

Fonds européen de développement régional Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# Output T1.1 - Modèles de communication merterre optimisés. Intégration de dépenses cohérentes



















# **INDICE**

1	INTRODUCTION	2
2	SOLUTIONS ALTERNATIVES AUX SATELLITES	3
2.1	RÉSEAUX TERRESTRES 4G/5G	3
2.2	Plate-forme HAPS	4
2.3	INTÉGRATION DE SATELLITES ET HAPS AVEC LES RÉSEAUX 5G	6
3	RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES	10

















### 1 INTRODUCTION

La solution la plus couramment utilisée pour fournir des services de communication de données aux navires (qu'ils soient civils ou militaires et quelle que soit leur taille) sont les réseaux satellitaires, dont la couverture mondiale garantit la connectivité aussi bien dans les zones côtières qu'en haute mer.

Les services satellitaires sont proposés alternativement via des constellations de satellites en orbite géostationnaire (GEO - GEOstationary satellites), qui assurent une couverture dans de vastes zones géographiques, mais peuvent présenter des problèmes de latence élevés dans la transmission des données, ou via des satellites en orbite basse ou moyenne (LEO – Low Earth Orbit satellites; MEO - Medium Earth Orbit satellites), qui garantissent des latences plus faibles et des vitesses de transmission de données plus élevées.

Concernant les solutions d'interconnexion en milieu marin, outre celles basées sur les satellites, certaines alternatives sont proposées qui présentent différents degrés de maturité technologique et de disponibilité. Certaines solutions impliquent l'extension des réseaux radio mobiles terrestres de cinquième génération (réseaux 5G), avec des stations radio de base installées à terre ou en mer, pour garantir la connectivité des navires dans les zones côtières ou, en tout cas, dans des zones maritimes limitées caractérisées par des un intense trafic. D'autres solutions impliquent l'utilisation de plates-formes aériennes à longue autonomie et fonctionnant dans la stratosphère. Ces plates-formes, appelées HAPS (acronyme de High-Altitude Platform Stations, ou encore de High-Altitude Pseudo-Satellites), sont constituées de ballons et de drones qui, par rapport aux satellites, ont des coûts de mise en service moindres, des exigences moins strictes en termes de puissance du signal transmis et de meilleures performances en termes de latence, mais, en revanche, une plus petite extension de la couverture géographique. Enfin, d'autres solutions reposent sur la convergence des réseaux 5G, des réseaux satellitaires et ceux basés sur HAPS, en cohérence avec les normes ETSI/3GPP, qui prévoient l'intégration de réseaux d'accès non terrestres (NTN - Non Terrestrial Networks) dans le Infrastructures 5G.

Ce document contient un résumé des solutions technologiques alternatives aux solutions satellitaires actuelles















## 2 SOLUTIONS ALTERNATIVES AUX SATELLITES

## 2.1 RÉSEAUX TERRESTRES 4G/5G

Des solutions de connexions de données haut débit de terre à navire basées sur les réseaux mobiles de quatrième et cinquième génération (4G/5G) sont disponibles dans le commerce et ont pour objectif principal le marché des loisirs.

Ces solutions impliquent l'installation d'antennes performantes à bord du navire (typiquement en configuration MIMO, Multiple Input – Multiple Output) pour permettre la connexion des systèmes embarqués aux réseaux terrestres 4G/5G, garantissant des capacités de trafic élevées (déclarées dans de l'ordre de plusieurs Gbps), à des distances allant jusqu'à 20-30 milles marins de la côte (en fonction des performances du produit spécifique).

Les systèmes 4G/5G, plus sophistiqués, offrent diverses fonctionnalités qui, par rapport aux systèmes mobiles terrestres traditionnels, augmentent leurs performances, leur fiabilité et leur flexibilité d'utilisation. Ces fonctionnalités incluent, par exemple, la possibilité d'équiper les systèmes de plusieurs SIM de différents opérateurs (afin de garantir la redondance du réseau et de favoriser la mobilité internationale, même sans recourir à des solutions de roaming) et des mécanismes optimisés de sélection des cellules radio mobiles en fonction des performances estimées. de la connexion radio.

