

# 6G, UNE AMBITION DURABLE



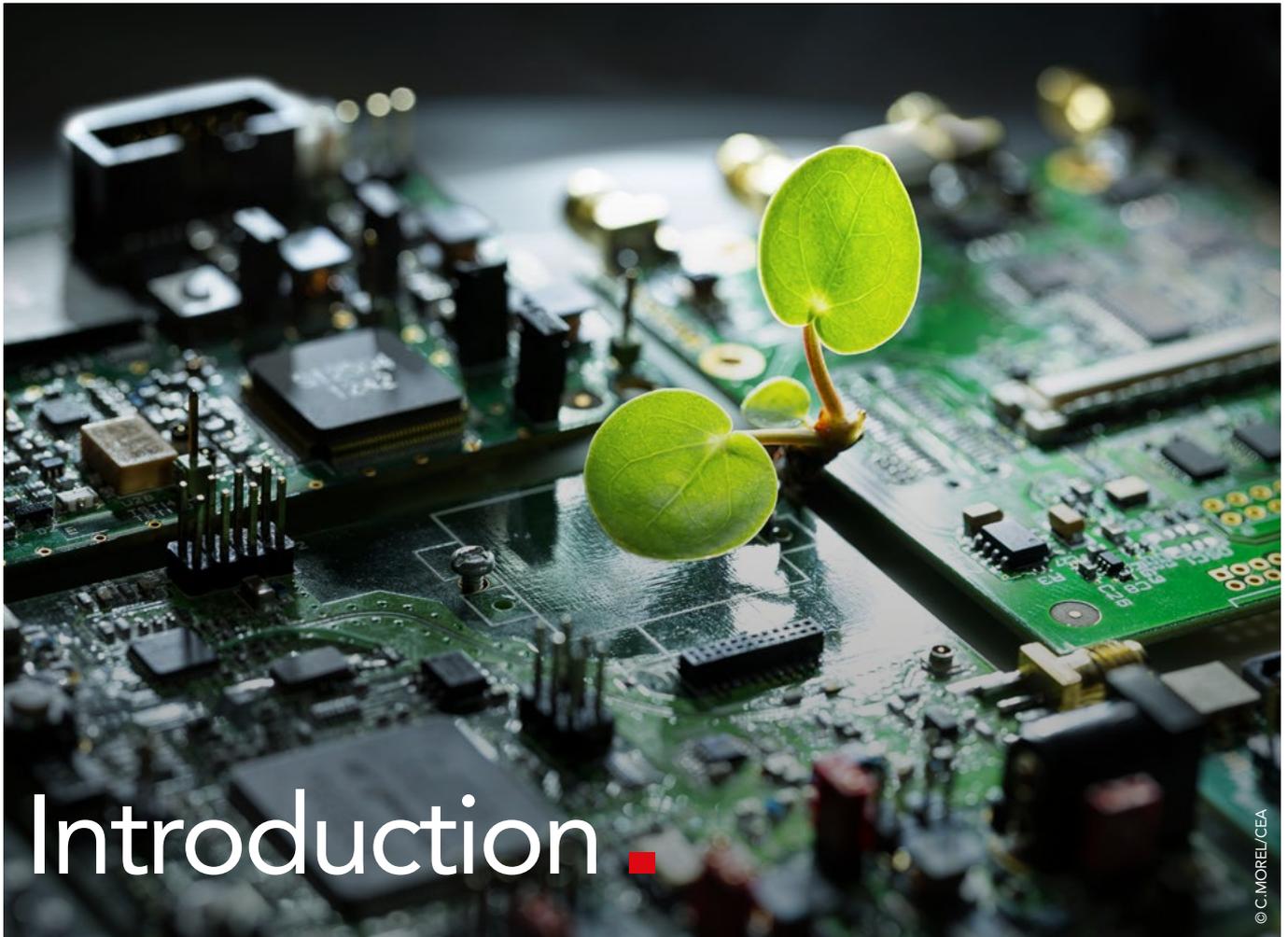
© C. MOREL/CEA

**Contact Presse :**

Camille Giroud  
T. 04 38 78 37 13  
[camille.giroud@cea.fr](mailto:camille.giroud@cea.fr)

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
À quoi ressemblera la 6G ?	3
Quelles seront les performances de la 6G ?	4
<b>LES BESOINS EN TECHNOLOGIES MATÉRIEL</b>	<b>5</b>
Adapter nos standards CMOS aux bandes millimétriques	6
LiFi : L'alternative qui monte	7
Développer des systèmes radiofréquences optimisés et moins gourmands	8
Nouveauté 6G : le déploiement de surfaces intelligentes reconfigurables	10
Géolocaliser au centimètre près et sans interruption de service	12
Objets connectés : trouver la bonne couverture	14
<b>PROJETS INSTITUTIONNELS</b>	<b>15</b>



**A**vec 9 milliards d'humains connectés et cinq fois plus d'objets communicants dans le monde d'ici 2030, le déluge des données est devenu un véritable sujet. Comment soutenir cette cadence ? Est-ce viable ? Le CEA-Leti apporte une réponse globale à cette problématique environnementale. L'institut met au point de l'intelligence artificielle embarquée pour limiter les transferts de données vers le *Cloud*, parfois situé à des milliers de kilomètres de l'utilisateur. Toujours dans cette démarche, le CEA-Leti participe aux futurs développements 6G.

