

L'internet des objets satellitaire, pour une connectivité planétaire

Basile PLUS-GOURDON¹ - Vincent DESLANDES²

Édité le
27/01/2026

école
normale
supérieure
paris-saclay

¹ ENS Paris-Saclay, ² Kinéis

Cette ressource fait partie du N° 118 de La Revue 3EI du 1^{er} trimestre 2026.

L'Internet des Objets (IoT) satellitaire représente une évolution majeure dans la connectivité globale, permettant de connecter des millions d'objets dans les zones non couvertes par les réseaux terrestres.

Cet article présente les enjeux techniques et technologiques de l'IoT satellitaire à travers l'exemple de Kinéis, opérateur français. Nous détaillons l'architecture réseau, les choix de modulation, et les perspectives d'évolution vers une constellation hybride de satellites en orbite basse (LEO) et géostationnaires (GEO). Cette étude illustre les défis de conception d'un système de communication satellitaire à faible coût et faible consommation pour des applications IoT massives.

1 - Contexte et enjeux

1.1 - Contexte de l'IoT satellitaire

L'explosion du nombre d'objets connectés (plus de 15 milliards prévus d'ici 2030) pose la question de leur connectivité dans les zones non couvertes par les réseaux terrestres : océans, déserts, zones polaires, forêts. Les réseaux satellitaires dédiés à l'IoT émergent comme une solution complémentaire aux infrastructures terrestres LPWAN (Low Power Wide Area Network) telles que LoRaWAN, Sigfox ou NB-IoT.

Parmi les acteurs de ce secteur, Kinéis, entreprise toulousaine créée en 2018, se positionne comme un opérateur innovant issu de l'héritage du système Argos, programme satellitaire historique opérationnel depuis 1978. Avec une constellation de 25 nanosatellites en orbite basse (LEO) entièrement déployée entre juin 2024 et mars 2025, ainsi qu'un réseau de 20 stations sol, Kinéis vise à fournir une connectivité IoT globale, économique et souveraine.

1.2 - Origines et création de Kinéis

La genèse de Kinéis est intrinsèquement liée au système Argos, un programme satellitaire historique. L'entreprise Collecte Localisation Satellites (CLS), filiale du Centre National d'Études Spatiales (CNES) et acteur mondial dans la fourniture de solutions d'observation et de surveillance de la Terre, a joué un rôle pivot dans sa création. Face à la nécessité de moderniser et de pérenniser le service Argos, et dans un contexte où la gestion directe d'un réseau satellitaire pour l'IoT demandait une structure agile et dédiée, la décision fut prise de créer une entité distincte. C'est ainsi qu'est née Kinéis en 2018, reprenant le savoir-faire et l'héritage technologique d'Argos, tout en bénéficiant d'un financement initial significatif de la part de CLS, du CNES et de la BPI. CLS

demeure un actionnaire majeur et un client de Kinéis. LE CNES assure un support technique ainsi qu'une continuité et un transfert de compétences essentiels. Cette filiation garantit à Kinéis une expertise éprouvée dans le domaine des opérations satellitaires et du traitement de données.

1.3 - Le système Argos : un héritage technologique majeur

Le système Argos, opérationnel depuis 1978, représente une collaboration internationale initiée par le CNES, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) américaine et la NASA. Sa mission première a toujours été axée sur l'étude et la protection de l'environnement, ainsi que sur le soutien à la recherche scientifique. Argos a permis de collecter des données environnementales et de localiser (avant même l'arrivée du GPS) des balises autonomes sur l'ensemble du globe, avec une couverture particulièrement efficace des océans et des zones polaires, là où les réseaux terrestres sont inexistantes.

Les applications d'Argos sont variées et emblématiques : suivi de la faune (oiseaux, mammifères marins, poissons), collecte de données pour la météorologie et l'océanographie (bouées dérivantes, flotteurs profileurs), surveillance des activités de pêche, ou encore sécurisation d'événements sportifs extrêmes comme le Vendée Globe (figure 1).



