



PAPIER BLANC

L'avenir de la 5G est hybride - l'opportunité non terrestre

La technologie et les innovations d'antenne qui permettent
réseaux 5G hybrides terrestres/non terrestres

Publié par

MOBILE
WORLD LIVE

En partenariat avec

 **Cambridge
Consultants**
Part of Capgemini Invent

Résumé

La 5G est largement présentée comme un changeur de jeu dans les services haut débit mobiles en termes de vitesses de données, de faibles latences et de fonctionnalités de connectivité massives. Et c'est. Mais la puissance perturbatrice de la 5G ne se résume pas à des vitesses rapides - il s'agit également de l'architecture réseau qui en résulte qui apporte de nouveaux niveaux de flexibilité et d'innovations de service que l'industrie mobile n'a jamais vus auparavant. En fait, l'architecture elle-même ne ressemblera à rien de vu auparavant dans le secteur mobile, car ce sera la première architecture à combiner des réseaux terrestres et non terrestres (NTN) - y compris des plates-formes à haute altitude (HAP) telles que des véhicules aériens sans pilote (UAV) et à basse altitude. constellations de satellites en orbite terrestre (LEO) - dans un réseau hybride fournissant un véritable haut débit mobile omniprésent aux quatre coins du globe.

Les réseaux hybrides terrestres/NTN 5G ouvrent de nouvelles opportunités de revenus et de services pour les opérateurs, notamment le marché de consommateurs ruraux que les opérateurs ont trouvé trop coûteux à desservir. D'autres possibilités vont des applications commerciales rurales telles que l'agriculture, la foresterie et l'exploitation minière aux applications automobiles, aux services IoT industriels, à la logistique et au suivi des actifs et aux soins de santé à distance, pour n'en nommer que quelques-unes.

Cependant, tout comme la 5G doit évoluer de son incarnation actuelle vers la pleine promesse de vitesses en gigabits et de latences en millisecondes, les NTN ont leur propre voie d'évolution à suivre avant de pouvoir réaliser une intégration complète.

Les défis ne manquent pas, des budgets de liaison et des coûts des terminaux à l'atténuation des interférences RF et des décalages Doppler élevés. Même garder l'électronique au frais à haute altitude est un défi clé à surmonter.

Tous les défis se résument finalement à la technologie de l'antenne.

Les solutions d'antennes intelligentes avancées - y compris des percées clés telles que les antennes multifaisceaux et les antennes réseau à commande de phase numérique plus légères et plus évolutives - sont essentielles pour garantir que les NTN sont non seulement économiquement viables, mais également capables de s'intégrer de manière transparente dans les réseaux 5G terrestres. Et cela nécessitera l'implication de l'ensemble de l'écosystème des télécommunications - des opérateurs aux différents fournisseurs et intégrateurs de systèmes - pour que cela fonctionne et libère la véritable valeur de la 5G.

L'avenir de la 5G est hybride

L'ère de la 5G est en marche. Selon GSMA Intelligence, les opérateurs avaient dans le monde 234 millions de connexions 5G à la fin de 2020. Entre-temps, 135 opérateurs avaient lancé commercialement des réseaux 5G sur 52 marchés dans le monde à la fin de 2020.

Et ce n'est que le début. Il est bien entendu que les technologies 5G déployées aujourd'hui ne sont que la première étape d'une nouvelle voie évolutive vers les capacités principales de vitesses de données de 10 Gbit/s, de latences de 1 milliseconde et d'une connectivité massive. Aucun réseau 5G ne prend en charge ces capacités aujourd'hui, mais elles le feront.

Ce que l'on comprend peut-être moins, c'est que l'évolution de la 5G ne se limitera pas aux réseaux terrestres. L'essor de la 5G s'accompagnera de l'essor des réseaux non terrestres (NTN), qui comprennent les plates-formes à haute altitude (HAP) telles que les véhicules aériens sans pilote (UAV) et les satellites en orbite terrestre basse (LEO). Ces NTN seront intégrés aux réseaux terrestres pour créer une infrastructure mobile 5G hybride terrestre/non terrestre au service des consommateurs et des entreprises.

NTN, expliqué

Les satellites LEO ne sont pas nouveaux, bien sûr - Iridium Communications a lancé le premier réseau de ce type à la fin des années 1990 et a récemment achevé une mise à niveau de la constellation de satellites de 3 milliards de dollars pour fournir une couverture mondiale de ses derniers services. Un certain nombre de nouveaux projets LEO ont également vu le jour au cours des deux dernières années, notamment Blue Origin, StarLink, Telesat et OneWeb dans le but de fournir une connectivité supplémentaire à chaque point de la planète.

Les constellations LEO gagnent du terrain grâce à un certain nombre de facteurs, allant des conceptions de satellites innovantes et des coûts de lancement moins chers aux capacités avancées d'électronique et d'antenne.

Les HAP - en combinaison avec des antennes évolutives plus grandes - sont un développement plus récent, et ces plates-formes se présentent sous diverses formes, y compris les ballons et les aérostats. La plate-forme la plus prometteuse pour la connectivité des HAP est celle des drones, qui volent à une altitude plus élevée (environ 60 000 à

80 000 pieds, ce qui a l'avantage d'un temps stable et d'aucun trafic aérien commercial à gérer). Les plates-formes de drones bénéficient des avancées en matière d'automatisation, d'intelligence et d'énergie, leur permettant de voler de manière presque autonome pendant des semaines. Les réseaux basés sur HAP sont conçus pour fournir des services de connectivité qui peuvent être intégrés dans des services cellulaires terrestres dans des zones sans infrastructure au sol.

Pour les systèmes HAP et LEO, l'ingrédient clé de l'architecture hybride terrestre/NTN est le développement de systèmes d'antennes 4G et 5G avancés qui ont fait progresser considérablement le domaine de la formation de faisceaux et des réseaux phasés. Une antenne 4G ou 5G commerciale comporte aujourd'hui 64 éléments d'antenne. Cependant, une nouvelle technologie d'antenne a été développée qui peut transmettre simultanément des centaines de faisceaux qui peuvent être rétrécis si finement et précisément que c'est l'équivalent d'un utilisateur ayant son propre site cellulaire personnel. Nous discuterons des antennes plus en détail dans la section 5, mais il suffit de dire que les technologies d'antenne avancées permettent de transformer un drone ou un satellite LEO en une station de base 5G ou un fournisseur de liaison qui peut être intégré dans les réseaux 5G terrestres.

C'est pourquoi les LEO et les HAP auront tous deux leur place dans le futur écosystème 5G, déterminé par l'économie et les attentes des utilisateurs et du service à fournir. Par exemple, les HAP fourniront généralement une connectivité sur une zone rurale spécifique avec une densité de population trop faible par rapport aux normes terrestres pour fournir économiquement des services cellulaires, mais suffisamment importante pour justifier le déploiement d'un HAP pour desservir cette zone. Les HAP peuvent également communiquer avec des appareils standard et permettre une itinérance transparente entre les réseaux.