## À QUOI RESSEMBLERA LA 6G ?

Si les générations précédentes s'appuyaient sur la continuité des technologies préexistantes avec pour objectif la recherche de performance absolue, la 6G vue par le CEA-Leti a pour ambition de s'inscrire dans une démarche nouvelle : allier frugalité énergétique et performance.

Pour améliorer les capacités d'accès, les chercheurs envisagent d'exploiter conjointement et massivement les plates-formes satellitaires, aériennes et terrestres. En parallèle, ils renforcent les capacités de calcul et d'intelligence au sein même des composants pour améliorer les performances de débit et la latence, tout en limitant la consommation énergétique. Enfin, la 6G devra permettre l'avènement de nouveaux services dès 2030.

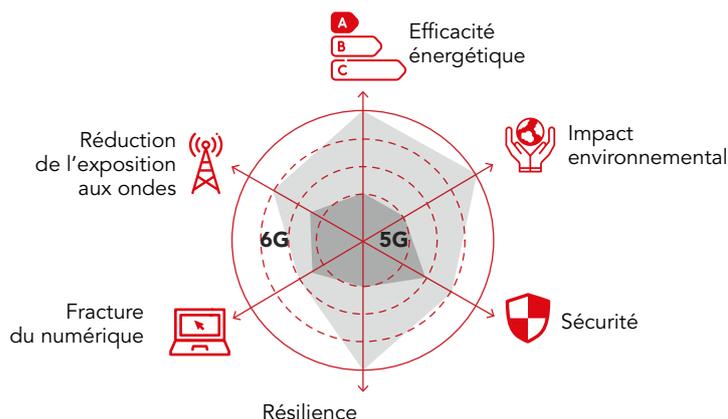
## QUELLES SERONT LES PERFORMANCES DE LA 6G ?

Si la performance en termes de débit reste l'objectif clé, elle ne se fera pas à n'importe quel prix. Le CEA-Leti cherche à prendre en compte les besoins et les préoccupations de la société, y compris les critères de durabilité.

	5G+	6G
Trafic	10 Mbps/m <sup>2</sup>	~ 1-10 Gbps/m <sup>3</sup>
Débit descendant (Infrastructure vers Mobile)	20 Gbps	1 Tbps
Débit montant (Mobile vers Infrastructure)	10 Gbps	1 Tbps
Uniformité de l'expérience utilisateur	50 Mbps 2D partout	10 Gbps 3D partout
Latences	Up tp 1 ms max	Up to 0.1 ms max
Guigue temporelle	NS	1 μs
Fiabilité de la transmission, taux d'erreur	Up to 10 <sup>-5</sup>	Up to 10 <sup>-9</sup>
Énergie/bit	NS	nJ/bit
Précision géolocalisation	10 cm en 2D	1 cm en 3D

### Durabilité

Les chercheurs et les industriels européens partagent, à travers l'initiative NEW-6G (voir encadré), une volonté commune de créer une toute nouvelle génération capable d'atteindre les objectifs de durabilité et de limiter l'impact de la hausse massive des données. Pour ce faire, les technologies des précédentes générations devront subir des changements en profondeur « C'est là le cœur de la mission du CEA-Leti. Au-delà du développement de nouveaux composants moins énergivores, c'est tout une orchestration à réinventer » indique Jean Baptiste Doré, responsable du programme 6G au CEA-Leti.



Les chercheurs devront repousser les performances tout en maîtrisant voire diminuant le bilan énergétique. Les technologies 6G devront être capables d'optimiser les ondes pour pointer vers l'utilisateur et ainsi éviter un vaste champ d'émissions et des pertes énergétiques considérables.

### NEW-6G : Le CEA-Leti fédère l'ensemble des acteurs académiques et industriels

En février 2021, le CEA-Leti a annoncé la création d'un Think Tank regroupant une grande partie des acteurs académiques et industriels européens. Les géants européens des télécoms aux fonderies, en passant par les centres de recherche ont répondu à l'appel. Ensemble, ils conçoivent une feuille de route en accord avec les objectifs de performance et de durabilité, et s'engagent à coopérer pour faire naître cette sixième génération.