Figure 1 : Les balises ARGOS utilisées pour localiser les navires du Vendée Globe depuis les premières éditions de la course

Technologiquement, le système Argos s'appuie sur l'effet Doppler [1] pour localiser les balises et de pérenniser le service Argos, et dans un contexte où la gestion directe d'un réseau satellitaire pour l'IoT demandait une structure agile et dédiée, la décision fut prise de créer une entité distincte. C'est ainsi qu'est née Kinéis en 2018, reprenant le savoir-faire et l'héritage technologique d'Argos, tout en bénéficiant d'un financement initial significatif de la part de CLS, du CNES et de la BPI. CLS demeure un actionnaire majeur et un client de Kinéis. LE CNES assure un support technique ainsi par le système (localisation inversée par rapport au GPS). Bien que révolutionnaire à son époque, cette méthode offre une précision de localisation de l'ordre de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres, ce qui est souvent insuffisant face aux exigences actuelles de l'IoT. De même, la capacité du système, en termes de nombre de balises/terminaux gérables dans le système, le délai de réception des messages et le manque d'une « voie descendante » des satellites vers les balises (pour l'envoi de données ou l'acquiescement des messages) devenait limitant sur l'utilisation du système. Argos nécessitait donc une modernisation, car bien que robuste et fiable, le système est vieillissant. La nouvelle constellation Kinéis vise à en reprendre la direction.

1.4 - Présentation de l'entreprise

Le rôle de Kinéis en tant qu'opérateur se concentre sur la fourniture du service de connectivité et la gestion de son réseau satellitaire (figure 3). L'entreprise ne gère pas directement le

développement ou la fabrication des équipements utilisateurs finaux (User Equipment - UE) intégrant sa technologie, mais fournit un module (figure 2) permettant au client d'exploiter le réseau. Au même titre que Orange ou SFR, Kinéis facture donc l'utilisation de son réseau à ses clients, mais ne conçoit pas le User Equipment (UE) complet.

Pour faciliter l'intégration de sa solution, Kinéis accompagne activement ses clients. L'accès à son réseau repose sur un protocole de communication propriétaire, optimisé pour les contraintes de faible puissance et de transmission par satellite. Afin de permettre aux développeurs et industriels d'intégrer facilement la connectivité Kinéis dans leurs produits, l'entreprise fournit les principes de conception des UE et d'intégration de la technologie, les composants matériels et des outils de développement. Cela inclut un modem compact et un kit de développement complet (figure 2).

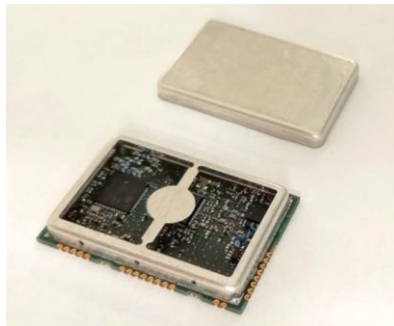


Figure 2 : Module KIM2 fourni par Kinéis aux clients, à intégrer à l'objet connecté (UE)

1.5 - Développement, financement et déploiement de Kinéis

La concrétisation du projet Kinéis a nécessité une levée de fonds substantielle, à la mesure des ambitions de l'entreprise. En 2020, Kinéis a annoncé une levée de fonds de 100 millions d'euros. Parmi les principaux investisseurs, aux côtés de CLS et du CNES, figurent Bpifrance (via le fonds Sociétés de Projets Industriels - SPI), l'Ifremer, Thalès, Hemeria, CELAD, BNP Paribas Développement et Ethias. Ce financement a permis de développer la nouvelle génération de nanosatellites, les stations sol et l'infrastructure de service.

L'entreprise, basée à Toulouse, emploie près d'une centaine de personnes en 2025. Le secteur spatial est caractérisé par des cycles de développement longs et complexes. La constellation Kinéis, composée de 25 nanosatellites en orbite basse, a été entièrement déployée suite au cinquième et dernier lancement effectué par Rocket Lab le 19 février 2025. Cette étape cruciale marque l'achèvement de l'infrastructure spatiale. L'ouverture commerciale complète du service, c'est-à-dire la possibilité pour tous les clients d'accéder aux services de connectivité Kinéis, a eu lieu en juin 2025.

Kinéis s'appuie sur un réseau solide de partenaires industriels et institutionnels, en particulier le CNES et CLS. Pour sa constellation de 25 nanosatellites, Kinéis a de plus collaboré avec Thales Alenia Space (maîtrise d'œuvre et logiciel des charges utiles du satellite), Hemeria (plateformes satellite et intégration) et Syrlinks (matériel des charges utiles). Les modems utiles au contrôle satellite sont fournis par Safran Data Systems, et les lancements ont été opérés par Rocket Lab. Kinéis modernise le service pour les utilisateurs historiques d'Argos (institutions scientifiques, agences gouvernementales) et vise à étendre ses applications à la logistique, l'agriculture de précision et le transport. L'intégralité des investisseurs sont français.