Pendant ce temps, les LEO pourront desservir des zones à densité de population beaucoup plus faible car la couverture de la constellation est globale par défaut. Même si la bande passante LEO sera quelque peu inférieure à la connectivité terrestre en raison des contraintes de puissance, de distance et de signal, de tels systèmes permettront toujours aux populations auparavant inaccessibles de se connecter avec des connexions suffisamment rapides.



Changeur de jeu

Il est difficile d'exagérer à quel point cette infrastructure hybride pourrait changer la donne pour les communications mobiles à large bande. L'évolution du réseau cellulaire à ce jour a été principalement une mise à niveau de l'infrastructure existante avec de nouvelles radios, des capacités d'antenne étendues et l'intégration de réseaux IP et logiciels. La 5G offre un paradigme différent de la radio au réseau central, créant des opportunités de revenus que les générations précédentes ne pouvaient pas offrir, tandis que les NTN offrent une solution viable pour augmenter la couverture pour tous. L'importance d'une couverture cellulaire complète à l'échelle nationale est marquée par le fait que de nombreux gouvernements nationaux interviennent pour financer les initiatives de large bande en milieu rural, dix ans après le début des déploiements 4G initiaux.

L'intégration d'infrastructures non terrestres se traduira par une infrastructure de réseau mobile différente de tout ce que nous avons vu dans les générations précédentes. Ce réseau 5G hybride offrira des opportunités de croissance à la fois aux opérateurs et à la chaîne d'approvisionnement, tout en offrant une gamme de nouveaux services précieux pour les consommateurs et les entreprises et en permettant enfin des services haut débit mobiles véritablement omniprésents. À long terme, les utilisateurs finaux ne sauraient pas s'ils communiquent avec une tour terrestre ou une plate-forme basée sur NTN. Ils seront simplement connectés, c'est tout ce qui compte vraiment pour eux.

Cette nouvelle architecture hybride pourrait donner naissance à des opérateurs plus convergés, aux côtés de ceux qui se concentrent sur une plate-forme ou l'autre. Mais les opérateurs convergents auront les avantages d'une meilleure économie, d'une meilleure flexibilité et d'une meilleure qualité de service. Nous explorerons la promesse des NTN et les opportunités de revenus qu'ils permettront dans la section suivante.



Opportunités de revenus NTN

En son cœur, la 5G n'est pas simplement une autre mise à niveau de vitesse pour le haut débit mobile, mais un changement de paradigme qui permet aux opérateurs d'innover et de créer de nouvelles opportunités de revenus que les générations précédentes n'étaient pas capables de supporter. L'exemple évident est le secteur des entreprises - les capacités IoT et les latences ultra-faibles de la 5G peuvent être combinées pour permettre des usines intelligentes, des campus intelligents et des villes intelligentes, ce qui représente une opportunité sans précédent pour les opérateurs mobiles de se développer en dehors de leur service typique axé sur le consommateur. portefeuilles.

Cette opportunité s'étend davantage lorsque vous regardez à l'extérieur des centres urbains et des banlieues. De nombreux fournisseurs ont vanté la capacité de la 5G à permettre la télémédecine dans les zones reculées, ainsi que des services alimentés par l'IoT pour l'agriculture, la foresterie et l'exploitation minière. Cependant, le défi permanent consiste à permettre la connectivité réelle dans les zones reculées où la mise en place de stations de base est coûteuse (en grande partie en raison de l'absence d'un réseau électrique fiable et d'une liaison suffisante) et donc économiquement non viable.

En d'autres termes, le potentiel de revenus est bien compris, mais les dépenses d'investissement et d'exploitation ne peuvent justifier le modèle économique.

Opportunités de revenus

L'intégration des RTN dans les architectures de réseaux des opérateurs va changer cela, tant en termes de coût de déploiement et d'exploitation de la connectivité à large bande que de la riche suite de services hautes performances que la connectivité permettra. Voici quelques exemples :

- Haut débit grand public rural qui relie le numérique diviser et étendre la portée de nouveaux services tels que les services bancaires et les paiements mobiles
- Applications commerciales rurales telles que la foresterie, l'exploitation minière et l'agriculture, de la maintenance prédictive et de la logistique à la surveillance des cultures et au traitement autonome
- Applications automobiles telles que le contrôle semi-autonome de véhicules longue distance
- Services IoT industriels (détection, surveillance des actifs distants, etc.) • Logistique de

bout en bout et suivi des actifs • Santé à distance, de la

gestion de la santé via la surveillance de la santé « directement vers le cloud » au traitement des maladies plus efficace grâce à une plus grande collaboration entre les professionnels de la santé • Le composant LEO peut également

étendre des services tels que le suivi des conteneurs, les opérations avancées de drones (y compris au-delà de la ligne de vue visuelle) et l'assurance maritime pour avoir une portée mondiale

Tous ces éléments s'ajoutent au potentiel de revenus qui stimulera l'investissement et le développement des NTN eux-mêmes et des architectures hybrides terrestres/NTN.

Avantages pour les opérateurs historiques

L'attrait de cette proposition pour les opérateurs n'est pas difficile à comprendre, bien que les avantages d'une architecture hybride terrestre/NTN s'étendent bien au-delà du potentiel d'acquisition de nouveaux clients et de revenus.

Pour commencer, les opérateurs devraient bénéficier d'une couverture bien supérieure. Il s'agit d'un différenciateur concurrentiel crucial pour la 5G - une couverture améliorée permet des modèles de service plus innovants nécessaires pour fournir un avantage concurrentiel supplémentaire.

Une mauvaise couverture est également un obstacle potentiel à l'utilisation des services. Peter Liu, analyste vice-président chez Gartner, a noté dans un récent webinaire que l'adoption de la 5G en Corée du Sud au cours de sa première année de service commercial a en fait été plus lente que la première année de service de la 4G, et bien que l'utilisation des données soit plus élevée, les ARPU sont généralement stables. Liu cite la couverture 5G limitée comme la principale raison du ralentissement de l'adoption - en avril 2020, les stations de base 4G étaient plus nombreuses que les stations de base 5G 8 contre 1, ce qui signifiait que les utilisateurs étaient beaucoup plus susceptibles d'obtenir la connexion 4G qu'ils avaient déjà plutôt que la connexion 5G les opérateurs vendaient.¹

