

# La révolution du spatial ou la communication des objets partout dans le monde

Par **Alexandre TISSERANT**

Président de Kinéis

Quand on parle d'Internet des objets (IdO, ou IoT pour "Internet of Things"), on en vient rapidement à parler de milliards d'objets connectés. Beaucoup d'études de marchés, d'analyses prospectives promettent des dizaines de milliards d'objets connectés dans les cinq à dix ans.

Pour autant qu'elle se réalise effectivement, cette perspective recouvre des réalités technologiques et marchés très diverses. Les cas d'usages sont très variés, avec des besoins clients aux paramètres usuellement sources de discussions et de compromis : taille et forme de l'objet, nombre et nature des capteurs embarqués, niveau d'autonomie énergétique, fiabilité dans le temps, résistance physique (étanchéité, chocs, température...), volume de données à transmettre, intégration dans une chaîne de traitement de données plus large, et, bien sûr, prix de l'objet et sa connectivité.

Les paramètres de qualité et d'étendue de la couverture sont souvent passés sous silence, de même que la disponibilité de la même solution technologique sur l'entièreté de la surface du globe. Ou, plutôt, ils sont pris comme une donnée d'entrée avec laquelle il faut composer : tel réseau fonctionnera sur telle zone, sur telle fréquence, et les cas d'usages devront s'y adapter.

Désormais, les technologies spatiales permettent de révolutionner cette approche, et d'offrir une connectivité en tout point similaire sur le globe, d'un pôle à un autre, du milieu des océans à celui des déserts.

Et la plus-value est tout à fait considérable : aujourd'hui, seuls 15 % environ de la surface du globe sont couverts par des réseaux bas débit terrestres. Cela permet bien sûr de connecter beaucoup d'objets, de la *smart city* aux flux logistiques locaux par exemple. Mais de nombreux cas d'usages sont encore trop limités par cette faible couverture – qui, si elle continuera de s'améliorer, ne pourra jamais couvrir la totalité des territoires compte tenu des investissements nécessaires.

Cette couverture terrestre limitée concerne typiquement les applications maritimes, où, par définition, passé les zones côtières, la connectivité disparaît. C'est le cas également dans les grandes étendues très peu peuplées, en Amérique du Nord, du Sud, en Afrique, en Australie, ou même encore en Asie. Parfois même en Europe, des zones non connectées empêchent des cas d'usages d'émerger : la fiabilité requise pour le suivi quasi permanent de flux logistiques, d'actifs industriels stratégiques, sur route, rail ou mer, ne peut y être atteinte.. L'agriculture connectée est également très demandeuse de ces nouvelles solutions.

## **Ce qu'est et permet la connectivité satellitaire IoT – et ce qu'elle n'est pas**

Le paysage de la connectivité satellitaire, si elle apporte son lot de simplicités attrayantes, n'échappe pas à la diversité des technologies et des offres :

- La couverture d'abord : usuellement 100 % globale pour les solutions spatiales vraiment dédiées à l'IoT, comme Kinéis ; certains réseaux, minoritaires cependant, peuvent ne pas couvrir les très hautes latitudes, de par la géométrie de la constellation en place. D'autres ont des autorisations

d'exploitation limitées sur certaines régions du globe. Il convient d'en avoir connaissance, car la couverture globale est pourtant souvent l'argument principal pour passer à la connectivité spatiale.

- L'autonomie ensuite : la différence majeure de la connectivité IoT par rapport aux autres solutions de connectivité reste sa très faible consommation d'énergie. C'est le cas aussi bien dans le domaine terrestre que satellitaire. Malgré tout, avec des satellites situés en orbite basse, entre 500 et 800 km d'altitude en général, la puissance nécessaire pour communiquer avec le satellite est légèrement supérieure. Ainsi, certains réseaux ne fonctionnent qu'avec des terminaux nécessitant une alimentation en énergie, qu'elle soit filaire externe (alimentation électrique), manuelle (piles) ou autonome (panneaux solaires, récupération d'énergie de chaleur ou de mouvement). À l'inverse, d'autres réseaux (comme celui de Kinéis) permettent d'avoir des terminaux qui, avec une simple batterie lithium, peuvent durer de plusieurs mois à plusieurs années.
- Puis la fréquence sur laquelle est opérée la connexion au satellite. Les réseaux terrestres IoT LPWAN (Low Power Wide Area Network) fonctionnent par exemple essentiellement sur les bandes dites ISM (industrielle, scientifique et médicale), aux alentours de 868 MHz (en Europe). Les réseaux satellitaires utilisent des fréquences plus variées, depuis le VHF (Very High Frequency) aux alentours de 156 MHz jusqu'à des bandes au-delà de 2 GHz. Ce point est crucial à plusieurs égards : d'abord, la fréquence détermine les autorisations à obtenir dans les différents pays (plus ou moins facilement, plus ou moins payantes) ; ensuite, à débit de données



Figure 1 : Connexion directe aux satellites (Source : Kinéis)

égal, plus la fréquence est élevée, plus l'énergie nécessaire pour transmettre est importante et moins le signal est robuste à l'environnement (intempéries, feuillages...); enfin, plus la fréquence est élevée, plus la taille de l'antenne nécessaire pour émettre est petite – ce qui parfois est un point important quand les exigences sur la forme et le volume de l'objet sont fortes.