1.6 - Modèle économique de Kinéis

Le modèle économique de Kinéis vise à offrir une connectivité IoT satellitaire accessible et abordable, ciblant quelques euros par an et par objet connecté, ce qui exige une optimisation

drastique des coûts opérationnels et de développement. Kinéis gère directement ses clients, se concentrant sur des projets d'envergure (déploiements supérieurs à 5000 équipements) avec des acteurs institutionnels ou industriels, pour mutualiser les efforts et assurer une qualité de service optimale. Contrairement à des concurrents comme Iridium, Inmarsat, Orbcomm ou Starlink, Kinéis se positionne clairement sur le segment "low power, low cost" pour démocratiser la connectivité satellitaire massive.

Tableau 1 : Gamme de prix d'un forfait d'utilisation du réseau Kinéis VS réseau cellulaire classique

Réseau utilisé	Prix
Réseau IoT satellitaire ou <i>Non Terrestrial Network</i> (NTN)	0.30\$ par KB/mois + 1\$ par appareil/mois (l'accès à une plateforme dédiée pour recevoir les données des UE est payant)
Réseau cellulaire classique IoT (réseau terrestre)	0.01\$ par MB/mois

2 - Technologies propres à l'entreprise

2.1 - Vue d'ensemble

Kinéis opère en tant qu'opérateur de réseau, un rôle comparable à celui d'entreprises de télécommunication terrestres telles qu'Orange ou SFR. Dans ce modèle, les clients souscrivent à des services, souvent sous forme de forfaits, pour utiliser les infrastructures de l'entreprise afin de collecter et transmettre des données issues de leurs dispositifs IoT. La particularité distinctive de Kinéis par rapport aux opérateurs traditionnels réside dans sa capacité à fournir une couverture mondiale sans accords de *roaming*. Cette couverture universelle est rendue possible grâce à une constellation de satellites en orbite basse (LEO - Low Earth Orbit), qui assure la connectivité même dans les zones les plus reculées, hors de portée des réseaux terrestres.

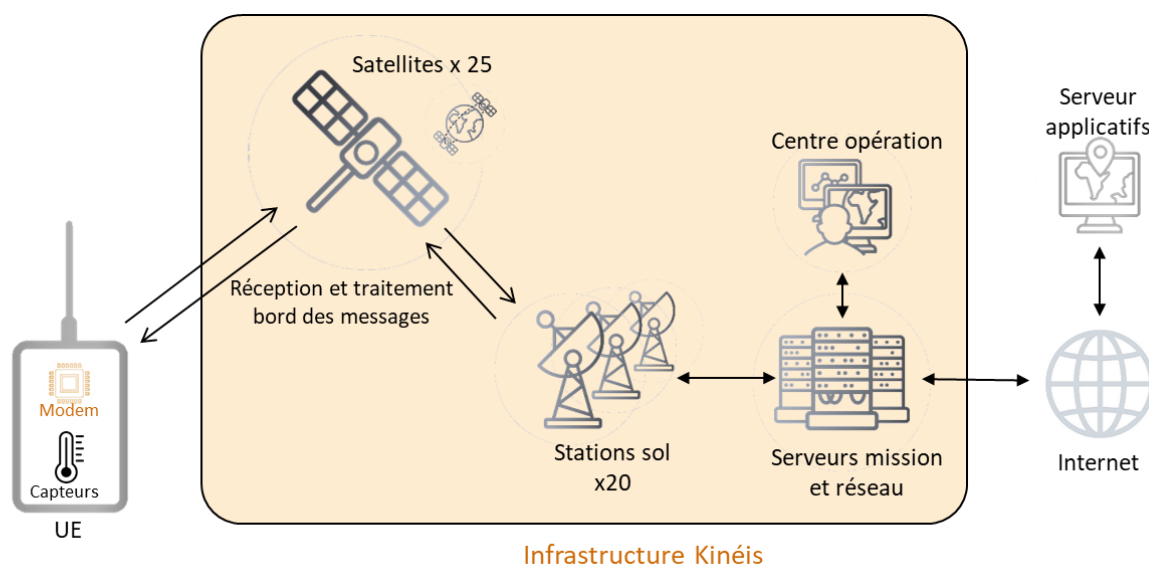


Figure 3 : Architecture globale du réseau Kinéis. En orange sont représenté les infrastructures gérées par l'opérateur (dans notre cas Kinéis)

L'infrastructure réseau de Kinéis est un système complexe et intégré, conçu pour assurer une communication bidirectionnelle fiable et efficace entre les objets connectés et les plateformes des utilisateurs. Elle repose sur trois piliers fondamentaux : les objets connectés (UE - User Equipment) déployés sur le terrain, une constellation de nanosatellites en orbite basse qui relaient les données, et un réseau mondial de stations sol qui assurent la liaison entre les satellites et les centres de

traitement de données. Ce triptyque garantit une collecte et une transmission fluides des informations à l'échelle planétaire.