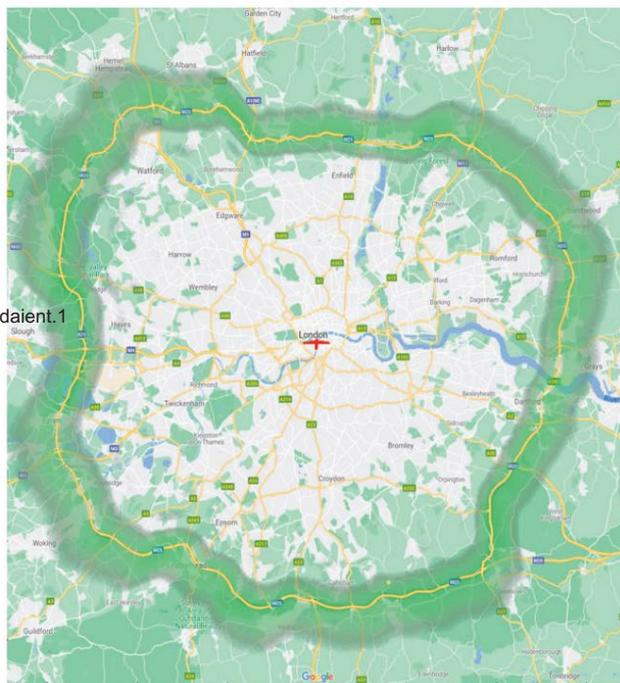
L'intégration NTN permet également aux opérateurs d'exploiter de nouvelles technologies. Des antennes réseau à commande de phase numérique sont en cours de développement qui permettent des faisceaux simultanés remplis d'énormes quantités de capacité supplémentaire. Par exemple, l'étude de cas sur la page suivante de Stratospheric Platforms Limited (SPL) et Cambridge Consultants démontre que 200 faisceaux peuvent prendre en charge 28 Gbps de données de liaison descendante avec 64QAM et 2x2 MIMO (ce montant pourrait être encore plus élevé avec 256QAM).

Les HAP ont l'avantage supplémentaire d'une grande flexibilité. En termes simples, contrairement à une station de base terrestre, ils ne sont pas cloués à un seul emplacement géographique - ils peuvent être déployés partout où une capacité supplémentaire est nécessaire.

En adoptant un réseau hybride, les NTN peuvent offrir des réductions significatives de capex et d'opex par rapport au déploiement de stations de base terrestres uniquement pour obtenir la même couverture. Selon la même étude de cas, fournir une couverture 5G complète à travers le Royaume-Uni nécessiterait des dizaines de milliers de sites terrestres supplémentaires, alors que la même couverture pourrait être obtenue avec une flotte d'environ 60 HAP.²

Les NTN offrent également aux opérateurs la possibilité de tirer le meilleur parti de leurs offres IoT cellulaires, qu'elles soient basées sur des normes 3GPP telles que NB-IoT ou LTE CAT-M. Les solutions IoT cellulaires connectent généralement des appareils tels que des capteurs avec des exigences de QoS relativement faibles.

La principale exigence pour de telles solutions est une infrastructure à faible coût qui permet une connectivité massive sur une large zone de couverture pour traiter de grandes quantités de données entrantes à partir de ces appareils. Alors que les réseaux 4G terrestres peuvent prendre en charge ces services via NB-IoT et LTE CAT-M, les plates-formes HAP et LEO leur permettent d'étendre considérablement la portée de ces services à un coût bien inférieur par rapport au déploiement de stations de base supplémentaires.



La formation de faisceau orientable offre une grande flexibilité, permettant de « peindre » la couverture sur les voies de transport et de la reconfigurer en vol pour suivre les véhicules individuels. Image reproduite avec l'aimable autorisation de Cambridge Consultants. Données cartographiques © 2020 Google Royaume-Uni

¹ Peter Liu, VP analyst, Gartner : « Rethink the Scale and Pace of 5G Investments in the New Normal », octobre 2020

² Cambridge Consultants, "La plus grande antenne aéroportée commerciale au monde : diffusion de la 5G depuis la stratosphère"

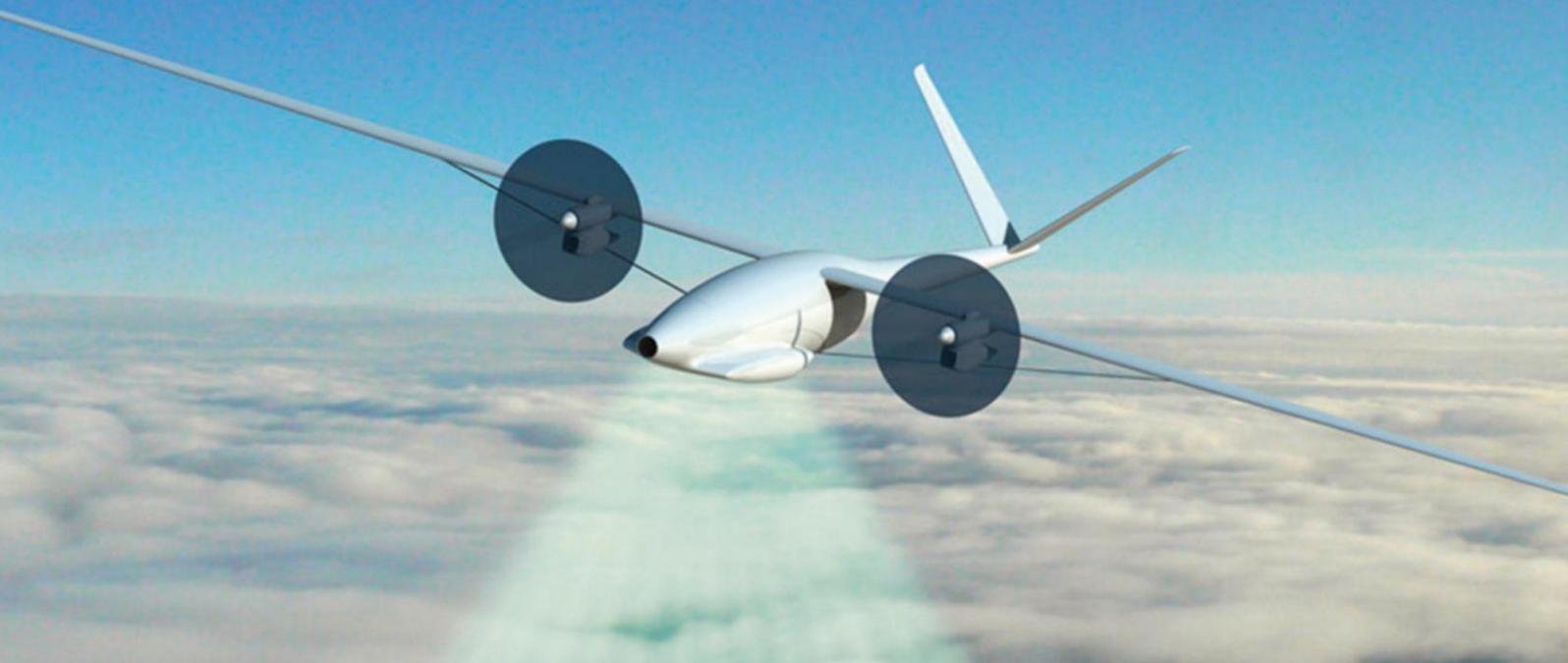


Image reproduite avec l'aimable autorisation de Stratospheric Platforms Limited (SPL)

Étude de cas : diffuser la 5G depuis la stratosphère

Stratospheric Platforms Limited (SPL), en partenariat avec Deutsche Telekom - son principal actionnaire, partenaire technologique et client de lancement - prévoit de lancer une flotte d'avions sans pilote à zéro émission dans la stratosphère pour fournir la 5G à une fraction du coût de l'infrastructure terrestre .

