que le règlement de la FCC est en contradiction avec les principes adoptés internationalement auprès de l'ITU et que le risque d'interférence est très important, notamment pour sa propre solution *Sat-to-Cell*. Les opérateurs TerreStar, DISH Networks et AT&T se sont joints à ces inquiétudes.

Les opérateurs de télécommunications terrestres peuvent donc légitimement appréhender l'arrivée des nouveaux services *Sat-to-Cell*. Il s'agit de systèmes dont ils ne sont ni propriétaires, ni exploitants. S'ils sont courtisés aujourd'hui par des opérateurs de satellite, c'est parce qu'ils détiennent les droits sur des infrastructures et surtout sur les bandes de fréquences. Il est ainsi possible de distinguer les nouveaux opérateurs satellites souhaitant opérer leurs services sur des bandes de fréquences dédiées aux satellites, et ceux qui souhaitent utiliser les fréquences dédiées aux infrastructures terrestres. Le régime d'allocation du spectre électromagnétique devrait donc, au cours des prochaines années, devenir le terrain de luttes d'influence entre les opérateurs historiques et les nouveaux entrants.

Incertitudes de marché

Les revenus générés par la communication par satellite s'établissent à 110 milliards de dollars en 2022. Cependant, le secteur des télécommunications satellitaires est en décroissance depuis plusieurs années, en raison du déclin de la télévision par satellite, qui constitue encore la majorité de son chiffre d'affaires : sans elle, les revenus du secteur de la télécommunication par satellite ne sont que de 28 milliards de dollars⁹¹. Le secteur cherche donc un relai de croissance, et à ce titre la connectivité par satellite (qui inclut le *Sat-to-Cell*) apparaît prometteuse. L'entreprise Northern Sky Research estime qu'à l'horizon 2030, le marché *Direct-to-Device* pourrait représenter près de 70 milliards de dollars en revenus cumulés sur dix ans. Il représente en effet une convergence entre le marché des télécommunications satellitaires qui vaut 110 milliards de dollars et le marché des télécommunications terrestres valant plus de 1 000 milliards de dollars⁹².

Ce marché émergent présente des opportunités, mais aussi des risques⁹³. L'échec de l'accord entre Qualcomm et Iridium⁹⁴ est significatif : si les constructeurs et intégrateurs de smartphones n'ont pas souhaité

91. K. L. Jones et A. L. Allison, « The Great Convergence and the Future of Satellite-enabled Direct-to-device », *op. cit.*

92. *Ibid.*

93. J. Foust, « A Trillion-dollar Space Industry Will Require New Markets », *Space News*, 5 juillet 2018, disponible sur : <https://spacenews.com>.

94. N. Flaherty, « Qualcomm annule son accord avec Iridium sur les puces pour satellites », *Ecinews*, 12 novembre 2023, disponible sur : <https://www.ecinews.fr>.

investir dans cette gamme de puces électroniques, ce choix a pu être motivé soit par des coûts élevés impossibles à répercuter sur les consommateurs, soit par une spécificité matérielle que les constructeurs n'ont pu justifier au regard des besoins. En d'autres termes, si le *Sat-to-Cell* requiert pour les fabricants de smartphones que leurs appareils soient modifiés spécifiquement pour permettre ces connexions, il leur faudra un retour sur investissement. D'où l'intérêt pour les solutions capables de connecter des appareils mobiles non modifiés.

Le moment charnière pour le *Sat-to-Cell* serait celui d'une utilisation véritablement transparente pour le grand public : cela signifierait être capable de poursuivre l'usage de son smartphone dans une zone avec une couverture 3G ou 4G inexistante⁹⁵. Le *Sat-to-Cell* pourrait faire partie d'un réseau moins dépendant des antennes terrestres, mais en restant une brique technologique parmi d'autres, comme l'est un routeur Wifi par exemple. C'est en étant intégré au sein d'un écosystème de connectivité comprenant les réseaux classiques de téléphonie et les réseaux de connectivité par satellite que le *Sat-to-Cell* pourrait véritablement émerger.

L'adoption par Apple d'une messagerie par satellite, l'évolution actuelle de ces offres et leur expansion annoncée laisse entrevoir une pénétration de marché pour les opérateurs satellites capables de s'associer avec le bon opérateur terrestre, si leur offre est compétitive. Pour l'instant, le marché est hypothétique. L'offre de messagerie d'urgence d'Apple, la plus répandue, est gratuite et ne devrait devenir payante qu'à l'horizon 2025-2026. Les itinérances par satellite les plus attendues, comme celle de Starlink de SpaceX, n'ont pas encore de tarif spécifié. L'étude sur le besoin devra donc être complétée par un suivi attentif des prix et des modèles économiques de ces nouveaux services.