2.2 - Le User Equipment (UE)

L'objet connecté, ou UE (User Equipment), est le dispositif physique qui intègre la technologie de communication Kinéis. Il est l'objet connecté que le client souhaite suivre ou dont il veut collecter des données (par exemple, une balise sur un conteneur, un capteur environnemental, un animal équipé d'un traceur). Des exemples de UE sont par exemple la balise figure 1 ou le capteur figure 4. Cet équipement est conçu pour être économe en énergie et robuste, capable d'opérer dans des conditions environnementales variées. Il contient typiquement une antenne spécifique pour la communication satellitaire, un modem pour traiter le signal (comme le module KIM2 figure 2), des capteurs (e.g. capteurs de température, pression, position GPS), une source d'alimentation (batterie, photovoltaïque ou autre), et une unité de contrôle pour gérer ses opérations. Son rôle est de collecter les données, de les formater en messages courts et de les transmettre vers les satellites Kinéis lors de leur passage.

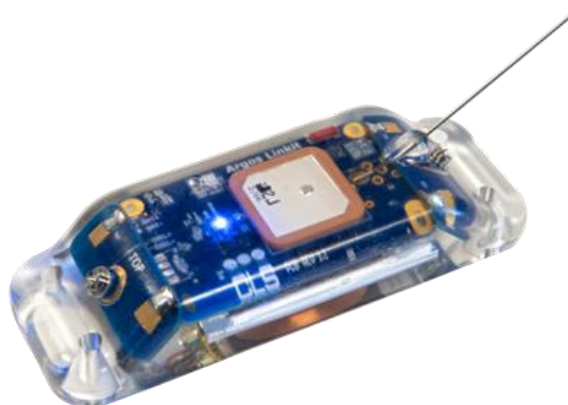


Figure 4 : Exemple de UE géré par Kinéis : capteur LINKINT étanche pour surveiller les espèces sous-marines

2.3 - Le satellite

Le segment spatial de l'infrastructure Kinéis est constitué d'une constellation de nanosatellites. Ces satellites (figure 5), de taille réduite (30 kg) et opérant en orbite terrestre basse à 650 km d'altitude (LEO pour Low Earth Orbit), jouent le rôle de relais de communication (figure 3). Lorsqu'un User Equipment (UE) émet un message, celui-ci est capté par les satellites qui se trouvent à portée. Le satellite démodule et stocke temporairement ce message avant de le retransmettre à une station terrestre lorsqu'il la survole. Les satellites sont spécifiquement conçus pour les communications IoT, optimisés pour la transmission de petits paquets de données avec une faible consommation énergétique. Leur orbite basse offre nativement une couverture globale et est adaptée aux applications mobiles car les satellites sont vus par le UE sous différents angles au cours du temps. Leur basse altitude offre aussi une latence plus faible qu'une potentielle utilisation de satellites géostationnaires.

2.4 - La station sol

Les stations sol (ou *ground stations*), sont des installations au sol cruciales pour le fonctionnement du réseau. Elles servent de pont entre la constellation de satellites et les infrastructures terrestres de traitement de données. Kinéis s'appuie sur un réseau d'environ vingt stations terrestres stratégiquement réparties à travers le globe. Cette dispersion géographique est essentielle pour assurer une couverture mondiale continue et permettre une récupération rapide des données transmises par les satellites.

Chaque station est équipée d'antennes capables de suivre les satellites lors de leur passage et de télécharger les données collectées, ainsi que de transmettre des commandes ou des mises à jour aux satellites si nécessaire (comme l'antenne de la figure 6). On comprend aussi souvent dans le terme *station sol*, les *modems assurant la communication de télécontrôle et télémétrie du satellite ainsi que les transferts de données utilisateur, et enfin les fonctions de gestion essentielles permettant de retransmettre les informations au réseau (ici internet) comme l'authentification du dispositif.*