Un avantage potentiel incontestable de ces solutions réside dans la possibilité d'utiliser des dispositifs embarqués basés sur des technologies dérivées de solutions largement utilisées à terre, ce qui contribue à réduire les coûts d'installation des dispositifs à bord des navires. Cette réduction des coûts est cependant largement affectée par la nécessité d'équiper les appareils embarqués d'antennes performantes pour garantir leur fonctionnement dans les zones non immédiatement adjacentes à la côte.

En outre, il faut considérer que les réseaux commerciaux 4G/5G sont actuellement conçus pour garantir la couverture des zones terrestres et que leur utilisation dans les zones marines, même à proximité des côtes, peut être considérée comme occasionnelle. Il est donc extrêmement probable que les performances théoriques des systèmes 4G/5G embarqués évoquées ci-dessus, bien que significatives, puissent en réalité être exploitées exclusivement dans des zones restreintes, à proximité immédiate des ports et centres habités.

L'extension des réseaux 4G/5G sur des zones marines très vastes nécessite des améliorations spécifiques des infrastructures terrestres.

Un exemple de ces évolutions possibles est représenté par l'infrastructure testée créée par l'opérateur China Mobile et le constructeur Huawei. L'infrastructure expérimentale a permis d'étendre le réseau terrestre 4G/5G jusqu'à 50 km du littoral, grâce à l'utilisation d'une grande antenne spécifique et à l'utilisation de signaux radio dans différentes bandes.

D'autres solutions incluent l'extension des réseaux 4G/5G avec l'installation de stations de base radio en mer. Un exemple commercialement pertinent de ces solutions est représenté par le réseau créé en mer du Nord par la société Tampnet (Figure 1, [2]), qui utilise des plates-formes pétrolières et des éoliennes pour installer des stations de base radio 4G/5G, connectées au réseau terrestre via fibre optique. Le réseau, qui couvre globalement une superficie d'environ 260 000 km2, est utilisé pour assurer la connectivité des navires et du personnel des entreprises impliquées dans l'exploitation des plates-formes et des parcs éoliens.

















Figure 1 – Le réseau Tampnet en mer du Nord

Une autre solution, cette fois expérimentale, a été créée par l'opérateur mobile letton LMT et le fournisseur de services portuaires LVR [3]. Cette solution consiste à équiper les navires de stations de base radio 5G, qui permettent la communication navire-navire et navire-terre en utilisant les fonctionnalités multi-sauts [4] [5] standardisées par le 3GPP pour les réseaux de cinquième génération. Les bénéfices apportés par cette solution résident à la fois dans l'extension de la couverture des réseaux terrestres (les navires eux-mêmes fournissant mutuellement un service de relais de communication navire-terre) et dans l'optimisation de l'acheminement du trafic dans les communications navire-navire..

Du bref aperçu ci-dessus, il ressort clairement que les solutions d'interconnexion des données des navires basées sur le réseau terrestre 4G/5G peuvent être obtenues après une mise à jour importante de l'infrastructure du réseau et, en tout état de cause, sont limitées aux zones maritimes incluses dans une gamme dans un rayon de 50 km de la côte. La couverture de zones plus vastes nécessite l'installation de stations de base radio en mer, basées sur des installations fixes (plates-formes) ou mobiles (navires), ellesmêmes connectées aux infrastructures terrestres via des réseaux filaires ou via des ponts radio dédiés. Cette option semble intéressante dans les zones maritimes caractérisées par un trafic particulièrement intense, par exemple sur les routes utilisées pour le cabotage.

### 2.2 PLATE-FORME HAPS

Les plates-formes appelées HAPS (High-Altitude Platform Stations, ou encore High-Altitude Pseudo-Satellites) [6] sont constituées de montgolfières, de dirigeables (tous deux classés LTA – Lighter Than Air platform) et de drones (HTA – Heavier Than Air), qui opèrent à une altitude généralement comprise entre 18 et 22 km.

















Ces plates-formes sont destinées à avoir une grande autonomie opérationnelle pour réaliser des tâches planifiées pendant une période de temps prolongée (typiquement, 2-3 mois) et sous la supervision de terrains -opérateurs basés. La figure 2 montre les altitudes opérationnelles typiques des HAPS, des satellites et des aéronefs.