L'avion volera à une altitude de 20 000 mètres pendant plus d'une semaine et fournira la 5G aux réseaux existants et directement aux téléphones standard.

Le projet comprend ce que l'on pense être la plus grande antenne aéroportée commerciale au monde, développée par Cambridge Consultants. L'antenne à grande échelle mesurera plus de trois mètres carrés, créera 480 faisceaux individuels et fournira une couverture uniforme de la 5G haute performance dans des zones jusqu'à 140 km de diamètre, ou créera des modèles de précision pour couvrir des zones spécifiques telles que des villages reculés, des routes et des voies ferrées.

Cette unique « méga tour cellulaire dans la stratosphère » fournira des vitesses mobiles supérieures à 100 Gbit/s au total et fournira une couverture égale aux efforts combinés de centaines de mâts cellulaires terrestres.

Avantages pour les nouveaux opérateurs

Une architecture hybride terrestre/RTN crée non seulement le potentiel de développement de nouveaux services innovants, mais pourrait également annoncer la montée en puissance de tous les nouveaux opérateurs dans l'écosystème, tout en permettant aux opérateurs historiques de se développer dans de nouvelles zones de service.

Par exemple, nous pourrions voir des « mini-ORM » exploiter des constellations de satellites LEO ou des HAP pour fournir des services à large bande indépendants dans des zones mal desservies et non connectées. En outre, nous pourrions également voir des opérateurs historiques démarrer leurs propres NTN 5G privés pour étendre la couverture, lancer des services IoT spécialisés en temps quasi réel pour des choses comme la surveillance agricole, la surveillance des actifs pour les assurances ou la surveillance des dispositifs médicaux, et même créer de nouveaux MVNO. plates-formes.



Confrontation à la réalité : débuts pour les NTN

C'est la promesse d'une infrastructure hybride terrestre/NTN pour la 5G. Passons maintenant à la réalité.

Comme mentionné précédemment, la promesse de la 5G fait la une des journaux, mais la technologie a un chemin évolutif considérable à parcourir avant de pouvoir tenir ses promesses qui font la une des journaux.

Il en va de même pour l'intégration des NTN.

Bien que l'intégration fasse partie du plan en termes de développement 5G, les déploiements 5G actuels ne prendront pas en charge ce niveau d'intégration requis. Cela ne veut pas dire que la technologie est dans plusieurs années – comme nous le verrons dans la section suivante, la majeure partie est déjà là. Le fait est que la 5G terrestre elle-même en est encore aux premiers stades de déploiement, et il leur faudra du temps pour évoluer jusqu'au point où l'intégration a du sens.

C'est également le cas pour les NTN eux-mêmes. Certes, il y a clairement une dynamique derrière le développement des HAP et des systèmes satellitaires LEO, et plusieurs réseaux sont prêts pour un lancement commercial dans un avenir proche, comme AST SpaceMobile et Blue Origin. Cela s'ajoute au nouveau système Starlink qui a déjà été lancé.

Dans un premier temps, ils prendront principalement en charge des services à bande passante relativement faible tels que le haut débit grand public amélioré et l'IoT. En fait, l'intérêt initial est davantage centré sur les avantages économiques des NTN par rapport aux réseaux purement terrestres (via des coûts d'infrastructure réduits pour fournir la connectivité) plutôt que sur l'intégration des deux infrastructures.

Même ainsi, le fait est qu'il est déjà prévu de lancer les NTN avec des modèles commerciaux autonomes pour justifier leur investissement en premier lieu. Ces modèles commerciaux évolueront au fil du temps à mesure que la technologie mûrira et que de nouveaux cas d'utilisation émergeront - pour inclure l'intégration avec la 5G terrestre, qui non seulement maximisera la proposition de valeur des NTN, mais élargira également la portée de la 5G pour atteindre une couverture véritablement mondiale.

Cependant, pour que cela se produise, les NTN (à la fois les HAP et les LEO) sont confrontés à un certain nombre de défis qui doivent être surmontés avant de pouvoir offrir les avantages promis décrits ci-dessus. Les principaux défis incluent :

- Bilan de liaison : obtenir suffisamment de puissance de signal au sol pour fournir le service (ceci est vrai pour les deux HAP et LEO, mais c'est particulièrement plus difficile pour les LEO, comme nous le verrons dans la section suivante) •

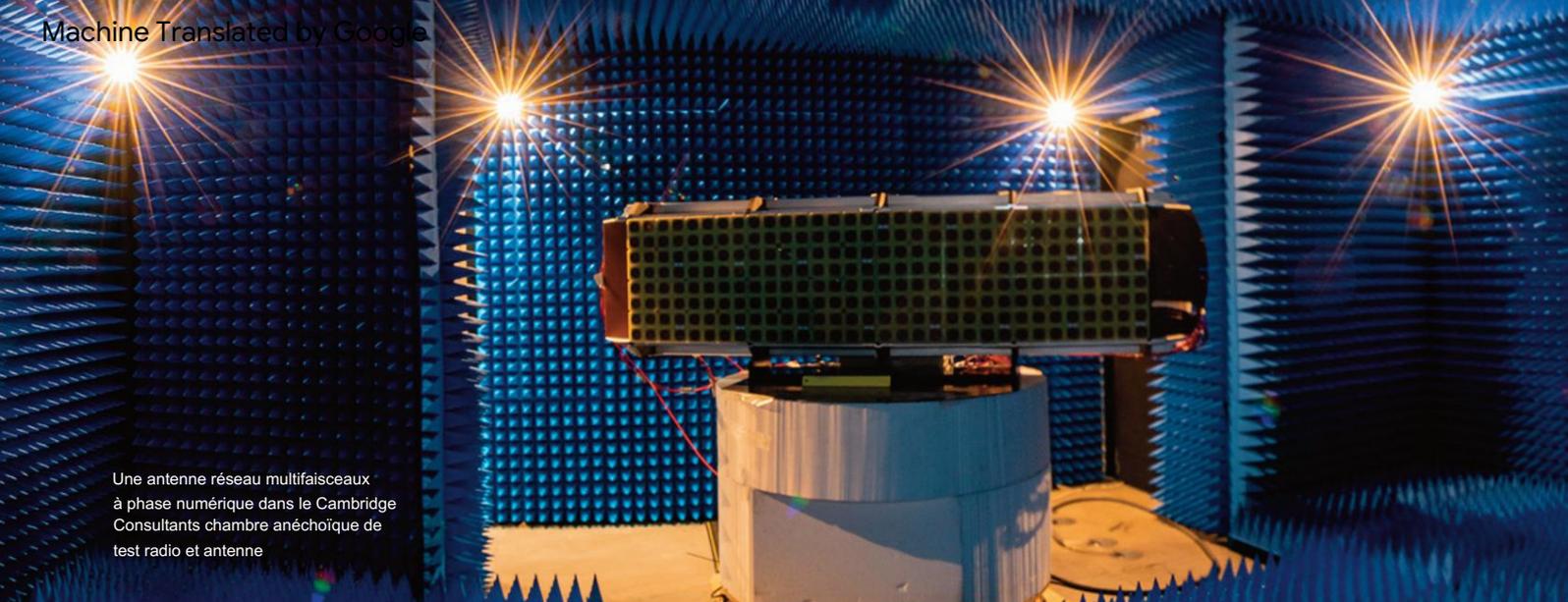
Réduire les coûts des terminaux et les facteurs de forme • Atténuer les interférences