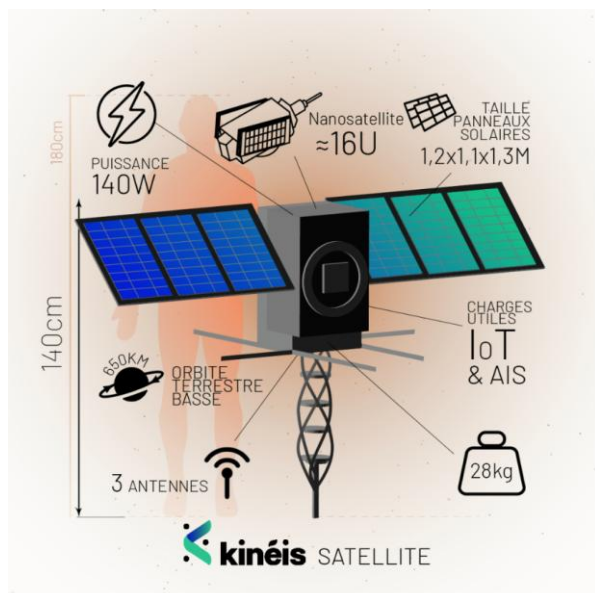


Figure 5 : Principales caractéristiques des nanosatellites Kinéis. La constellation complète en contient 25, extrait de document client chez Kinéis

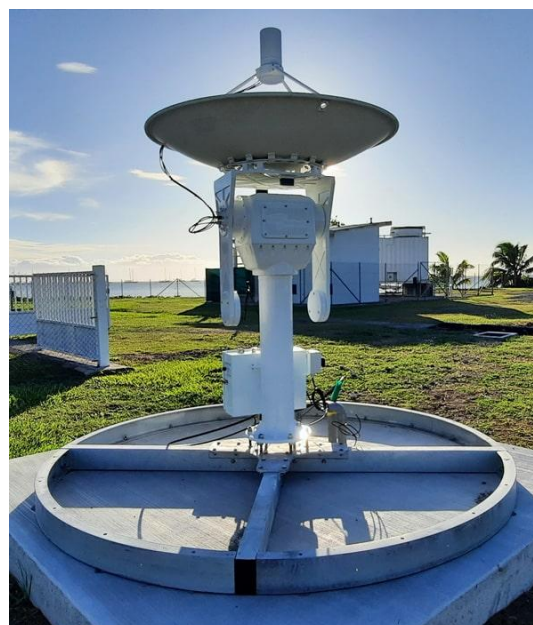


Figure 6 : Exemple d'antenne recevant les communications des satellites

2.5 - Cahier des charges

La conception et l'exploitation d'un réseau satellitaire pour l'IoT comme celui de Kinéis doivent répondre à un cahier des charges strict, dicté par les contraintes des applications visées et l'environnement spatial. Une partie des données est publique [2][3].

Tableau 2 : Cahier des charges de l'infrastructure Kinéis

Critère de Performance	Exigence
Débit de Données	Taille max. des messages : 16 Octets. Débit liaison montante : 300 bps (modules standards). Volume quotidien : jusqu'à env. 2 ko.
Latence	Temps de revisite satellite : < 15 minutes.
Taux de réception de message	> 95%
Puissance de Transmission	Modules : typ. 250 mW (24 dBm), ajustable jusqu'à 1W (30 dBm).
Autonomie Satellite et Appareil	Constellation : durée de vie opérationnelle de 8 ans. UE : jusqu'à 10+ années.
Nombre d'Appareils Connectés	Capacité projetée : plusieurs millions avec la constellation lancée en 2025.
Sécurité des Données	Chiffrement des échanges de données et des liaisons de contrôle. Authentification des appareils.

3 - Évolutions et enjeux technologiques

L'entreprise est actuellement engagée dans une possible évolution de son offre de services.

3.1 - Possible transition vers un nouveau protocole et une constellation hybride

Kinéis envisage une évolution significative de son infrastructure et de ses services. Cette transition vise à répondre à de nouveaux cas d'usage et à améliorer la qualité de service globale. Les différences majeures entre l'offre actuelle (Kinéis GEN1) et la future offre (Kinéis GEN2) sont résumées dans le tableau 3.

Une des ambitions majeures de Kinéis est d'ajouter, à horizon 2032, de nouvelles technologies de communications, de nouvelles bandes de fréquences et éventuellement des communications géostationnaires (GEO) en plus de ses satellites en orbite basse (LEO). Cette évolution vers une constellation hybride permettrait de combiner les avantages des deux types d'orbites pour offrir une gamme de services plus complète. Parallèlement, Kinéis pourrait permettre en plus de son protocole de communication KiWAN l'utilisation d'un protocole standardisé, le NB-IoT, tel que défini par le 3GPP pour les réseaux 5G non terrestres (NTN).