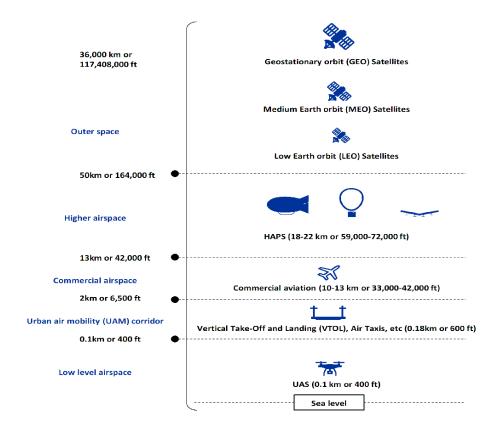


Figure 2 – Altitudes opérationnelles des HAPS, des satellites et des aéronefs [6]

Les HAPS ont fait l'objet d'évolutions significatives, trouvant jusqu'à présent des applications principalement dans le secteur militaire, et constituent une alternative aux satellites pour une série d'applications qui concernent principalement la surveillance terrestre, la fourniture de services de télécommunications et le soutien à la navigation aérienne (Air Gestion du Trafic – ATM / Services de Navigation Aérienne – ANS). Par rapport aux solutions satellitaires, les HAPS garantissent plusieurs avantages, notamment

- une plus grande rentabilité et une mise en service plus rapide;
- la possibilité d'être réutilisé pour différentes missions et de pouvoir être restauré, rééquipé et mis à jour à chaque mission;
- une latence plus faible et une puissance de signal plus faible pour les transmissions de données vers/depuis le sol (en raison de l'altitude de fonctionnement plus basse),

D'un autre côté, l'utilisation de HAPS implique également certains inconvénients, tels que [6]

• une durée de vie opérationnelle plus courte de la plateforme, généralement limitée à quelques mois,

















- des coûts d'exploitation importants, dus à la nécessité de superviser les plates-formes et, périodiquement, de les récupérer et de les remettre en service,
- la nécessité pour les opérateurs de s'adapter à la réglementation relative au déploiement et à l'exploitation des plateformes, encore en cours de définition.

De plus, la mise en œuvre de HAPS implique plusieurs défis technologiques, liés à [6]:

- systèmes d'alimentation de plate-forme: la solution la plus utilisée implique la combinaison de panneaux solaires et de batteries et la recherche s'engage à développer des technologies garantissant une grande autonomie et un poids réduit de ces composants; des études sont en cours pour d'autres solutions basées sur de petits générateurs nucléaires, des piles à combustible et une téléalimentation par micro-ondes.
- adaptabilité aux conditions environnementales extrêmes: pour atteindre l'altitude opérationnelle, les HAPS traversent la troposphère, qui peut être affectée par des vents violents, ce qui impose des exigences strictes sur la robustesse structurelle des plates-formes et rend en tout cas critique leur mise en service; de plus, pendant leur durée de vie opérationnelle, les plates-formes sont soumises à des contraintes thermiques élevées, dépendantes de l'alternance entre la présence et l'absence de rayonnement solaire, ce qui rend difficile la gestion thermique de l'électronique embarquée.

Le marché mondial des HAPS est encore de petite taille, estimé à 180 millions de dollars en 2028 [7] ; à titre de comparaison, considérons que le marché mondial des applications satellitaires a atteint une valeur de 286 milliards de dollars en 2022 et devrait atteindre 615 milliards de dollars en 2032 [8]. Les activités industrielles concernant les infrastructures HAPS mises en œuvre jusqu'à présent ont impliqué des projets expérimentaux et de démonstration [7].

En référence au thème de l'interconnexion des navires, la couverture réduite assurée par la HAPS (en raison de l'altitude opérationnelle relativement faible) et la nécessité de récupérer périodiquement les plates-formes conduisent à exclure l'utilisation de la solution en remplacement complet du satellites. Les HAPS pourraient, en perspective, représenter une solution pour la couverture de zones limitées, caractérisées par un trafic particulièrement intense et pas trop éloignées des côtes, agissant comme une alternative aux solutions décrites dans la section 4.1.