RF • Pour les HAPS, maintenir la charge utile au frais, en particulier sur les longues périodes on s'attend à ce qu'ils soient en l'air

- Décalages Doppler (en particulier pour les LEO, car ceux-ci se déplacent d'un horizon à l'autre en 5 à 10 minutes)

- Intégration avec les réseaux terrestres

Nous aborderons ces défis en détail dans la section suivante.



Une antenne réseau multifaisceaux à phase numérique dans le Cambridge Consultants chambre anéchoïque de test radio et antenne

Tout est dans les antennes

Le vaste potentiel des NTN sera débloqué grâce à une combinaison de facteurs, allant des innovations en matière de technologie radio et d'antenne aux avions HAP et aux systèmes de contrôle, en passant par la réduction des coûts de lancement des satellites LEO.

Mais l'innovation cruciale réside dans les antennes intelligentes avancées, qui serviront de percée fondamentale qui aidera à surmonter les défis énumérés dans la section précédente et permettra une adoption généralisée par les opérateurs.

Budget de liaison et coûts terminaux/facteur de forme

Le plus gros obstacle pour les NTN servant de plates-formes 5G est sans doute le budget de liaison, pour la simple raison que le signal radio a une distance beaucoup plus longue à parcourir. Les satellites LEO orbitent à environ 800 km au-dessus de la surface de la Terre. Les systèmes HAP volent jusqu'à 24 km et doivent prendre en charge des terminaux de facteur de forme standard jusqu'à une portée de 100 km pour la 4G et de 300 km pour la 5G.

Il y a deux défis clés liés à relever ici :

- Une qualité de signal élevée est nécessaire pour maintenir une qualité de service élevée au sol
- Les coûts du terminal doivent être minimisés afin de maximiser l'adoption - idéalement, cela signifie que le NTN doit fonctionner de manière transparente avec des terminaux standardisés

Pour comprendre l'enjeu ici, il est utile de se pencher sur les terminaux LEO actuels. Les téléphones satellites sont comparativement plus grands que le smartphone moyen, avec une batterie et une antenne plus grandes. C'est parce que LEO

les téléphones satellites doivent transmettre dix fois la puissance d'un smartphone (environ 10 Watts contre 1 Watt) pour atteindre le réseau.

Cela changera avec le temps - des travaux sont en cours pour permettre aux LEO de prendre en charge la prochaine génération de combinés et de terminaux avec une taille, un poids, une puissance (SWaP) et des coûts réduits par rapport aux appareils que nous voyons aujourd'hui, ce qui augmentera l'accessibilité.

À court et moyen terme, la nouvelle technologie d'antenne a le potentiel de surmonter les défis actuels du budget de liaison pour permettre aux systèmes LEO d'augmenter la prise en charge des dispositifs NB-IoT. À plus long terme, nous pourrions voir des smartphones bimodes qui permettent aux opérateurs d'offrir un service 5G qui exploite les réseaux terrestres et les NTN de manière transparente - du point de vue du consommateur, le réseau auquel il accède n'aura pas d'importance (bien que les consommateurs connectés aux LEO inévitablement un niveau de service légèrement différent, comme nous le verrons ci-dessous).

Un aspect clé de la résolution du défi du budget de liaison pour les LEO est d'utiliser des antennes plus grandes sur les satellites et les terminaux, de transmettre à une puissance plus élevée et de faire des ajustements de protocole pour surmonter le retard de synchronisation. Pour les HAP, il est possible d'utiliser des antennes réseau à grande ouverture, qui créent des faisceaux hautement focalisés qui dirigent l'énergie RF là où elle est nécessaire pour les niveaux de service les plus élevés. Ceci est désormais possible grâce à l'innovation récente des antennes réseau multifaisceaux à commande de phase numérique.

Les antennes réseau multifaisceaux à phase numérique utilisent des milliers d'éléments pour l'émission et la réception. Cela peut permettre aux fabricants de drones d'installer un

Antenne de 9 mètres carrés pouvant fournir des centaines de faisceaux. Ces antennes peuvent également être construites à l'intérieur de l'enveloppe de poids et de consommation d'énergie des plates-formes NTN. En termes simples, ils permettent une qualité de signal élevée sur des centaines de faisceaux à une puissance d'émission beaucoup plus faible.

Dans le cas des HAP, cette technologie permettra aux plates-formes NTN de fonctionner avec les terminaux cellulaires et les smartphones existants. Cela signifie que les terminaux à faible coût peuvent être utilisés sur les marchés émergents, tout en permettant de nouveaux réseaux sans dépendre d'appareils de nouvelle génération spécialisés et coûteux. Cela signifie également que les opérateurs n'ont pas besoin de déployer de tout nouveaux appareils IoT pour se connecter aux HAP - ils peuvent conserver leurs appareils IoT existants.

Éviter les interférences RF (à la fois auto-induites et malveillantes)

Les interférences RF sont un problème pour tout réseau sans fil, car elles ont un impact direct sur la qualité du service. Cependant, l'atténuation des interférences est particulièrement difficile pour les plates-formes NTN qui ne sont pas fixes mais constamment en mouvement. Les NTN doivent éviter non seulement d'interférer avec les signaux terrestres, mais aussi les uns avec les autres.

Il existe deux catégories principales d'interférences RF à gérer :

Auto-interférence intercellulaire : il s'agit d'un problème avec tout réseau cellulaire à fréquence unique. Étant donné que les cellules adjacentes utilisent la même fréquence, l'énergie indésirable d'une cellule peut se répandre dans une autre.

Les interférences intercellulaires peuvent être réduites au minimum en utilisant des antennes qui ont de faibles lobes secondaires, généralement appelées « bon contrôle des lobes secondaires ». Les lobes latéraux bas rejettent les interférences provenant d'autres cellules. Pour ce faire, les matrices doivent disposer d'un système d'étalonnage précis. Il est nécessaire de maintenir en permanence le réseau en étalonnage dans les conditions de température changeantes pendant que le système fonctionne.