- Également, la modalité de connexion au satellite : directe ou par l'intermédiaire d'un relais terrestre local (*gateway*). L'avantage d'une connectivité directe (le terminal dialogue de manière autonome directement avec les satellites) est bien sûr son indépendance et sa résilience (un terminal qui ne fonctionne plus n'affecte pas les autres). À l'inverse, une connexion *via* un relais terrestre peut favoriser une simplicité de déploiement dans certains cas : le relais va connecter des dizaines ou centaines de terminaux déjà déployés à l'aide d'une connectivité terrestre IoT existante (LoRa – pour Long Range – par exemple), et va ensuite transmettre ces données aux satellites. Cela permet d'utiliser des terminaux disponibles sur étagère, mais le relais, de par le trafic supporté, va nécessiter d'être alimenté en énergie, aura par définition un rayon de couverture limité et souvent fixe, et constituera un élément critique du dispositif (si le relais tombe, les centaines d'objets qui y sont connectés sont perdus).
- Enfin, le caractère uni ou bidirectionnel de la connectivité. Certains systèmes ne permettent que de la collecte de données pure et simple : un objet émet un signal que le satellite récupère et retransmet au sol pour livraison au client. D'autres, en revanche, permettent de communiquer en retour à l'objet, en *unicast* ou *multicast*, pour envoyer soit des informations métiers (une alerte météo pour un petit pêcheur isolé en haute mer, une commande d'ouverture de vanne pour un réseau d'eau ou de gaz), soit des informations techniques (éphémérides des satellites, statut de la constellation, commande de changement de stratégie d'émission...).

Plusieurs dimensions sont en revanche communes à tous les réseaux à constellations de satellites en orbite basse.

- Tout d'abord, le délai de revisite : les satellites en orbite basse sont des satellites dits défilants, c'est-à-dire qu'ils tournent autour de la Terre sur des orbites qui nécessitent une haute vitesse (sur des orbites polaires, ils font typiquement le tour de la Terre en 1 heure 30 environ). Cela signifie que, sur un point donné à la surface du globe, un satellite se lève à l'horizon, défile au-dessus du point et disparaît sous un autre horizon en 10 à 15 minutes environ. Le satellite suivant n'est pas toujours directement proche, et le délai moyen d'attente de ce satellite suivant, ce

délai de revisite, constitue un paramètre à avoir en tête. Typiquement, certaines applications ont une tolérance forte à ce délai : un scientifique qui suivra une tortue marine ou un faucon sur une dizaine d'années se satisfera très bien de quelques points dans la journée. À l'inverse, une autorité de pêche voulant s'assurer que des bateaux immatriculés ne vont pas pêcher dans des zones interdites demandera un délai de revisite qui ne dépasse pas 15 minutes. Au bout du spectre, on trouvera des applications critiques de sûreté (alertes intrusion, explosion, etc.) qui demanderont du temps réel, et donc un temps de revisite nul. Évidemment, dans un réseau satellitaire où les satellites sont visibles par intermittence, l'objet connecté inclut (grâce au modem fourni par l'opérateur de ce réseau) une fonction de prévision de passage des satellites, afin de n'émettre que lorsque ceux-ci sont en visibilité.

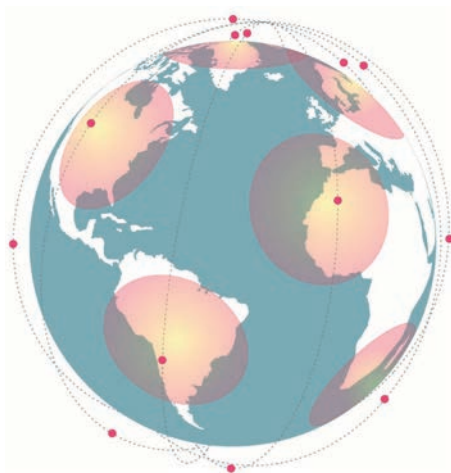


Figure 2 : Exemple de constellation satellitaire en orbite basse, avec successions des couvertures de chaque satellite (Source : Kinéis)

- Ensuite, la performance de transmission selon le point d'émission. Cela peut paraître évident, mais il peut être utile de rappeler que la connectivité satellitaire fonctionnera très bien dans des environnements en extérieur, dégagés, avec un accès au ciel le plus large possible et idéalement jusqu'à l'horizon. Ainsi, l'IoT par satellite fonctionnera très bien en mer, ou dans des zones avec peu de relief, qu'il soit naturel ou construit (campagnes, montagnes pas trop abruptes). La connectivité satellitaire ne sera en revanche pas un bon choix pour, entre autres, de la télé-relève de compteurs situés en sous-sol (à moins d'ajouter un relais externe), des objets situés à l'intérieur de bâtiments ou en plein centre-ville où des immeubles de grande hauteur empêcheront d'avoir un accès suffisamment large aux satellites.