Tableau 3 : Evolution possible des technologies utilisées

Caractéristique	Kinéis GEN1 (Actuel)	Kinéis GEN2 (envisagé)
Type de constellation	LEO (Low Earth Orbit)	LEO + GEO (Geostationary Earth Orbit)
Protocole de communication	KiWAN (propriétaire)	NB-IoT (standardisé 3GPP)
Rôle du satellite	Régénératif (avec traitement à bord)	Régénératif et potentiellement transparent / répéteur pour GEO
Couverture	Globale, non continue en temps	Globale continue
Module UE	Spécifique Kinéis (ex : KIM2)	Spécifique + Standard du marché (ex : nRF9151) ¹

Transition vers un protocole standardisé

L'adoption d'un standard comme NB-IoT présenterait plusieurs avantages stratégiques :

- **Standardisation des solutions de management et de service client** : En s'appuyant sur un standard, Kinéis pourrait bénéficier d'outils de gestion et de support déjà existants et largement répandus sur le marché. Cela réduirait l'effort de développement et de maintenance liée au support des solutions propriétaires.
- **Simplification de l'intégration pour les clients** : Les clients n'auraient plus besoin d'autant d'accompagnement personnalisé pour la configuration et la mise en place de leurs appareils connectés. Ils pourraient utiliser des compétences et des processus déjà maîtrisés avec les réseaux terrestres NB-IoT.
- **Réduction de la barrière à l'entrée** : L'utilisation d'une méthode de modulation et d'un protocole standard élimine le besoin d'un module radio propriétaire Kinéis. Les clients

¹ Une liste des appareils compatibles NB-IoT-NTN peut être trouvée ici : [5]

pourraient utiliser des chipsets NB-IoT standards, plus accessibles et souvent moins coûteux, favorisant une adoption plus large du service.

Transition vers une constellation hybride (LEO+GEO)

Le choix entre satellites LEO et GEO dépend fortement des exigences de l'application. Le tableau 4 résume les principaux avantages et inconvénients de chaque type d'orbite.

Pour certaines applications, notamment celles nécessitant une couverture globale ou avec des terminaux mobiles (ex : tracking en montagne, suivi de conteneurs sur un océan), les satellites LEO restent la solution à privilégier. Cependant, pour des services demandant un volume de donnée et une connectivité permanente sur une région précise, les satellites GEO sont préférables (flotte dense de capteurs environnementaux fixes). Kinéis vise donc l'utilisation d'une constellation mixte pour capitaliser sur les forces de chaque type d'orbite et ainsi répondre de manière optimale à l'ensemble des besoins de ses clients.

Tableau 4 : Avantages et inconvénients d'une constellation de satellite orbite basse (LEO) ou géostationnaires (GEO)

Caractéristique	Satellites LEO	Satellites GEO
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Couverture globale à moindre cout Diversité des angles de vues satellites Moins de puissance requise à l'émission (terminal) Coût de lancement par satellite plus faible 	<ul style="list-style-type: none"> Connectivité continue sur la zone couverte Infrastructure au sol simplifiée (antennes fixes)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite une large constellation pour couverture continue Effet Doppler plus prononcé Durée de vie plus courte Suivi des satellites complexe (pour antennes au sol) 	<ul style="list-style-type: none"> Large couverture couteuse pour de l'IoT Latence élevée (environ 250 ms aller simple) Coût de lancement par satellite élevé Plus de puissance requise à l'émission (pour le UE)

3.2 - Architecture logiciel et méthode de modulation

Kinéis utilise historiquement une méthode de modulation propriétaire, appelée *KiWAN* héritée et optimisée à partir du système ARGOS. Toutefois, l'entreprise envisage de remplacer ses solutions propriétaires. Le NB-IoT, ainsi que la modulation LoRa, font partie des technologies envisagées pour l'avenir, afin de bénéficier d'un écosystème plus large et d'une interopérabilité accrue.

Le *NB-IoT* (Narrowband Internet of Things) est une technologie de communication radio de type LPWAN (Low Power Wide Area Network, standardisée par le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) dans le cadre des évolutions de la norme LTE (Long Term Evolution = 4G). Elle est spécifiquement conçue pour connecter des objets nécessitant une faible consommation d'énergie, une longue portée et un coût réduit.

Protocole NB-IoT

Le NB-IoT classique (non satellitaire) opère en utilisant l'infrastructure existante des réseaux cellulaires LTE. L'objet connecté va donc utiliser une bande de fréquence déjà utilisée par le réseau cellulaire classique (GSM, 3G, LTE (4G) ou 5G). Il peut être déployé de trois manières différentes (figure 7) :

- **In-band** : Utilise un bloc de ressources physiques à l'intérieur d'une porteuse LTE existante.
- **Guard-band** : Utilise les bandes de garde inutilisées entre les porteuses LTE.
- **Standalone** : Utilise une bande de fréquence dédiée, par exemple une ancienne bande GSM réaffectée.