Interférence malveillante et délibérée : un tiers hostile ayant l'intention de refuser le service peut intentionnellement essayer de brouiller les signaux NTN. Cela peut être atténué en utilisant une formation de faisceau nulle pour rejeter les signaux indésirables.

Un autre aspect prometteur de l'atténuation des interférences RF est l'intelligence artificielle (IA), qui pourrait être utilisée pour adapter la capacité de couverture en temps réel en apprenant des modèles. L'IA a également des applications potentielles en termes d'évaluation de l'expérience utilisateur et d'ajustement de la configuration du réseau en conséquence.

Minimiser la consommation d'énergie et gérer la dissipation thermique de la charge utile

La consommation d'énergie est un problème crucial pour les NTN à plusieurs niveaux. Pour commencer, l'énergie disponible et la consommation électrique de la charge utile déterminent la durée du vol. Pour les HAP, la durée du vol est un élément important de l'économie - mettre un UAV hors service pour atterrir et faire le plein coûte du temps et de l'argent.

Ensuite, il y a la question de la dissipation thermique, en particulier pour les HAP. Des niveaux élevés de qualité de signal impliquent des besoins élevés en énergie CC. Cela signifie également que l'électronique créera plus de chaleur pour atteindre le bilan de liaison nécessaire sur un grand nombre de faisceaux. Cela nécessite un dissipateur thermique plus grand, ce qui ajoute de la taille et du poids, et réduit ainsi les temps de vol.

Un défi supplémentaire est que le refroidissement de l'électronique est en fait plus difficile aux altitudes des HAP. Alors que l'atmosphère est beaucoup plus froide à 80 000 pieds, c'est aussi un dixième de la densité de l'air par rapport au niveau de la mer. Le transfert de chaleur consiste essentiellement à déplacer cette chaleur d'une masse à une autre - par conséquent, une densité d'air plus faible signifie moins de masse pour transférer la chaleur. (Pour les LEO, le défi avec la dissipation thermique, bien sûr, est qu'il n'y a pas de densité d'air du tout.)

En d'autres termes, la génération de chaleur doit être réduite autant que possible afin qu'il y ait moins de fer à transporter et moins de chaleur à dissiper.



La résolution de ce problème commence par mettre une source d'alimentation appropriée sur le HAP dimensionnée pour fournir une puissance suffisante à la charge utile pendant la durée du vol. Le HAP doit également être dimensionné pour supporter le poids de l'alimentation électrique et de la charge utile pendant la durée du vol. Pour les LEO, l'alimentation électrique est limitée par la taille du panneau solaire, la capacité de la pile à combustible ou la capacité de transporter toute autre source d'alimentation.

L'électronique numérique avancée dans l'antenne à réseau phasé peut être utilisée pour réduire la consommation d'énergie et la dissipation thermique. Il existe des solutions sous la forme de nouveaux chipsets qui aident à cela. Le corollaire est qu'un refroidissement efficace réduit le poids et réduit les besoins en énergie, ce qui signifie des drones plus petits et des temps de vol plus longs. Pour les drones, les antennes conçues avec des systèmes de refroidissement passifs utilisent l'air circulant à travers le drone en vol pour refroidir l'électronique.

Surmonter les décalages Doppler pour maintenir l'intégrité du signal

Comme mentionné précédemment, les satellites HAP et LEO ne restent pas au même endroit fixe - ils sont constamment en mouvement à grande vitesse. Les signaux radio provenant d'objectifs en mouvement rapide entraînent un effet Doppler, que le récepteur doit surmonter pour que le système puisse fonctionner. La synchronisation doit surmonter les retards de longue portée.

Ce défi est particulièrement exigeant pour les satellites LEO, car ceux-ci se déplacent d'un horizon à l'autre en environ cinq à 10 minutes à des vitesses d'environ 27 000 kilomètres par heure. En comparaison, les UAV subissent des effets Doppler réduits en raison d'une vitesse plus faible, d'une portée réduite et d'un budget de liaison plus facile et d'une plus grande zone de couverture par HAP. (Pour les HAP tels que les dirigeables et les aérostats, le Doppler n'est naturellement pas un problème.)

Pour les LEO, l'accès au système doit prendre en charge de longs délais aller-retour et la synchronisation du système doit être possible sur du matériel à faible coût sur une large plage de températures avec un Doppler élevé. Résoudre ces problèmes sur les systèmes cellulaires existants, de la 2G à la 5G, nécessite de combiner des techniques sophistiquées de traitement du signal RF et numérique, ce qui a le potentiel de permettre une portée bien plus grande que celle que nous voyons aujourd'hui.

Assurer l'intégration du réseau terrestre

L'intégration des RTN aux réseaux terrestres 4G/5G pose un certain nombre de défis à relever :

- Intégration du plan de fréquences basé sur NTN dans le plan de fréquences cellulaire terrestre •

Problèmes de radiomessagerie : sur quelle cellule et sur quel réseau faites-vous appel ? Comment les zones de localisation

sont-elles gérées ? • Intégrer les stations de base NTN avec le réseau terrestre réseaux centraux et de transport

- Garantir logiquement un transfert transparent entre les cellules NTN et la prochaine cellule terrestre

La planification des fréquences peut être gérée via une séparation géographique entre la couverture terrestre et non terrestre, ou en utilisant différentes fréquences dédiées pour les réseaux NTN et terrestres et en permettant le transfert entre les deux zones de couverture.

Le handover peut être effectué en utilisant les mêmes protocoles et algorithmes que les réseaux terrestres utilisent, mais adaptés à l'architecture hybride. La raison : si le réseau va transmettre un signal de la station de base à cinq milles au sol à une station de base aéroportée à 30 km au-dessus de l'utilisateur, cela signifie passer d'une forme de force de signal, de retard et de latence, etc., à un autre. Les protocoles doivent être modifiés pour gérer ce niveau de différence. Cela nécessite également la mise en œuvre de différentes stratégies de routage - par exemple, au lieu d'acheminer du cœur à la station de base jusqu'à l'utilisateur, le réseau doit acheminer du cœur à la passerelle du satellite jusqu'à l'utilisateur. Les opérateurs devront concevoir des protocoles et des paramètres appropriés dans le réseau - par exemple plus de HARQ, des tampons RLC plus grands, des modifications RACH, une distribution RS, etc.

Le backhaul doit également être assuré du NTN au réseau terrestre. Il existe différentes options pour ce faire, telles que mmWave et l'auto-backhaul avec la même antenne effectuant le fronthaul, par exemple. Celles-ci couvrent les techniques de tubes coudés ainsi que les méthodes de régénération de signal plus avancées.

Stratégies pour le nouvel écosystème hybride 5G

La montée en puissance de l'infrastructure 5G hybride fournira une gamme de nouveaux services précieux pour les consommateurs et les entreprises, et créera de nouvelles opportunités pour à peu près tout le monde dans l'écosystème.