**Emilio Calvanese Strinati**, responsable des projets européens 6G et de l'initiative NEW-6G au CEA-Leti



# Les besoins en technologies matériel.

© C. MOREL/CEA

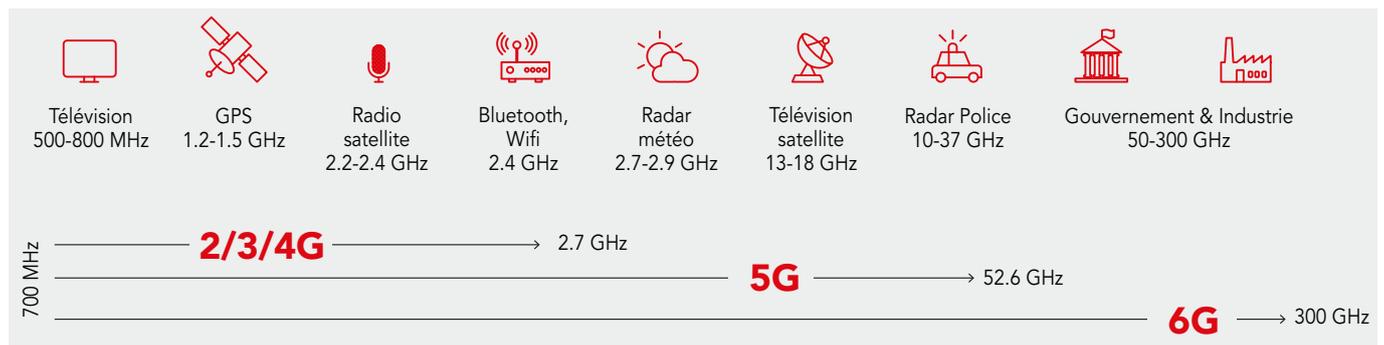
**P**our développer une nouvelle génération de systèmes de communication, les ingénieurs du CEA-Leti s'intéressent à des gammes de fréquence plus hautes, capable d'offrir des bandes passantes plus importantes et des transmissions toujours plus efficaces. Dans la continuité de la 5G, la 6G s'appuiera sur les bandes de fréquences millimétriques au-delà de 100 GHz.

## Plusieurs verrous technologiques doivent pourtant être levés :

- La propagation des ondes à ces fréquences devient difficile ;
- Les technologies à base de silicium atteignent leur limite.

Le CEA-Leti adopte une approche globale pour répondre à ces enjeux. D'une part, l'utilisation de matrices d'antennes

permet d'améliorer l'efficacité spectrale en propageant les ondes dans une direction donnée, et non plus tous azimuts, compensant ainsi les pertes de propagation. D'autre part, l'institut étudie de nouveaux matériaux et développe de nouveaux modules pour les bandes au-delà de 100 GHz. Ces modules combinent standards de la microélectronique (CMOS) et matériaux III-V.



## ADAPTER NOS STANDARDS CMOS AUX BANDES MILLIMÉTRIQUES

Avec leur bande passante élevée et inégalée en terme de débits, les futures communications sans fil 6G utiliseront les ondes millimétriques jusqu'à 300 GHz. Les chercheurs du CEA-Leti s'intéressent à la bande D, la bande dite « candidate » pour la 6G, dotée d'un spectre allant de 110 GHz à 170 GHz. Les technologies silicium étant aujourd'hui peu adaptées à cette bande, ils tentent de repousser leurs limites.

Une course contre la montre est donc lancée pour développer un nouveau module intégré capable de répondre aux exigences de haute performance énergétique et de coût.

- L'institut a développé en 2021 un premier démonstrateur capable capable d'atteindre 100 Gb/s avec une très bonne efficacité énergétique.
- Pour la communication d'appareil à appareil, le CEA-Leti a démontré qu'il était possible d'atteindre un débit de plusieurs Gbit/s en utilisant le multiplexage spatial et une architecture antennaire efficace en énergie

### Matériaux et performances radiofréquence des circuits

Pour améliorer la vitesse, la qualité et les capacités de calcul des smartphones, un procédé de fabrication générique nommé RF-Silicon-on-Insulator (SOI) Smart Cut™ inventé au CEA-Leti et transféré à SOITEC, est aujourd'hui utilisé dans tous les smartphones de la planète. Ce substrat augmente les performances de radiofréquence des circuits et modules d'émission-réception. Il servira aussi de base aux futurs smartphones 6G.



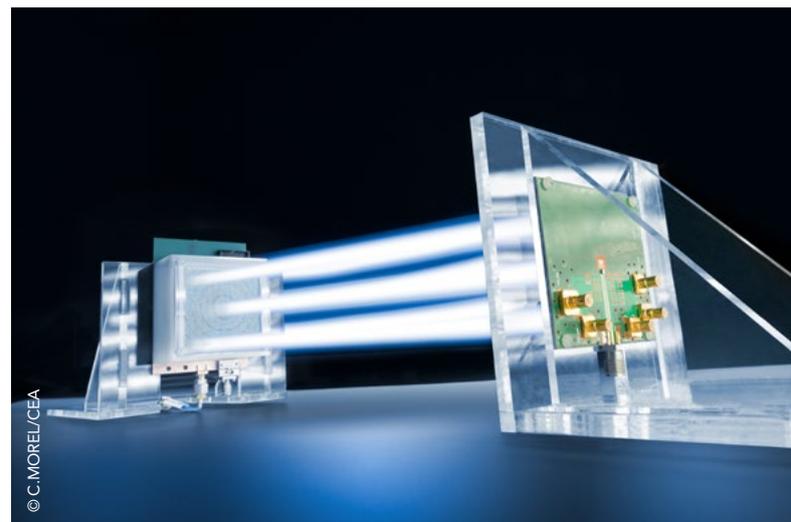
Les technologies CMOS nous permettent encore de concevoir des systèmes dans la partie basse de la bande D, mais nous avons atteint leurs limites. Il existe des pertes de propagation des ondes et ces pertes augmentent à mesure que l'on monte en fréquence.



**José-Luis Gonzalez Jimenez, directeur de recherche au CEA-Leti**

### DÉMONSTRATEUR

Le CEA-Leti a mis au point un premier démonstrateur capable d'atteindre 100 Gb/s. et de répondre aux exigences de haute performance énergétique et de coût.



## LiFi : L'ALTERNATIVE QUI MONTE

En dehors des efforts faits sur les bandes millimétriques, le LiFi est une alternative pertinente pour décongestionner le spectre RF. Récemment, ce domaine a suscité un regain d'intérêt en raison de l'arrivée massive de l'éclairage LED et leur capacité à transmettre des données à haut débit. Les LEDs offrent les avantages suivants :

- bande passante ultra-large
- aucune interférence électromagnétique RF
- insensible à l'environnement RF

Actuellement, les systèmes LiFi commercialisés s'appuient sur des LEDs non optimisées pour les télécommunications optiques. Les chercheurs du CEA-Leti entendent proposer de nouvelles solutions aux fabricants de LED, notamment avec l'introduction de microLEDs à base de nitrure de gallium (GaN) pour générer plus de bande passante. En 2020, l'institut a battu un record de débit grâce à une microLED de 10 microns, dopée au nitrure de gallium (GAN) avec un débit de 7,7 Gigabits par seconde, surpassant ainsi le précédent record de 5,1 Gigabits par seconde.



## DÉVELOPPER DES SYSTÈMES RADIOFRÉQUENCES OPTIMISÉS ET MOINS GOURMANDS

Les antennes jouent un rôle déterminant dans le secteur des télécommunications. Elles émettent, transmettent et réceptionnent des signaux qui véhiculent des informations entre objets connectés (ex : smartphones) et stations de base. Au CEA-Leti, les technologies développées pour les antennes ont pour but de :

- optimiser la réception et l'émission des signaux ;
- gérer efficacement la propagation des signaux ;
- identifier avec précision la position de l'utilisateur.

L'institut s'appuie sur son expertise en silicium et radiofréquence pour proposer à l'industrie des composants à la pointe pour les futures antennes 6G. Pour la première fois de l'histoire des télécom, cette nouvelle génération devra allier performance et sobriété énergétique. Le développement de technologies de focalisation des faisceaux en est l'illustration. Pour ce faire, l'institut travaille sur de nouvelles générations de systèmes antennaires, y compris :

- l'intégration d'antennes dans leur environnement en maximisant le rapport efficacité sur taille ;
- l'utilisation de nouveaux matériaux pour rendre les antennes plus agiles ;
- la conception de systèmes antennaires complexes pour permettre la formation de faisceau ciblé.

Enfin, l'un des composants les plus gourmands en énergie d'un système sans fil est l'amplificateur de puissance. Il permet d'amplifier le signal RF et par là d'augmenter la portée des communications. Outre la puissance RF et la fréquence de fonctionnement, le besoin de linéarité est un facteur clé dans la conception des amplificateurs de puissance. Pour répondre aux besoins de la 6G, les chercheurs du CEA-Leti développent des amplificateurs capables de traiter des signaux de plus en plus complexes sans distorsion du signal dans une large bande passante.



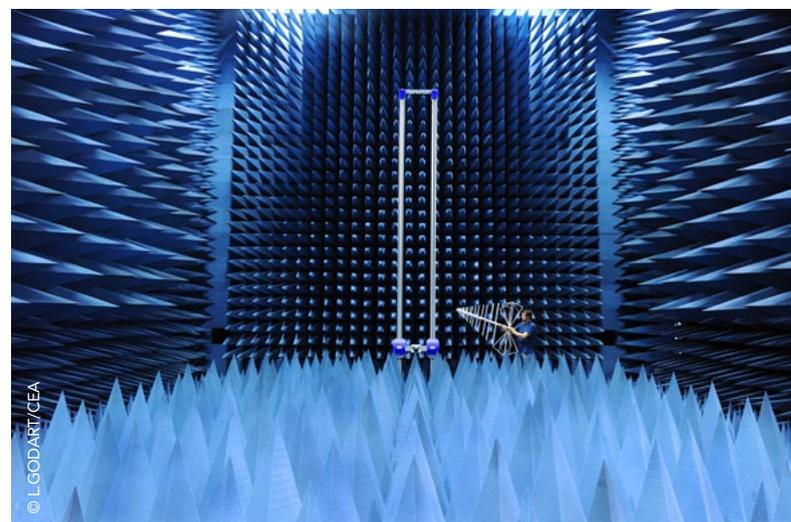
Aujourd'hui, l'efficacité énergétique moyenne des amplificateurs de puissance est inférieure à 50 %. La montée en fréquence ainsi que la complexification des signaux et la linéarité exigée par la 6G tendent à dégrader les performances énergétiques des solutions traditionnelles.



**Alexandre Giry,**  
chercheur au  
CEA-Leti

### CHAMBRE ANÉCHOÏDE

Le CEA-Leti dispose d'un des plus grandes chambres anéchoïdes d'Europe. Elle permet de mesurer précisément les propriétés des antennes, notamment leurs champ électromagnétiques.