La dernière version du système d'exploitation d'Apple comme celle d'Android contiennent désormais une fonction de messagerie par satellite, et SpaceX indique des projets à l'horizon 2025. Toutes les annonces semblent donc indiquer la disponibilité d'offres *Sat-to-Cell* à court et moyen terme. Malgré de nombreuses incertitudes, le groupe privé Euroconsult a ainsi estimé, dans un rapport publié en novembre 2023 que le marché du *Sat-to-Cell* générerait à lui seul plus d'un milliard de dollars de chiffre d'affaires d'ici 2027, avec plus de 130 millions d'utilisateurs mensuels d'ici 2032⁹⁶.

95. « 5G satellite, accélérer la convergence des réseaux de télécommunication terrestres et satellitaires », Capgemini, disponible sur : www.capgemini.com.

96. « Direct-to-phone Satellite Connectivity Expected to Revolutionize the Satellite Communications Industry, Emerging as a Billion-dollar Market by 2027 », Euroconsult, Communiqué de presse, novembre 2023, disponible sur : www.euroconsult-ec.com.

Conclusion

Le *Sat-to-Cell* est un nouveau type de services satellitaires dont les perspectives apparaissent inédites. Si l'idée de relier des téléphones à des satellites n'est pas neuve, seules des évolutions technologiques récentes permettent aujourd'hui d'envisager leur généralisation. Ces progrès ont principalement eu lieu dans l'industrie spatiale, désormais capable d'industrialiser la construction de lanceurs et de satellites, offrant de meilleurs services pour un coût plus modeste. Dans le paysage concurrentiel qui se dessine, l'entreprise SpaceX semble tenir un rôle à part en raison de sa forte intégration verticale, son accès à l'espace à prix coûtant et sa capacité de prototypage rapide.

Compte tenu de l'offre telle qu'elle existe en 2024, certains aspects n'ont pas été abordés dans cette étude car le *Sat-to-Cell* soulève avec toutes les constellations de connectivité de nombreux défis, comme leur forte visibilité dans le ciel nocturne, qui suscite des protestations de la part des astronomes, ou encore leur vulnérabilité aux collisions en orbite. Par effet de cascade, celles-ci peuvent représenter un danger sur un plan orbital à une altitude donnée. Des risques qui augmentent, en particulier pour des constellations comptant plusieurs milliers d'unités et qui peuvent, compte tenu des maillages et des altitudes concernées (généralement moins de 550 km d'altitude) impacter tous les opérateurs en orbite basse⁹⁷.

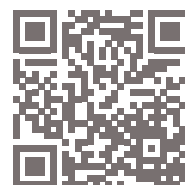
Le succès du *Sat-to-Cell* pourrait dépendre de nombreux facteurs, en particulier son cadre réglementaire et les partenariats avec les opérateurs terrestres. Son modèle économique pose encore de nombreuses questions, mais les standards internationaux et la réglementation évoluent pour favoriser son éclosion. Ainsi la mise à jour iOS18 dévoilée par Apple en septembre 2024 inclut désormais un service de messagerie par satellite qui n'est plus limité aux seuls messages d'urgence. Ces nouveaux services pourraient constituer un complément aux réseaux mobiles terrestres, voire représenter une concurrence dans certains territoires.

Il existe aujourd'hui une incertitude sur l'impact de cette technologie sur la géopolitique des réseaux de télécommunication. Si le contrôle exercé par certains États sur l'accès à Internet pourrait être remis en cause par un tel service, l'efficacité de contre-mesures face au *Sat-to-Cell* pourrait rendre ces effets négligeables. Les militaires s'intéressent cependant à cette capacité, qui présente pour eux l'intérêt de fournir un moyen de

97. Wei Zhand *et al.*, « Self-induced Collision Risk of the Starlink Constellation Based on Long-term Orbital Evolution Analysis », *Astrodynamics*, août 2023.

communication supplémentaire, offrant plus de résilience à leurs infrastructures de communication.

Les développements du *Sat-to-Cell* sont actuellement dominés par les Américains et à un niveau moindre par la Chine. Les développements européens sont encore très limités, malgré l'intérêt représenté par de telles solutions. Elles offrent en effet la possibilité de développer de nouveaux types de services publics : la mise en place d'un service d'urgence *Sat-to-Cell* pourrait par exemple répondre à des besoins déjà identifiés en Europe. Il faudra également éviter que ce type de services ne devienne le monopole d'entreprises étrangères, au risque d'une perte de souveraineté. L'expérimentation de capacités *Sat-to-Cell* au sein de la constellation IRIS² apparaît comme un moyen de mieux comprendre ces technologies, d'anticiper leurs potentiels impacts et d'éviter que l'Europe reste à l'écart d'un marché hypothétique mais prometteur.



27 rue de la Procession 75740 Paris cedex 15 – France

Ifri.org