## 2.3 INTÉGRATION DE SATELLITES ET HAPS AVEC LES RÉSEAUX 5G

Alors que les services de télécommunications basés sur la norme 5G se répandent, cette même norme évolue vers une intégration dans l'architecture d'accès des réseaux dits non terrestres (NTN). Les activités en ce sens ont débuté en 2017, avec l'ouverture par le 3GPP d'un Work Item spécifique, dans le cadre du développement de la Release 15 de la norme, axé sur l'étude des impacts architecturaux et protocolaires sur le réseau d'accès radio (RAN) 5G. [11]. Les NTN considérés dans l'élément de travail comprenaient à la fois des « véhicules spatiaux », c'est-à-dire des satellites (LEO, MEO, GEO et HEO - Highly Elliptical Orbiting) et des « véhicules aéroportés », c'est-à-dire des HAPS, fonctionnant à des altitudes comprises entre 8 et 50 km et presque stationnaires.

















Les activités du 3GPP, qui se sont ensuite concentrées sur le support des satellites NEO et GEO, ont conduit à la définition, dans la Release 16, de solutions pour l'intégration du NTN dans le RAN 5G [12].

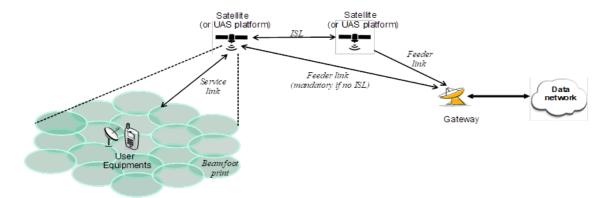


Figure 3 – Scénario réseau, tel que défini dans le document 3GPP TR 38.821 [8]

La figure 3, extraite du document 3GPP TR 38.821 [12], décrit le scénario de réseau envisagé par la norme, qui est composé des principaux éléments suivants:

- une ou plusieurs « gateways satellite » qui connectent le NTN à un réseau public de données ; un satellite GEO ou LEO peut être connecté à une ou plusieurs gateways ; dans le cas d'un satellite GEO on suppose qu'une ou plusieurs gateways sont disponibles dans la zone géographique (régionale voire continentale) couverte par le satellite lui-même ; dans le cas d'un satellite LEO, on suppose que plusieurs gateways sont disponibles dans les différentes zones couvertes par le satellite au cours de son orbite et que des procédures de transfert sont en place entre le satellite et les gateways;
- des satellites, qui peuvent fonctionner en mode « transparent » ou « régénératif », comme décrit plus loin dans ce paragraphe;
- une connexion radio, appelée « Feeder Link », entre le gateway et le satellite;
- une connexion radio, appelée « Service Link », entre un équipement terminal d'un utilisateur du réseau (UE User Equipment) et un satellite;
- optionnellement, une liaison inter-satellite (Inter-satellite links ISL), prévue pour fonctionner en radiofréquence (RF) ou en bande optique, qui relie deux satellites d'une même constellation.

Comme indiqué dans la description du scénario global du réseau, la mise en œuvre de systèmes satellitaires intégrant le 5G RAN peut être réalisée selon deux modes différents : « transparent » et « régénératif ». Dans le cas d'une mise en œuvre en mode "transparent", les satellites effectuent une simple conversion de fréquence et une amplification des signaux radio des gateways et des UE, c'est-à-dire qu'ils fonctionnent comme répéteurs radio des liaisons "feeders" et "service". Dans cette mise en œuvre, comme indiqué dans le schéma architectural présenté à la figure 4, les satellites ne remplissent aucune fonction typique du réseau 5G.















Field of view of the satellite (or UAS platform)



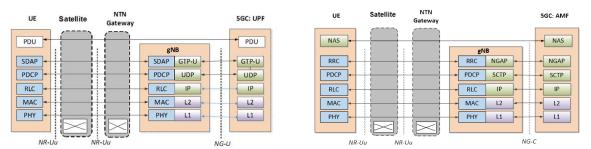


Figure 4 – Architecture RAN en cas d'implémentation "transparente" - Représentation des piles protocolaires relatives au plan données (à gauche) et au plan de contrôle (à droite) (3GPP TR 38.821 [12]))

Cependant, dans le cas d'une mise en œuvre en mode « régénératif », comme décrit sur la figure 5, les satellites remplissent les fonctions des stations radio de base du réseau 5G (les g-NodeB), prenant en charge les protocoles d'encapsulation (tunneling) du trafic utilisateur. et rapporter

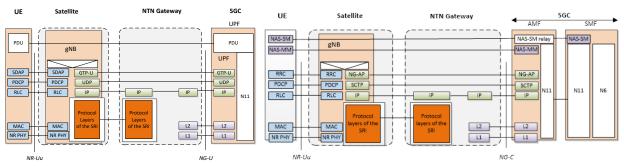


Figure 5 – Architecture RAN en cas d'implémentation "régénérative" - Représentation des piles protocolaires relatives au plan données (à gauche) et au plan de contrôle (à droite) (3GPP TR 38.821 [12])

L'architecture définie par la norme TR 38.821 permet à un équipement terminal (UE) de maintenir actives ses connexions lorsqu'il est en transit à travers des zones couvertes alternativement par des réseaux mobiles terrestres ou par des réseaux satellites intégrés à ceux-ci, en profitant éventuellement également des fonctions d'itinérance typiques des réseaux mobiles. Par ailleurs, la même norme décrit également différents scénarios de multi-connectivité des terminaux 5G (telle que définie dans la recommandation 3GPP TS 37.340 [13]) et qui consiste en la possibilité pour les terminaux de se connecter simultanément à deux nœuds du RAN ( un nœud maître et un nœud secondaire, qui peuvent être à la fois terrestres et satellitaires, connectés entre eux par des interfaces permettant l'interopérabilité) et exploitent leurs services pour augmenter les performances. La figure 6 décrit deux scénarios d'application multi-connectivité, empruntés à la spécification 3GPP TR 38.821.

















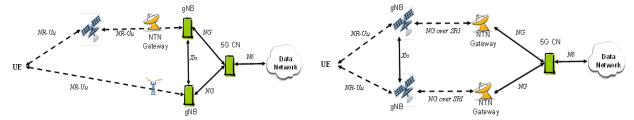


Figure 6 –Deux exemples de multi connectivité, impliquant un nœud terrestre et un nœud satellite, fonctionnant en mode « transparent » (à gauche) et deux nœuds satellite fonctionnant en mode « régénératif » (à droite) (3GPP TR 38.821 [12])

Les activités du 3GPP ont jusqu'à présent conduit à la définition de certaines des modifications nécessaires pour adapter les protocoles standards des réseaux mobiles aux besoins particuliers des systèmes satellitaires, caractérisés par des délais de propagation élevés et par les effets de la mobilité des satellites (en particulier, dans le cas des satellites LEO et MEO) sur les liaisons de service (décalage de fréquence dû à l'effet Doppler) et sur la couverture (la position et la superficie des cellules qui définissent la couverture des satellites sont variables dans le temps). D'autres développements sont attendus dans le cadre de la version 18 des spécifications 3GPP, dont la sortie est prévue au premier trimestre 2024.

Les solutions industrielles disponibles jusqu'à présent concernent la création de services de base proposés aux clients particuliers des réseaux 5G (par exemple, Apple utilise les services du fournisseur de satellite Globalstar pour les communications relatives au service « Find My » mis en œuvre pour l'iPhone 14 et relatives au suivi de la position de l'appareil [10]) et au développement de chipsets pour smartphones alignés sur la version 17 des spécifications 3GPP (comme le Mediatek MT6825 [10]).

D'après le scénario illustré ci-dessus, il existe une activité efficace de développement de normes pour les réseaux mobiles de cinquième génération en vue de l'intégration des systèmes satellitaires. Les normes actuellement disponibles fournissent une définition des principales solutions architecturales et protocolaires pour réaliser une telle intégration, qui apporterait des avantages incontestables aux fournisseurs et aux utilisateurs de services mobiles par satellite et terrestres. En effet, les opérateurs de satellite et de téléphonie mobile pourraient étendre l'offre à leurs clients, en exploitant l'intégration entre les réseaux et en utilisant des solutions techniques largement communes, obtenant ainsi, à l'avenir, des impacts positifs sur les coûts de création et d'exploitation de l'infrastructure. Les utilisateurs pourraient bénéficier de services de meilleure qualité, grâce à la plus grande couverture géographique offerte par la solution intégrée

En particulier, en référence au thème spécifique abordé par ce document, l'intégration entre les réseaux satellite et 5G permettrait de fournir aux navires un service de connectivité sans faille, aussi bien en haute mer, à proximité des côtes, qu'en périodes d'escale en port, basé sur une solution technique unique capable d'utiliser de manière optimale les ressources du réseau. Dans ce scénario, en effet, les appareils embarqués pourraient utiliser les connexions par satellite pendant la navigation en haute mer, tandis que, pendant la navigation dans les zones de cabotage et les escales, ils pourraient se connecter aux réseaux d'accès fournis depuis la terre. radio basées sur des stations de base, ou basées sur des systèmes « mer » ou HAPS.

















# **3 RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES**

- [1] China Mobile e Huawei, "5G Promises to Transform Marine Industries", GSMA Transformation Hub Case Study; Disponibile on-line: https://www.gsma.com/5ghub/5gsea
- [2] Tampnet, "Tampnet Expands 4G/5G LTE in Southern North Sea", Press Release; Disponibile on-line: <a href="https://www.tampnet.com/press/tampnet-expands-4g5glte-southern-north-sea">https://www.tampnet.com/press/tampnet-expands-4g5glte-southern-north-sea</a>
- [3] Telecom Tech News, "Groundbreaking trial aims to bring 5G to the Baltic Sea"; Disponibile on-line: https://www.telecomstechnews.com/news/2023/nov/09/groundbreaking-trial-aims-bring-5g-baltic-sea/
- [4] 3GPP, TS 38.401 V17.6.0, "NG-RAN; Architecture description (Release 17)", 2023-09
- [5] 3GPP, TS 38.340 V17.5.0, "Backhaul Adaptation Protocol (BAP) specification", 2023-06ù
- [6] FRONTEX EU Innovation Hub for Internal Security, "Market Report Research Study on High-Altitude Pseudo-Satellites", 2023-05; Disponible on.line: <a href="https://www.frontex.europa.eu/innovation/euresearch/news-and-events/research-study-on-high-altitude-pseudo-satellites-first-take-aways-MsHsdO">https://www.frontex.europa.eu/innovation/euresearch/news-and-events/research-study-on-high-altitude-pseudo-satellites-first-take-aways-MsHsdO</a>
- [7] Markets and Markets, "Market Report High Altitude Pseudo-Satellites Market", disponibile on-line: <a href="https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/high-altitude-pseudo-satellite-haps-market-162217471.html">https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/high-altitude-pseudo-satellite-haps-market-162217471.html</a>
- [8] PR Newswire, Market Research; disponible on-line: <a href="https://www.prnewswire.com/news-releases/satellite-market-is-expected-to-globally-reach-615-7-billion-by-2032-at-8-1-cagr-allied-market-research-">https://www.prnewswire.com/news-releases/satellite-market-is-expected-to-globally-reach-615-7-billion-by-2032-at-8-1-cagr-allied-market-research-</a>
- $\underline{301986809.html\#:^{\sim}:text=According\%20to\%20the\%20report\%2C\%20the, 8.1\%25\%20from\%202023\%20to\%202032.}$
- [9] 5G Americas, White paper "5G & Non-Terrestrial Networks", 2023-02; Disponible on.line: <a href="https://www.5gamericas.org/5g-and-non-terrestrial-networks/">https://www.5gamericas.org/5g-and-non-terrestrial-networks/</a>
- [10] 5G Americas, White paper "Update on 5G Non-Terrestrial Networks", 2023-07; Disponible on.line: <a href="https://www.5gamericas.org/update-on-5g-non-terrestrial-networks/">https://www.5gamericas.org/update-on-5g-non-terrestrial-networks/</a>
- [11] 3GPP TSG RAN WG1, RP-171450, "Study on NR to support Non-Terrestrial Networks", West Palm Beach, USA, 5th 9th June 2017
- [12] 3GPP TR 38.821, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)", V16.2.0, Marzo 2023
- [13] 3GPP TR 37.340, "Multi-connectivity; Stage 2", V18.0.0, Dicembre 2023