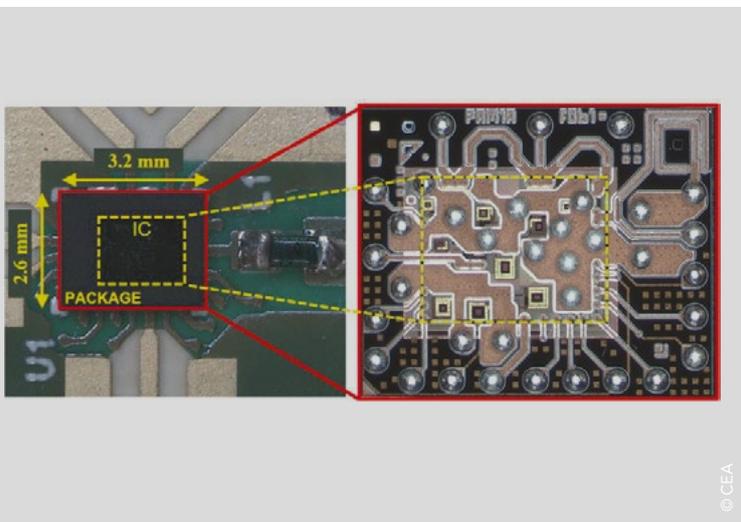
La miniaturisation de ces amplificateurs SOI-CMOS et l'introduction de nouvelles fonctionnalités devraient accélérer leur mise sur le marché.

Alexandre Giry,  
chercheur au  
CEA-Leti



Pour pallier à cette problématique, les chercheurs du CEA-Leti développent de nouvelles technologies et architectures. Ils s'appuient en particulier sur la technologie SOI-CMOS, compatible avec des architectures reconfigurables à forte efficacité. Un premier module SOI-CMOS est sorti de laboratoire en 2021. Il présente une très bonne linéarité couplée à une forte efficacité énergétique sur une large gamme de fréquences. Autres atouts, ce nouveau module offre une forte robustesse ainsi qu'une taille réduite grâce à l'utilisation de techniques d'encapsulation avancées.

Le CEA-Leti s'appuie également sur un matériau devenu incontournable, le nitrure de Gallium (GaN). Il a la particularité de limiter les pertes d'énergie et d'être compatible avec les technologies standards de la microélectronique (CMOS) et de nouvelles techniques d'hybridation. La co-conception d'amplificateur de puissance et de transistors avec d'autres matériaux est également à l'étude notamment pour répondre aux besoins spécifiques des bandes de fréquence allant jusqu'à 300 GHz.



#### PREMIER MODULE SOI-CMOS

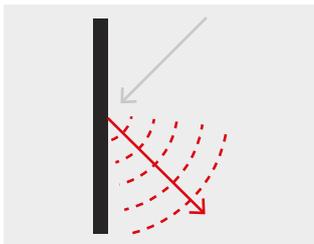
Conçu en 2021 par l'institut, le premier module SOI-CMOS fonctionne sur une large gamme de fréquence et présente :

- une grande efficacité énergétique ;
- une bonne linéarité ;
- une grande robustesse.

## NOUVEAUTÉ 6G : LE DÉPLOIEMENT DE SURFACES INTELLIGENTES RECONFIGURABLES

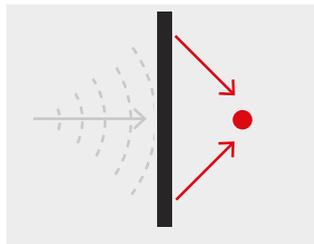
Les surfaces intelligentes reconfigurables sont considérées comme l'une des technologies les plus prometteuses pour améliorer la couverture, ajuster de manière dynamique la qualité de service et / ou diminuer l'exposition aux ondes électromagnétiques. Concrètement, elles permettent de manipuler électroniquement les caractéristiques du champ électromagnétique. Ces surfaces bas coût sont constituées de milliers d'éléments rayonnants capables de rediriger au bon endroit les ondes contenant de l'information. Elles joueront d'intermédiaire entre station de base et utilisateurs.

Elles comportent trois modes :



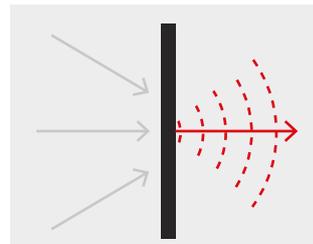
### Mode réfléchissant

Ex : À l'instar des miroirs, pour réfléchir l'onde vers l'utilisateur



### Mode traversant

Ex : pour mieux faire passer les ondes millimétriques à travers des bâtiments



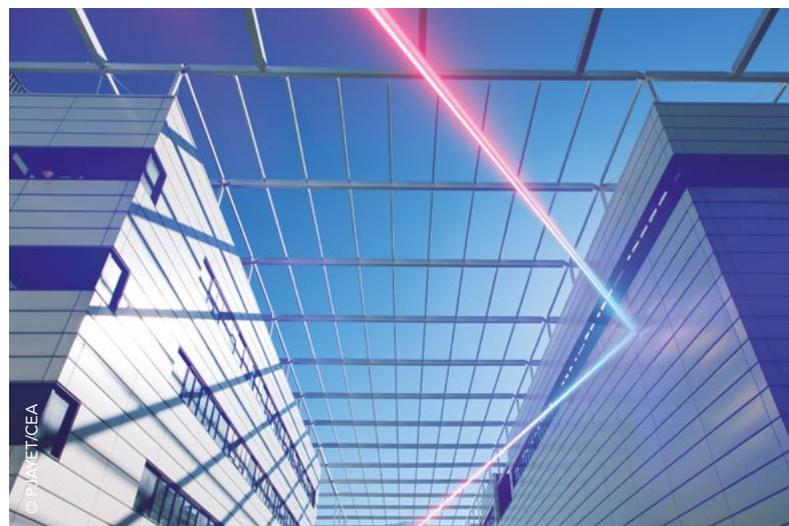
### Mode refocalisations et uniformisation

Ex : couvrir les zones blanches



Contrairement aux générations précédentes qui envoyaient des ondes tous azimuts, ces surfaces permettront de cibler les besoins. On est donc pour la toute première fois sur une approche purement qualitative. Et surtout, elles consomment peu.

**Antonio Clemente,**  
expert senior en charge  
de la conception de ces futures  
surfaces, CEA-Leti





Ces surfaces permettront de gagner en précision de localisation, en efficacité énergétique et surtout de garantir la confidentialité des communications en ciblant au plus près l'utilisateur.

Non invasives, elles seront déployées dans les villes pour améliorer l'efficacité spectrales et ainsi mieux cibler la masse d'ondes déployées.

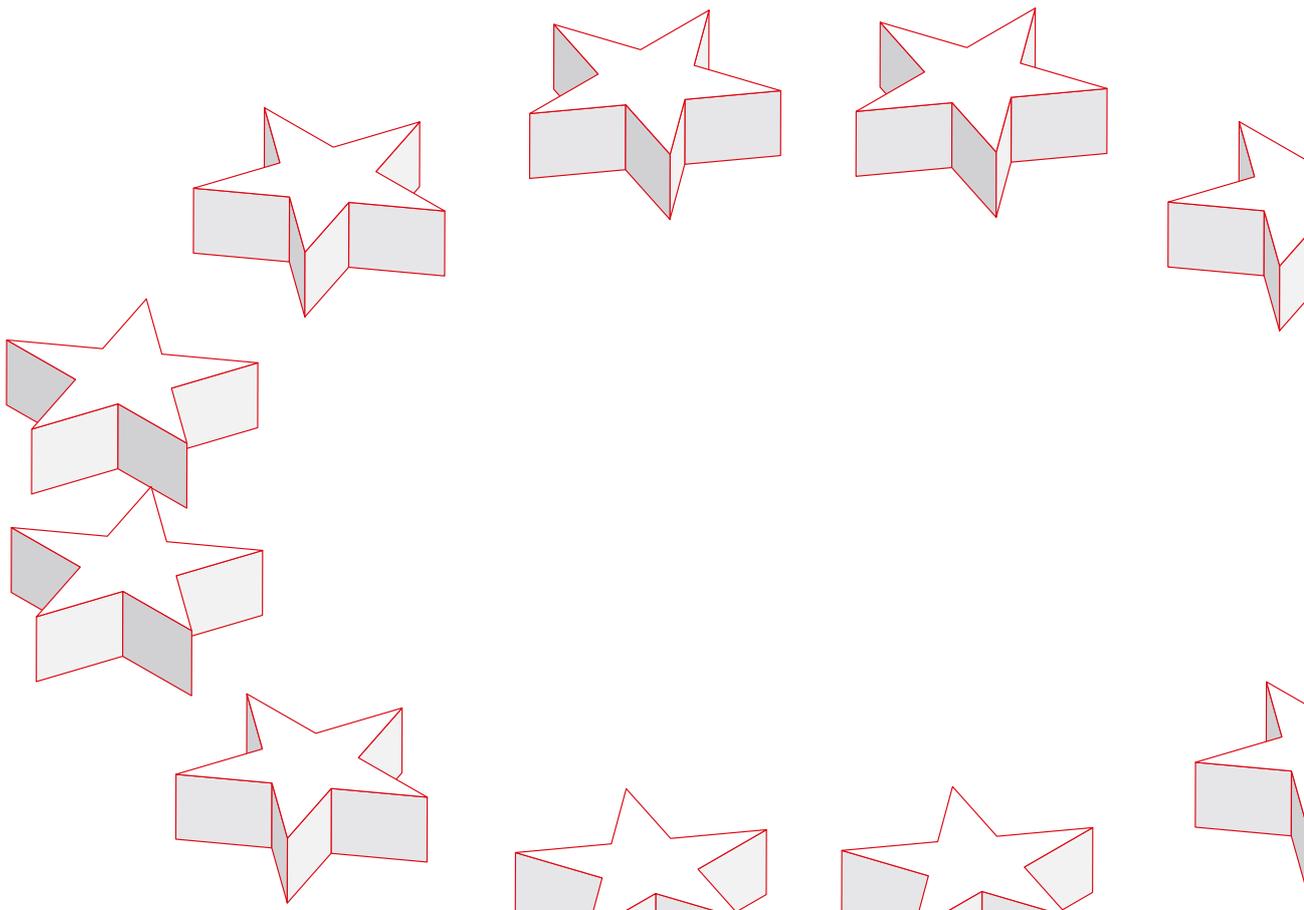
**Emilio Calvanese Strinati**, responsable des projets européens 6G et de l'initiative NEW-6G au CEA-Leti



Le CEA-Leti est reconnu mondialement dans le domaine de la conception de réseaux transmetteurs reconfigurables. Il est à l'origine de l'état de l'art dans différentes bandes de fréquences (10-40 GHz). Pour rendre ces surfaces exploitables, l'institut développe de nouveaux dispositifs compatibles avec des fréquences allant jusqu'à 300 GHz et des algorithmes qui décideront en temps réel du mode à adopter (réfléchissant, traversant, refocalisation). Ces surfaces seront déployées en priorité dans les villes, là où il existe une multitude d'acteurs et d'obstacles.