C'est une question de « quand », pas de « si » – le 3GPP intègre la prise en charge des éléments NTN dans la version 17, y compris les UAV. Selon le calendrier actuel, le 3GPP prévoit d'achever les travaux sur la version 17 vers le milieu de 2022.

La combinaison d'une technologie radio avancée, associée aux avantages économiques inhérents des RTN par rapport aux réseaux terrestres, verra un nombre croissant d'opérateurs explorer les réseaux hybrides terrestres/NTN et les intégrer dans leurs futures stratégies.

En attendant, cette opportunité s'étendra pour couvrir l'ensemble de l'écosystème des télécommunications, avec la possibilité pour de nombreux fournisseurs de diversifier leurs portefeuilles, en particulier dans des domaines tels que les antennes, l'électronique (pour réduire le SWaP), les nouveaux protocoles de réseau et l'IA (pour l'orientation des faisceaux).

Voici quelques-unes des stratégies futures que différents acteurs de l'écosystème devraient envisager pour tirer parti de cette opportunité :

Fournisseurs de services : Les avantages économiques des RTN par rapport aux réseaux terrestres (coûts d'infrastructure réduits,

etc.) offrent une énorme opportunité de faire partie d'un réseau de transporteurs entièrement intégré. Les fournisseurs de services, qu'il s'agisse d'opérateurs de téléphonie cellulaire traditionnels ou d'entreprises de satellites, devraient prendre cette opportunité au sérieux, tant pour la réduction des coûts que pour les nouveaux revenus des services.

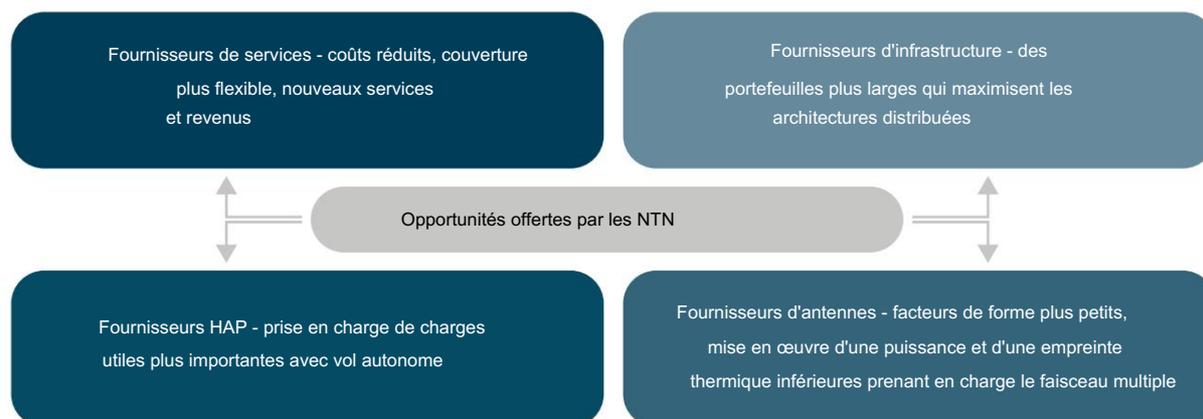
Fournisseurs d'infrastructure : les fournisseurs et les intégrateurs de systèmes doivent optimiser leurs portefeuilles pour ces applications afin de permettre une intégration transparente des NTN dans leurs solutions réseau. Ils devraient également rechercher de nouvelles façons de diviser la pile afin de maximiser les avantages des architectures distribuées utilisant NTN pour les têtes à faible PHY et radio.

Fournisseurs d'antennes : ces fournisseurs doivent se pencher sur des implémentations de facteurs de forme plus petits, de puissance et d'empreinte thermique inférieures prenant en charge le multifaisceau.

Fournisseurs HAP : les acteurs HAP doivent fournir des plates-formes capables de prendre en charge de grandes charges utiles avec un vol autonome.

Pendant ce temps, la banalisation éventuelle des technologies habilitantes, combinée à de faibles coûts, rendra viable la fourniture d'un réseau de gros pour les entreprises et les secteurs verticaux - et même introduira une qualité de réseau personnalisée.

Figure 1. Stratégies pour le nouvel écosystème hybride 5G



Parlons de la latence

L'avenir des réseaux 5G est une infrastructure hybride combinant des réseaux cellulaires terrestres avec des réseaux NTN tels que les HAP et les constellations de satellites LEO. Cependant, cette proposition soulève une question assez évidente : qu'en est-il de la latence ?

L'un des principaux arguments de vente de la 5G est des latences ultra-faibles de moins d'une milliseconde, ce qui promet l'avènement d'applications allant du jeu mobile en temps réel à la chirurgie à distance et aux voitures autonomes connectées, entre autres. Cependant, cela présente un défi bien connu pour les réseaux satellitaires, dont les capacités de latence sont limitées par une simple physique - les signaux de données satellitaires doivent parcourir des distances beaucoup plus importantes sans l'aide de répéteurs.

En effet, une caractéristique clé des systèmes LEO et MEO (orbite terrestre moyenne) est de rapprocher le matériel de la Terre pour minimiser la distance que les données doivent parcourir.

Mais alors que les altitudes LEO de 800 km réduisent considérablement la latence par rapport aux satellites géostationnaires, l'ambition de 1 milliseconde reste hors de portée. (Les plates-formes HAP telles que les UAV peuvent réduire davantage la latence, mais pas encore assez pour atteindre les niveaux de latence 5G.)

Cela soulève la question de savoir si une architecture hybride terrestre/NTN risque d'avoir une qualité de service

5G incohérente. Le transfert d'une station de base terrestre à un NTN serait techniquement transparent, mais l'utilisateur remarquerait si les performances d'une application très sensible à la latence qu'il utilise chutent soudainement.

Cependant, la disparité n'est peut-être pas si drastique - du moins pas avant longtemps. Une chose à garder à l'esprit est qu'actuellement, aucun réseau 5G en service commercial n'offre une latence de 1 milliseconde, et ce sera le cas pendant plusieurs années (en dehors des déploiements spécifiques à des applications, telles que les usines intelligentes).

Nous en sommes aux premiers stades de la 5G, et la plupart des réseaux 5G commerciaux utilisent actuellement le non

version autonome (NSA) de la norme 5G New Radio (NR) du 3GPP. Cela signifie que les radios 5G sont superposées sur les réseaux centraux 4G LTE, ce qui limite les latences aux niveaux LTE. En d'autres termes, les opérateurs ayant une couverture 5G limitée sont déjà confrontés au même défi de cohérence avec leurs réseaux terrestres chaque fois qu'un utilisateur 5G est transféré vers la 4G.

Cela dit, la 5G et la 4G ont toujours été censées coexister pendant longtemps (tout comme la 3G et la 4G). Les opérateurs disposent déjà d'outils de planification et d'optimisation du réseau pour les aider à gérer cette coexistence avec une perturbation minimale de la qualité de service pour l'utilisateur.

Ce sera également le cas avec les NTN. Avec les bons ajustements de protocole pour tenir compte de facteurs tels que le retard de planification, les NTN tels que les HAP déployés aujourd'hui devraient être en mesure de suivre les performances de latence des réseaux haut débit mobiles terrestres 4G, qui se situent au niveau de 10 s de millisecondes.

Quant aux LEO, bien qu'ils soient tout simplement trop éloignés pour prendre en charge des latences inférieures à environ 80 ms, il existe de nombreuses applications qui peuvent très bien fonctionner avec ces latences.

En d'autres termes, chaque couche d'une architecture hybride terrestre/NTN aura des capacités de latence différentes. Les fournisseurs de services peuvent déployer la couche appropriée en fonction des exigences et de l'analyse de rentabilité d'une application ou d'un emplacement donné. Les services peuvent ensuite être segmentés en différents niveaux de QoS - par exemple, les réseaux 5G terrestres et privés peuvent prendre en charge des applications avec des services à latence ultra-faible, tandis que les HAP et LEO peuvent prendre en charge les applications à latence courantes sur de vastes zones. Cela permettra d'exploiter pleinement les atouts des différentes technologies tout en permettant des investissements ciblés.

Conclusion

L'avenir des réseaux 5G n'est pas les réseaux terrestres habituels, mais une architecture hybride de réseaux terrestres et non terrestres offrant une couverture omniprésente, étendant la portée (et les avantages) du haut débit mobile ultrarapide aux communautés mal desservies et non desservies. C'est une question de quand, pas de si. Les NTN arrivent ; ils offrent des avantages économiques évidents aux fournisseurs de réseau et une valeur ajoutée aux consommateurs ; et ils ont un rôle clair à jouer dans cet avenir.

Les tendances et technologies habilitantes pour cette architecture 5G hybride se rejoignent toutes maintenant - antennes intelligentes, faibles coûts de lancement pour les LEO, longue durée de vols pour les HAP avec un contrôle et une distance appropriés, et améliorations des protocoles pour permettre une intégration transparente et apporter des améliorations spectaculaires à la fourniture de la connectivité cellulaire. Au cœur de tout cela se trouve le développement et le déploiement d'antennes avancées et intelligentes, et la clé de leur succès est de les rendre suffisamment petites et économes en énergie pour être viables sur une plate-forme HAP/LEO - ce qui est désormais possible.

C'est le début des NTN, mais c'est aussi le début des déploiements de la 5G. Les opérateurs doivent repenser leurs stratégies de déploiement pour intégrer une composante NTN et profiter des nouvelles opportunités et du potentiel de croissance que cela créera.

Dans le même temps, tous les fournisseurs de technologies de l'écosystème doivent également entrer dans le jeu et réfléchir à la manière dont leurs portefeuilles peuvent se développer pour prendre en charge ce cas d'utilisation émergent.



Continuez la conversation...

Cambridge Consultants a fait ses preuves en matière de conseil stratégique et de développement technologique dans applications sans fil hautes performances.

Notre expertise technique couvre un éventail de disciplines, à partir de systèmes radio haute performance et avancés antennes, aux plates-formes de gestion de services et apprentissage automatique.

Nous connaissons et comprenons les exigences de divers industries et ont une expérience directe de travail sur les nouvelle génération de réseaux terrestres, satellite connectivité et plates-formes à haute altitude.

Nous pouvons être votre guide lorsqu'il s'agit de planifier votre chemin pour les cinq à dix prochaines années de succès et d'aide vous développez la technologie pour le réaliser.

Veillez nous contacter pour poursuivre la conversation.

Derek Long, responsable des télécommunications et de la téléphonie mobile, Cambridge Consultants
derek.long@cambridgeconsultants.com



Cambridge Consultants, qui fait partie de Capgemini Invent, est un leader mondial du conseil en innovation et en technologie, aidant les entreprises ambitieuses à réaliser ce qui semble impossible. Des grandes multinationales aux start-ups innovantes, nos clients nous font confiance pour développer des technologies de rupture et résoudre leurs défis les plus critiques et à haut risque. Avec une équipe de plus de 900 personnes à Cambridge (Royaume-Uni), Boston, San Francisco et Seattle (États-Unis), Singapour et Tokyo, nous disposons de l'une des plus grandes équipes de développement sans fil indépendantes au monde.

Au fil des ans, nous avons dirigé la création de technologies sans fil majeures et développé des plateformes de services qui ont transformé les activités de nos clients. Cela inclut la première radio Bluetooth à puce unique au monde, des radios qui gèrent plus de la moitié de l'espace aérien du globe et le réseau cellulaire le plus dense au monde, qui a révolutionné l'automatisation des entrepôts.

Nous avons créé des percées qui défient les conventions sur divers marchés. Celles-ci vont des télécommunications, de l'IoT et du satellite aux soins de santé, à la consommation, à l'audio et à l'automobile. Cette expertise technique et cette connaissance approfondie du marché fournissent également la vision commerciale qui aide nos clients à naviguer dans le paysage technologique émergent et offre l'intelligence pour étayer leurs décisions stratégiques les plus critiques.

www.CambridgeConsultants.com



Mobile World Live est la première destination d'actualités, d'informations et de renseignements pour l'industrie mobile mondiale. Armés d'une équipe dédiée de journalistes expérimentés du monde entier, nous sommes le média le plus fiable de l'industrie pour les dernières nouvelles, les reportages spéciaux, les reportages d'investigation et l'analyse experte des plus grandes histoires d'aujourd'hui.

Nous nous engageons fermement à fournir un journalisme précis et de qualité à nos lecteurs par le biais d'articles de presse, de diffusions vidéo, d'événements en direct et numériques, et plus encore. Notre public engagé de professionnels du mobile, de la technologie et des télécommunications, y compris des cadres supérieurs, des décideurs d'entreprise et des influenceurs, dépend du contenu et des analyses inégalés que Mobile World Live fournit pour prendre des décisions commerciales éclairées au quotidien.

Depuis 2016, Mobile World Live dispose également d'une équipe interne d'experts en médias et en marketing qui travaillent directement avec nos partenaires de marque pour produire du contenu sur mesure et le diffuser à notre public de manière stratégique mais innovante. Notre portefeuille de travaux personnalisés - y compris des livres blancs, des webinaires, des entretiens en studio en direct, des études de cas, des enquêtes sur l'industrie et plus encore - tire parti du même niveau de connaissance et de perspective de l'industrie qui propulse notre salle de presse.

Mobile World Live est publié par la GSMA, mais indépendant sur le plan éditorial, produisant des publications Show Daily pour tous les événements de la GSMA et Mobile World Live TV - le service de diffusion primé du Mobile World Congress et hébergeant les présentations des événements de la GSMA.

[En savoir plus sur www.mobileworldlive.com](http://www.mobileworldlive.com)