Cette flexibilité permet aux opérateurs de déployer rapidement le NB-IoT avec des investissements matériels limités.

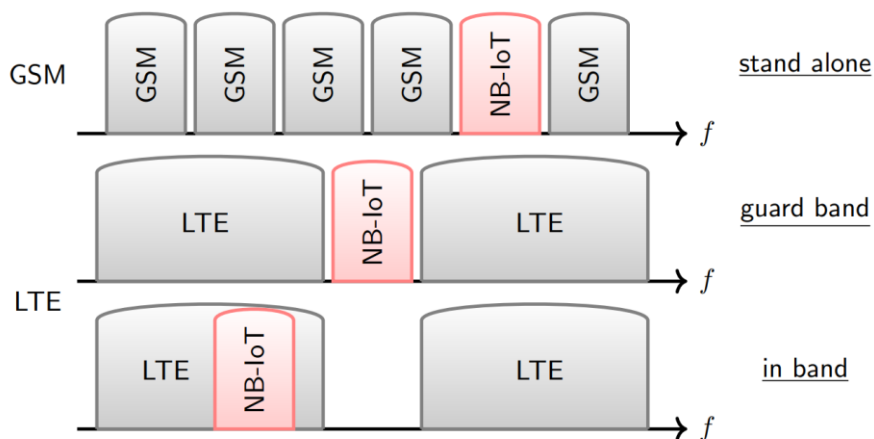


Figure 7 : Différentes bandes de fréquences du réseau cellulaire (GSM et LTE=4G) utilisables par le protocole NB-IoT

Le NB-IoT utilise une bande passante très étroite de 180 kHz pour la liaison montante (uplink) et la liaison descendante (downlink). Il opère dans des bandes de fréquences licenciées, ce qui garantit une meilleure qualité de service et moins d'interférences par rapport aux technologies opérant dans des bandes non licenciées comme LoRaWAN. Les bandes de fréquences spécifiques varient selon les régions et les opérateurs, mais incluent souvent des bandes LTE courantes comme la B3 (1800 MHz), B8 (900 MHz), B20 (800 MHz).

La modulation utilisée (couche physique 1 du modèle OSI figure 8) est QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). La méthode d'accès (MAC, couche 2 du modèle OSI figure 8) est assurée par :

- SC-FDMA pour la liaison Uplink (UL) du UE à la station de base.
- OFDMA pour la liaison Downlink (DL) de la station de base au UE.

Ces choix de modulation sont robustes et adaptés aux transmissions à faible débit et en conditions de canal difficiles, favorisant la portée et la pénétration du signal.

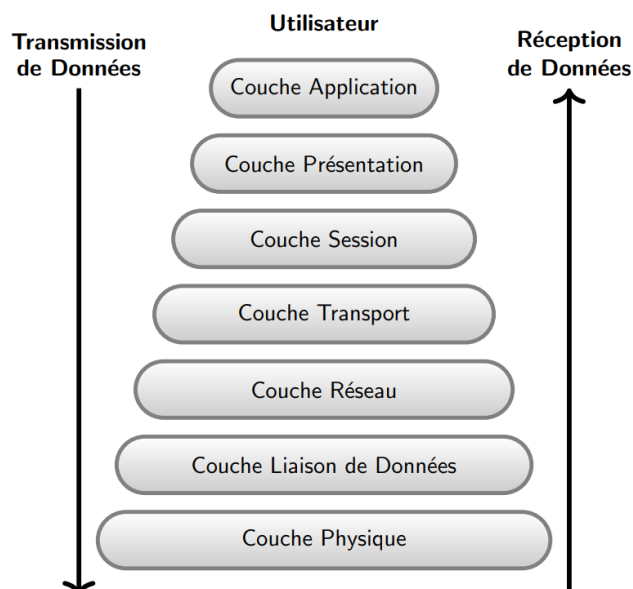


Figure 8 : Le modèle OSI (Open Systems Interconnection) et ses sept couches

NB-IoT NTN (Non Terrestrial Network)

Une version adaptée à l'IoT satellitaire, appelée NB-IoT NTN a été développée par 3GPP et officiellement intégrée depuis juin 2022 lors de la release 17 [4] du protocole NB-IoT. Les méthodes de modulations utilisées sont très similaires entre NB-IoT classique (terrestrial network) et sa version NTN. La principale modification concerne l'allongement des délais d'attente de réception d'une réponse, puisque les messages à destination ou provenance de l'espace ont une latence beaucoup plus élevée, et les délais mis en place pour le réseau terrestre ne sont plus compatibles pour une utilisation NTN. Une seconde modification est la prise en compte de l'effet Doppler (les satellites LEO se déplaçant typiquement à près de 8 km/s, ce qui décale considérablement en fréquence les signaux).