### Projet H2020 6G-RISE

Doté de 6.5 M€, le CEA-Leti coordonne depuis 2021 le projet européen RISE-6G. En partenariat avec des industriels comme ORANGE, ce projet a pour but de concevoir et prototyper d'ici 2023 de telles surfaces intelligentes reconfigurables.



## GÉOLOCALISER AU CENTIMÈTRE PRÈS ET SANS INTERRUPTION DE SERVICE

Savoir géolocaliser très précisément et de manière fiable les utilisateurs et les obstacles sera bientôt essentiel pour assurer le bon fonctionnement de nombreuses futures applications, comme la voiture autonome ou l'industrie 4.0. Les technologies actuelles de type GNSS (une extension du GPS) ne permettent pas d'atteindre le degré de précision souhaité dans tous les types d'environnement (ex. intérieur des bâtiments, canyons urbains, tunnels, usines, parkings souterrains, etc.), le plus souvent en raison d'obstructions du signal radio.

### Nouvel outil : les surfaces reconfigurables

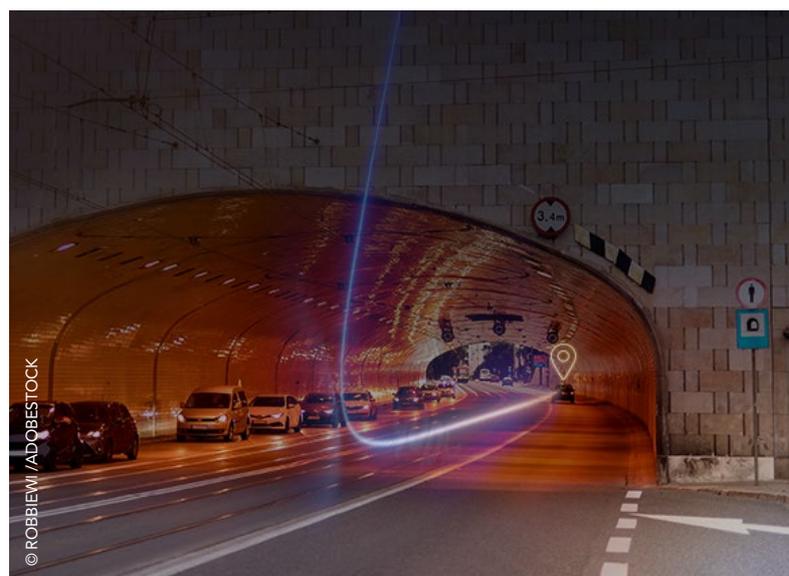
Afin d'améliorer les performances de localisation au sein des futurs réseaux 6G, les chercheurs peuvent s'appuyer d'une part sur les larges bandes disponibles à hautes fréquences (offrant une meilleure résolution spatiale), et d'autre part, sur l'exploitation des surfaces intelligentes reconfigurables capables de modifier volontairement le canal de propagation pour :

- créer de nouvelles réflexions du signal transmis, utiles à la localisation ;
- optimiser les faisceaux en fonction de la dernière position connue de l'utilisateur mobile ;
- offrir des niveaux de précision de localisation variables, en fonction du contexte d'utilisation, des besoins réels des utilisateurs, ou de la régulation ;
- minimiser le nombre et la puissance d'émission des stations de base.



Les surfaces reconfigurables offrent une flexibilité de propagation inégalée qui, combinée à des transmissions très directives et occupant une large bande de fréquences, permettront une meilleure estimation de la direction et du temps d'arrivée du signal radio, et donc in fine un meilleur suivi de l'utilisateur mobile. On espère ainsi créer un cercle vertueux, où une information de localisation de plus en plus précise permettra d'optimiser les faisceaux, par exemple, au niveau des stations de base ou des surfaces réfléchissantes, et donc, la qualité des liens radio eux-mêmes.

**Benoît Denis, chercheur en technologies  
de localisation, CEA-Leti**





Basés sur des observations satellitaires, les récepteurs GNSS sont particulièrement sensibles aux obstacles comme les tunnels ou les structures métalliques. Il existe également une préoccupation croissante concernant le nombre récent d'attaques contre ces systèmes GNSS.

Christophe Villien,  
chercheur au  
CEA-Leti



### Gagner en précision, fiabilité et sécurité

4G	5G	6G
~10 mètres	~10 cm -1 mètre	~1-10 cm
2D	2D	3D

Si les applications émergentes auront besoin de service de localisation ultra-précis, elles auront aussi et surtout besoin de fiabilité. En complément des travaux sur la localisation 6G, l'institut travaille également au développement de systèmes de localisation hybride, qui, après traitement et agrégation de données issues de différentes technologies complémentaires (radio ou non), permettent d'atteindre des précisions records, tout en se protégeant des cyberattaques.



## OBJETS CONNECTÉS : TROUVER LA BONNE COUVERTURE

Avec plus de 500 milliards d'objets connectés déployés en 2030, la 6G devra offrir une couverture mondiale. La multiplication des constellations de nanosatellites dédiés à l'IoT donnera accès à de nouveaux services comme le suivi de marchandises ou de bétails. Pour doter les objets communicants de connectivité hybride via une connexion radio terrestre et en relais, le CEA-Leti met au point des antennes miniatures. Moins consommatrice, la communication basse fréquence permettra d'améliorer leur autonomie, un aspect critique pour l'IoT. Problème : plus la fréquence de communication est basse, plus l'antenne doit être grande (environ 37 cm à 400 MHz), ce qui la rend difficile à caser sur des objets de si petite taille.

### Miniaturisation des antennes pour l'IoT

Fort de son expertise en conception et intégration d'antennes miniatures, le CEA-Leti ambitionne de réduire la taille des antennes dédiés à l'IoT par 7,5 dans le cadre d'un projet mené conjointement avec la startup toulousaine Kinéis (avec le soutien de l'ESA et du CNES).

### Mettre un terme aux zones blanches

Le Narrowband-IoT, l'un des principaux protocoles de communication pour l'IoT, est une technologie basse consommation et longue portée. Les chercheurs tentent de l'utiliser avec des liaisons satellite moyennant des adaptations mineures pour garantir une couverture mondiale, sans zone blanche. Le Narrowband-IoT par satellite se justifierait en particulier dans les zones rurales à faible densité et les océans, non couverts par des stations de base terrestres.



Un premier prototype d'antenne de 5 cm verra le jour en 2021 pour des applications fonctionnant dans la bande de 400 MHz. Nous espérons aller au-delà, en proposant aux industriels de l'IoT des micro-antennes efficaces de l'ordre du centimètre d'ici 2025.



**Christophe Delaveaud,**  
directeur de recherche,  
et chef du laboratoire  
antennes et propagation,  
CEA-Leti



Une étude sur le Narrowband-IoT par satellite a été menée par le CEA-Leti pour le CNES en 2021. Elle a montré par simulation qu'une constellation de satellites gravitant à quelques centaines de kilomètres au-dessus de la Terre peut se connecter à plusieurs millions d'objets connectés, avec des débits de quelques kilobits par seconde.



**Vincent Berg,**  
chef du laboratoire IoT,  
CEA-Leti



# Projets institutionnels

© HARALD RICHTER/ISTOCK - MONSIEUR/ADOBE STOCK

Le CEA-Leti coordonne ou prend part à plusieurs projets institutionnels, y compris des projets financés par l'Agence nationale de la recherche, la Commission européenne (H2020) ou encore par le réseau des Carnot :

- Hexa-X
- Rise 6G
- Dedicat 6G
- 5GallStar
- Dragon
- CPS
- Beyond5
- Brave
- Criiot
- Next 5G
- FET Open Hermès

H2020

ANR

THINK TANK

CARNOT

FRANCE RELANCE

ECSEL

# CONCLUSION



Le CEA-Leti réunit à travers le Think Tank NEW-6G l'ensemble des acteurs de la chaîne de la valeur pour définir et développer les futurs standards 6G, et les objectifs de durabilité.

**Emilio Calvanese Strinati,**  
responsable des projets  
européens 6G et de l'initiative  
NEW-6G au CEA-Leti



Tout comme la 5G, la 6G s'appuiera sur un panel de technologies radio, antenne, réseau ou encore de calcul. Le mariage de ces technologies, encore au stade de candidats, reste encore inconnu en 2021. Il est certain que les semi-conducteurs seront pourvoyeurs d'un grand nombre de rupture.

Si le semiconducteur est prêt, il faudra attendre encore quelques années pour connaître avec précision la composition de la future 6G. Une chose est sûre, il faudra allier le meilleur des technologies semi-conducteurs aux nouveaux concepts de transmission. Le CEA-Leti est idéalement placé dans cette course, maîtrisant les enjeux des systèmes, de la conception de circuits aux technologies.

## REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été en partie soutenus par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne, le programme de l'Agence nationale pour la recherche et le réseau des Carnot.

La région Auvergne Rhône-Alpes co-finance les équipements au meilleur niveau mondial du CEA-Leti.



## À PROPOS DU CEA-LETI

**Le CEA-Leti, implanté sur le centre du CEA-Grenoble, est un institut de recherche technologique du CEA, pionnier dans les domaines des micro et nano-technologies.**

Il développe des solutions applicatives innovantes et compétitives pour répondre aux défis mondiaux actuels, notamment les énergies propres et sûres, la santé, le transport durable et la transition numérique. S'appuyant sur des infrastructures préindustrielles, ses équipes multidisciplinaires proposent leur expertise au travers d'applications variées, des capteurs au calcul intensif, en passant par le traitement des données ou encore la puissance.

Le CEA-Leti développe des relations de long terme avec ses partenaires industriels et essaime des startups technologiques avec plus de 70 créations. Le CEA-Leti rassemble 1 900 chercheurs, un portefeuille de 3 100 brevets et 11 000 m<sup>2</sup> de salles blanches et possède des bureaux dans la Silicon Valley, à Bruxelles et à Tokyo.

Il est membre du réseau des Instituts Carnot et de l'IRT Nanoelec.

Plus d'infos sur [www.cea-leti.com](http://www.cea-leti.com).

### CEA-Leti, technology research institute

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Minatec Campus | 17 avenue des Martyrs | 38054 Grenoble Cedex 9 | France  
[www.leti-cea.com](http://www.leti-cea.com)