C'est là que l'hybridation avec des réseaux terrestres devient tout à fait pertinente : encore à ses débuts en termes de déploiement, mais déjà technologiquement fonctionnelle, la technologie d'hybridation consiste à embarquer, dans un même terminal, un modem pour la connectivité terrestre (comme LoRaWAN) et un autre pour la connectivité satellitaire (comme Kinéis). Un algorithme relativement simple permettra de se connecter au réseau terrestre lorsque celui-ci est détecté à portée, typiquement en zone urbaine ou en intérieur, et de se connecter au réseau satellitaire dès que le terminal est hors de couverture terrestre. On crée alors la possibilité d'avoir des objets connectés qui fonctionnent de manière transparente quel que soit l'endroit où ils se trouvent sur le globe : cet objectif d'être une solution simple, ou "*no-brainer*", est très important d'un point de vue de l'adoption client.

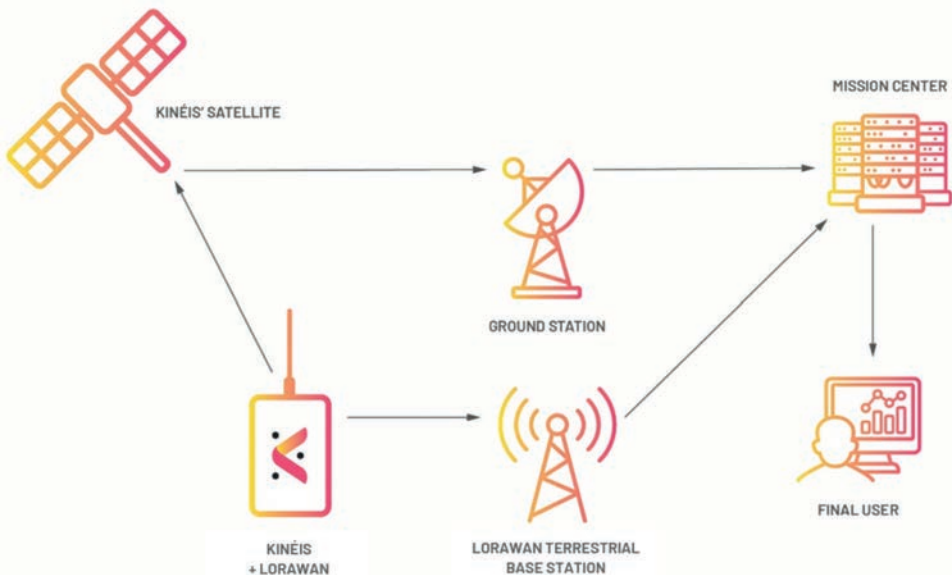


Figure 3 : Schéma de transmission des données avec une connectivité hybride LoRaWan + Kinéis (Source : Kinéis)

- Une dernière caractéristique intéressante avec les réseaux satellitaires en orbite basse est que, grâce précisément à leur caractère défilant très rapide, le signal perçu des terminaux induit un effet Doppler lorsque plusieurs messages sont envoyés d'affilée. Cet effet Doppler permet, à partir de 3 messages successifs, de calculer une position du terminal avec une précision de l'ordre de 150 mètres. Le point important est que ce calcul se fait sans avoir besoin de puce GNSS<sup>(1)</sup> dans le terminal, souvent très consommatrice en énergie. La précision de localisation est donc un compromis à faire avec l'autonomie du terminal. Là encore, cela dépend du cas d'usage :

(1) Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites, par exemple une puce GPS ou Galileo.

une précision de 150 mètres est largement suffisante pour suivre et étudier les migrations d'une cigogne sur 10 ans (et permettra de gagner de précieux milliwattheures d'énergie) ; à l'inverse, détecter sur quel quai a été déchargé un container peut requérir une position plus fine, et donc l'intégration d'une puce GNSS dans l'objet connecté au container.

## **Enjeux de l'IoT spatial**

Au-delà des enjeux techniques et de ciblage pour le client, de nombreux enjeux traversent les réseaux satellitaires dédiés à l'IoT spatial.

Tout d'abord, celui du modèle économique. Malgré la baisse drastique des coûts d'accès à l'espace et la miniaturisation extrême des satellites (les plus petits satellites lancés pour l'IoT<sup>(2)</sup> font 10 cm x 10 cm x 2,5 cm..., on est très loin des satellites géostationnaires de la taille d'un bus), les investissements nécessaires à la construction d'un tel réseau sont considérables. Kinéis a par exemple dû lever 100 millions d'euros pour financer l'intégralité de sa constellation de 25 nano-satellites (d'une taille repliée de l'ordre de 20 cm x 20 cm x 40 cm pour 30 kg environ), qui fournira une couverture en quasi temps réel (délai de revisite en-dessous de 15 minutes). Les marchés sont importants, et la demande est forte, mais le cycle commercial est long : entre le premier contact prospect et le déploiement de quelques milliers d'unités sur le terrain s'écoule une période de 18 mois. En effet, il est rare qu'un objet connecté pour un cas d'usage donné puisse être réutilisé pour un autre ; ainsi, au-delà des nécessaires phases de conviction, de tests et de prototypage qu'il faut accompagner, l'industrialisation des objets adaptés au cas d'usage d'un client peut s'avérer longue. Il importe donc de bien maîtriser des verticales marchés particulières et les sujets de fabrication d'objets (avec l'aide de partenaires par exemple), de sorte de pouvoir reproduire au maximum un cas d'usage, et éviter de perdre trop de temps et de ressources à en développer d'autres.

Ensuite demeure toujours une question éthique, pour le coup pas forcément spécifique à l'IoT spatial : ces technologies permettent de suivre et surveiller des objets, mais techniquement rien n'empêche de suivre des personnes, avec ou sans leur consentement. Par ailleurs, des informations récoltées par les objets donnent souvent des renseignements sur des personnes (bracelet connecté de santé, données de consommation de fluides divers, déplacements, etc.). Dès lors, au-delà de la réglementation à respecter comme le RGPD (Règlement général sur la protection des données), il convient de vérifier l'éthique et l'utilité sociale de chaque projet pour en assurer son acceptabilité, et *in fine* sa rentabilité économique.

Dans le même ordre, la question écologique commence, à juste titre, à prendre de l'importance dans ce secteur. D'une part, la production et le lancement de satellites ainsi que le déploiement d'objets connectés induisent des émissions de GES (gaz à effet de serre) qu'il convient de quantifier, pour garantir ensuite qu'elles sont compensées au maximum par des projets d'IoT qui viendront réduire l'impact carbone d'un client (détection de fuites, optimisation des trajets, détection de feux de forêts...). D'autre part, la pollution spatiale deviendra rapidement problématique si aucune régulation internationale n'est établie. De la même manière qu'une organisation a dû être mise en oeuvre pour réguler le trafic aérien, et ainsi éviter les collisions et maîtriser les nuisances induites, nous n'échapperons pas à la mise en place d'une structure intergouvernementale pour éviter que l'orbite basse terrestre ne devienne un cimetière de débris spatiaux empêchant tout nouveau déploiement et toute observation astronomique. Sur ce dernier point, des acteurs privés

---

(2) Il s'agit des satellites de l'entreprise américaine Swarm, récemment rachetée par SpaceX.

commencent à affirmer qu'une régulation est nécessaire compte tenu des dizaines de milliers de satellites annoncés pour être lancés<sup>(3)</sup>, et même des cabinets de conseil comme McKinsey se penchent sur la question<sup>(4)</sup>.

Enfin, il ne faut pas oublier l'adage partagé par tous les ingénieurs du domaine spatial : "*Space is hard*". Malgré l'apparente facilité avec laquelle les nouveaux projets spatiaux se montent, nombre d'entre eux ne voient jamais le jour ou simplement ne sont pas au niveau des performances attendues<sup>(5)</sup>. Kinéis, avec son héritage spatial du CNES (Centre national d'études spatiales) et ses huit satellites déjà en orbite et fonctionnels, dispose pour le coup d'atouts importants et solides dans la compétition internationale des nouvelles entreprises du secteur spatial (*NewSpace*).

---

(3) [https://www.spaceintelreport.com/viasat-spacex-starlink-threat-to-leo-sustainability-is-casus-belli-for-us-were-asking-spacefaring-nations-to-deny-market-access/?mc\\_cid=ff7baa4bd7&mc\\_eid=f929a87092](https://www.spaceintelreport.com/viasat-spacex-starlink-threat-to-leo-sustainability-is-casus-belli-for-us-were-asking-spacefaring-nations-to-deny-market-access/?mc_cid=ff7baa4bd7&mc_eid=f929a87092)

(4) <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/look-out-below-what-will-happen-to-the-space-debris-in-orbit>

(5) <https://spacenews.com/hiber-abandons-plans-for-iot-satellite-constellation/>