Il est à noter qu'une utilisation hybride, à la fois du réseau terrestre quand disponible et satellitaire sinon, est prévu par 3GPP et permet à la fois de réduire les coûts et d'améliorer les performances du réseau.

Avantages et inconvénients du protocole NB-IoT

Le NB-IoT présente plusieurs avantages significatifs :

- **Faible consommation d'énergie** : Permet une autonomie des batteries des terminaux pouvant atteindre plusieurs années, grâce notamment aux modes PSM (Power Saving Mode) et eDRX (extended Discontinuous Reception).
- **Coût réduit des modules** : La simplicité de la technologie permet de produire des modules radio à faible coût.
- **Grande capacité du réseau** : Permet de connecter un grand nombre d'appareils par cellule (typiquement plus de 50 000)².
- **Sécurité** : Bénéficie des mécanismes de sécurité éprouvés de la norme LTE (authentification, chiffrement).

² C'est en particulier cette caractéristique qui manque au protocole propriétaire KiWAN

- **Utilisation du spectre licencié** : Moins d'interférences et une meilleure qualité de service garantie.

Concernant LoRA

Concernant la technologie LoRa (méthode concurrente de NB-IoT), il est à noter qu'elle peut être utilisée pour des applications satellitaires. Toutefois la modulation habituelle CSS (Chirp Spread Spectrum) n'est pas adaptée aux applications satellitaires. Bien que robuste, cette modulation présente des limitations en termes de capacité du canal, c'est-à-dire qu'elle ne permet pas de supporter un très grand nombre d'utilisateurs simultanément dans une même cellule. Une nouvelle méthode de modulation a été développée par Semtech pour pallier ce besoin [6][7]. Cette modulation, appelée Long Range - Frequency Hopping Spread Spectrum (LR-FHSS) est aussi envisagée chez Kinéis, et déjà adopté par plusieurs concurrents.

4 - Conclusion

L'IoT satellitaire représente un complément essentiel aux réseaux terrestres pour assurer une connectivité globale. L'exemple de Kinéis illustre les choix techniques et stratégiques d'un opérateur européen du NewSpace : miniaturisation des satellites, optimisation des coûts, transition vers des standards ouverts.

L'évolution vers une architecture hybride LEO/GEO avec protocole NB-IoT standardisé démontre la maturité croissante de ce secteur. Les défis techniques (bilan de liaison, Doppler, énergie) sont progressivement surmontés grâce aux avancées en traitement du signal, en électronique basse consommation et en technologies spatiales.

Le marché de l'IoT satellitaire, estimé à plusieurs milliards d'euros d'ici 2030, devrait bénéficier de cette démocratisation technologique, ouvrant de nouvelles applications dans l'agriculture, la logistique, l'environnement et la surveillance maritime.

Références :

- [1] CLS. (2016). Argos User's Manual. Consulté à l'adresse <https://www.argos-system.org/wp-content/uploads/2023/01/CLS-Argos-System-User-Manual.pdf>
- [2] Kinéis. (2019). Spécifications Techniques des Modules Kinéis KIM1. Consulté à l'adresse <https://www.argos-system.org/wp-content/uploads/2023/01/KIM1-Module-Kineis-Product-Sheet.pdf>
- [3] Kinéis. (2024). Informations sur la Constellation Kinéis. Consulté à l'adresse <https://www.kineis.com/nanosatellites-kineis-ce-nest-pas-la-taille-qui-compte/>
- [4] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). (2022). Non-Terrestrial Networks (NTN) Overview. Standardisé à partir de la Release 17. Consulté le 18 octobre 2025, à l'adresse <https://www.3gpp.org/technologies/ntn-overview>
- [5] Skylo Technologies. (2025). Certified Devices. Consulté le 18 octobre 2025, à l'adresse <https://www.skylo.tech/certified-devices>
- [6] Boquet, G., Tuset-Peiro, P., Adelantado, F., Watteyne, T., & Vilajosana, X. (2021). LR-FHSS: Overview and Performance Analysis. IEEE Communications Magazine, 59, 30-36. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000627>
- [7] Semtech. (2021). Press release on satellite connectivity. Consulté à l'adresse <https://www.semtech.com/company/press/semtech-and-echostar-mobile-to-test-satellite-iot-connectivity-service-integrated-with-lorawan>

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay>