



P.O.C

OCTOBRE 2023

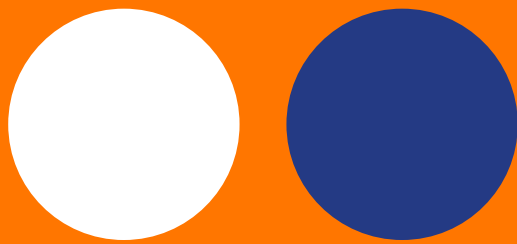
# Cahier d'innovations

## 5G/6G : quelles technologies pour quels usages ?



5G/6G : LES SOLUTIONS DE  
LA SCIENCE POUR CONCILIER  
EFFICACITÉ ET SOBRIÉTÉ





## ÉDITO

La 5G est un malentendu. Nous avons tous cru que l'arrivée de l'icône « 5G » sur nos smartphones, à l'aune de l'année 2020, marquait l'entrée dans une nouvelle ère des télécommunications. Ces réseaux devaient accélérer la transition vers des usages numériques nomades, généraliser la digitalisation de nos échanges sociaux ou, encore, proposer une mobilité autonome et sans danger.

Cette « ubiquité numérique » promise par nos smartphones ne s'est pas réalisée. Tout au plus pouvons-nous télécharger des films en quelques secondes dans certaines gares françaises, dans le cadre des expérimentations de la SNCF... mais pas de révolution à l'horizon. Nous cherchons toujours les promesses de la 5G pour nous autres consommateurs.

Nous devrions tout simplement arrêter de chercher. Car les promesses de la 5G ne sont pas pour les particuliers. C'est peut-être le principal malentendu autour de ces réseaux. La 5G, et plus encore la 6G sont des réseaux qui transformeront d'abord les usages des professionnels. Et les premières applications entrevues sont enthousiasmantes.

La 5G et la future 6G promettent de réelles avancées, car tous nos environnements seront connectés. Ces réseaux permettront à des millions d'utilisateurs d'interagir lors de grands rassemblements, de coordonner des flux logistiques intermodaux, de développer des applications de réalité augmentée en direct dans le domaine de la santé ou de piloter des équipements industriels complexes via leurs jumeaux numériques.

Ces réseaux représentent un progrès pour un grand nombre de filières économiques et industrielles. Dans le contexte de réindustrialisation de l'Europe et d'affirmation de notre souveraineté, supporter nos « champions » scientifiques et technologiques est plus que jamais vital pour l'économie.



# Sommaire

**p.5**

## **MARCHÉS**

- ✕ **2023 : la 5G peut enfin décoller**
- 

**p.7**

## **TECHNOLOGIES**

- ✕ **La 5G : plus de données et moins de latence**
  - ✕ **La 6G achève la softwarisation des réseaux**
- 

**p.10**

## **ARTICLE**

- ✕ **CentraleSupélec et Orange posent les bases de la « 6G durable »**
- 

**p.12**

## **LABORATOIRE 1**

- ✕ **Eurécom développe des architectures réseaux open source**
- 

**p.16**

## **LABORATOIRE 2**

- ✕ **Telecom SudParis sécurise les réseaux 5G**
- 

**p.18**

## **LABORATOIRE 3**

- ✕ **CEA partenaire des premiers réseaux 5G privés**



Le marché de la 5G connaît un retard à l'allumage en France. Le coût d'acquisitions des nouvelles fréquences 2,6 GHz et 3,5 GHz, le manque de solutions clef en main ou la mauvaise compréhension de ses avantages ont expliqué la lente progression du marché de la 5G jusqu'à maintenant. Se sont ajoutées au niveau mondial la crise de la Covid-19 et la guerre en Ukraine, qui ont renforcé les positions attentistes des industriels.

Aujourd'hui, la confiance sur le développement de ce nouveau marché est toutefois revenue. L'État a donné un sérieux coup de pouce, en finançant la mise en place de cas d'usage inédits. Ainsi, une vingtaine de consortiums d'entreprises mène des projets 5G sur leur site grâce à un appel de l'État pour créer des plateformes d'expérimentation de la 5G. De nombreux projets sont en cours dans des gares, des usines ou des ports. En parallèle, un écosystème d'acteurs télécoms innovants est en train de se construire. Ces start-up, jeunes PME et ETI dynamiques développent de nouveaux équipements, composants électroniques ou logiciels pour préparer le boom de la 5G professionnelle.

Car les vraies promesses de la 5G, en matière de latence et de débit notamment, ne sont accessibles que depuis cette année. L'arrivée, en 2023, de la 5G « standalone » et des classes de services de la 3GPP, enhanced Mobile Broadband (eMBB), le Ultra-Reliable Low Latency Communications (uRLLC), et le massive Machine Type Communications (mMTC), vont enfin répondre aux promesses de la 5G. Ces classes favoriseront respectivement le très haut débit, la faible latence, et l'IoT. La capacité à garantir un certain niveau de performance va permettre

aux entreprises de proposer des services haut de gamme sécurisés. C'est d'ailleurs sur ce segment que réside la majeure partie du marché de la 5G. Selon une étude au niveau mondial, entre 2023 et 2030, la progression du marché des services télécoms devrait augmenter de 35 %.

#### FRANCE : 15 MILLIARDS D'EUROS EN 2025

Les perspectives de la 5G en France sont ainsi importantes. Le développement de nouvelles solutions va accélérer la tendance. Dès 2020, une étude prévoyait que les investissements pourraient atteindre près de 2 milliards dans l'industrie 4.0, plus de 1 milliard dans le transport, ou encore 500 millions dans le domaine de la santé d'ici à 2027. L'année dernière, l'État estimait que ces nouveaux réseaux représenteraient un marché de près de 15 milliards d'euros d'ici à 2025.

Il paraît illusoire d'aborder le marché de la 6G, tant la 5G a mis du temps à démarrer. Selon GSMA (association des opérateurs mobiles mondiaux), ce n'est qu'en 2030 que la 6G pourrait supplanter la 5G dans le monde. En France, l'Arcep consulte toujours et n'a pas donné de date pour l'attribution des licences 6 G. Ce qui explique que les futurs « champions » tricolores sont encore, la plupart du temps, dans le giron ou au contact des laboratoires de recherche. Pourtant, là aussi, les perspectives de la 6G commencent à séduire. Des acteurs industriels se positionnent déjà sur des secteurs de pointe, comme la défense ou l'aérospatial, en utilisant le potentiel des très hautes fréquences (au-delà 100 GHz).



50%

**AUGMENTATION PAR AN**  
DES ÉCHANGES DE DONNÉES  
PAR TÉLÉPHONES DANS LE  
MONDE

1,7

**MILLIARDS D'EUROS**

BUDGET VISÉ DE LA STRATÉGIE  
D'ACCELERATION SUR LA 5G ET  
LES RÉSEAUX DU FUTUR DE FRANCE  
2030 D'ICI 2025

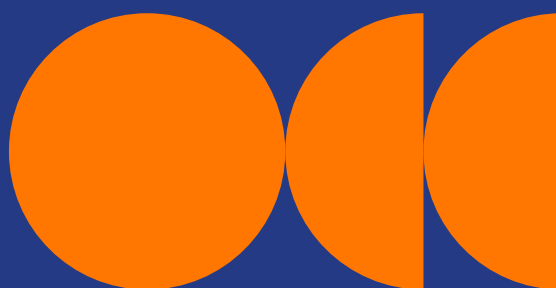
35%

**PROGRESSION ANNUELLE**

DU MARCHÉ DES SERVICES TELECOMS  
D'ICI 2030 DANS LE MONDE

1 million

**NOMBRE D'APPAREILS QUE POURRA  
CONNECTER LA 6G PAR KM<sup>2</sup>**



# La 5G : plus de données et moins de latence



Cette année, l'arrivée en France de la 5G « Standalone » va enfin offrir la flexibilité et les performances attendues sur ces nouveaux réseaux. L'entrée en application de classes de services va, par exemple, permettre aux opérateurs de « découper » (slicing) leur réseau en plusieurs faisceaux, et ainsi adapter chacun aux besoins de leurs clients. Mais les professionnels des télécoms regardent déjà vers l'étape d'après : la bande de fréquence 26 GHz, appelée plus communément « ondes millimétriques ». Elle est idéale pour l'essor des applications 5G, car elle possède une grande largeur de bande et une capacité à transporter de plus importants volumes de données.

L'évolution vers ces nouvelles fréquences demande, en revanche, des équipements conçus spécifiquement pour la 5G. C'est le cas, notamment, des antennes, qui doivent être capables d'assurer la couverture de sites fortement peuplés. Ce nouveau type d'antennes MIMO, pour *multiple input multiple output*, est à « à faisceau orientable ». Une des clés de leur performance est de « diriger » le faisceau vers l'utilisateur, pour optimiser leur puissance. De cette façon, elles évitent aussi « d'arroser » un quartier d'ondes, comme c'est le cas actuellement avec la 4G. Elles ont aussi l'avantage d'envoyer et de recevoir simultanément des données, et ainsi d'en transférer davantage. On parle d'ailleurs de « massive » MIMO, permettant d'obtenir un débit de près de 10 gigabits de données par seconde. Enfin, elles présentent un

intérêt en termes de consommation énergétique : le faisceau peut être dirigé vers l'utilisateur, ce qui réduit les ressources nécessaires pour la transmission du signal. Les applications industrielles des ondes millimétriques sont variées, et concernent l'industrie, la santé ou encore les transports.

Ces ondes à plus haute fréquence ont toutefois un inconvénient : leur portée est plus faible, limitant les applications. Plusieurs laboratoires travaillent sur des solutions technologiques pour étendre leur diffusion sans consommer trop de ressources supplémentaires. Une des pistes envisagées est de développer des RIS (*Reconfigurable Intelligent Surfaces*). Ces « surfaces réfléchissantes passives » pourraient relayer les faisceaux dans l'espace en se substituant à des antennes supplémentaires, et en réduisant la consommation énergétique (voir encadré).

À plus long terme, ces antennes pourraient devenir « cell-free » : le signal ne sera plus traité par une seule station de base couvrant un territoire donné (« cellule »). Les risques d'interférences en bordure de cellules sur les antennes 4G étaient de plus en plus forts. « *Toutes les stations de base devront travailler ensemble, mais nous ne connaissons pas encore les risques d'interférence liés à cette architecture* », explique François Baccelli, directeur de recherche à l'Inria. Des équipes préparent d'ailleurs l'arrivée des « cell-free » massive MIMO pour la 6G, au-dessus de 7 GHz.

# La 6G achève la « softwarisation » des réseaux

La 6G définit les fréquences au-dessus de 7 GHz (GSMA). Ses promesses sont encore plus fortes que la 5G pour la 4G : les débits pourraient être multipliés par 100 comparés à ceux de la 5G, et la latence pourrait atteindre le dixième de milliseconde. À ces niveaux, il serait possible de reproduire en temps réel le monde physique dans un modèle numérique, ouvrant des perspectives révolutionnaires dans le domaine de l'industrie 4.0, la réalité virtuelle ou la santé.

L'arrivée de la 6G ouvre notamment tout un nouveau pan de recherche et de développement grâce à l'achèvement de la « softwarisation » du réseau. Le réseau 6G sera 100 % digital, c'est-à-dire piloté entièrement par logiciel, achevant ainsi un cycle de transformation encouragé tout récemment par l'apparition des architectures NFV (Network Virtualization Function) et SDN (Software Defined Network). Cette évolution rebat les cartes de l'industrie télécoms longtemps dépendante d'équipements propriétaires. Les spécialistes peuvent ainsi plus facilement modéliser des réseaux pour tester différents paramètres. « *La modélisation est clé, et c'est un des points forts de la recherche française* », souligne Daniel Kofman, codirecteur du PEPR Réseaux du futur pour l'IMT.

En termes de fonctionnalité, le logiciel apporte une souplesse encore plus grande que la 5G dans le

pilotage des réseaux. Car qui dit logiciel, dit intelligence artificielle. Les promesses de la 6G consistent à mettre de l'intelligence à toutes les étapes de gestion des réseaux, pour qu'ils s'adaptent à leur environnement, à la manière d'un capteur, ou soient capables de se reconfigurer automatiquement. Le CEA intègre désormais davantage de *machine learning* dans la modulation du signal ou, plus largement, au niveau du protocole de transmission. « *Nous travaillons, par exemple, à prédistordre le signal pour que les amplificateurs soient plus efficaces* », indique Dimitri Kténas, Chef du Service Technologies Sans Fil (STSF) au sein du département Systèmes (DSYS) au CEA.

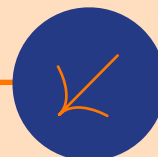
Des réseaux télécoms plus flexibles, plus performants, plus sécurisés, plus intelligents ou plus décentralisés posent des défis nouveaux dans leur pilotage. Des laboratoires se penchent ainsi spécifiquement sur l'« orchestration » des différents éléments de ces réseaux, cœurs de réseaux, infrastructures, antennes, terminaux, puis cloud, IA embarquée et outils cyber. Les dispositifs doivent faire communiquer des applications de secteurs différents, dans une approche multisectorielle. « *Dans un port, par exemple, chaque acteur utilise son langage, et les applications portuaires ne communiquent pas avec les applications ferroviaires ou routières par exemple* », explique Gérard Memmi, de Telecom Paris.

## Cap sur les réseaux 3D

La recherche travaille sur des applications plus prospectives encore. La plus visible est actuellement les télécommunications par satellites, appelées « 3D » ou NTN (*Non-Terrestrial Network*). Profitant de l'essor des constellations de basses orbites, le secteur des télécoms imagine déjà utiliser les satellites pour couvrir des zones blanches avec des réseaux 5G. Mais de nombreux efforts sont nécessaires. Le CEA travaille, entre autres, sur la réalisation de jumeaux numériques de telles communications radio, et l'analyse des mécanismes de compensation radiofréquences pour les rendre possibles. Inria s'est spécialisé dans le calcul des différentes géométries des trajectoires, en explorant notamment les limites physiques de tels systèmes de communication. « *Nous étudions aussi le risque d'« aveuglement » des observatoires avec ces ondes, ou les risques liés à leur extra-territorialité* », précise François Baccelli. Ces incertitudes encore fortes ne dissuadent pas les industriels de s'y intéresser. De grands noms du spatial, comme Airbus ou Thales collaborent déjà sur ces technologies.

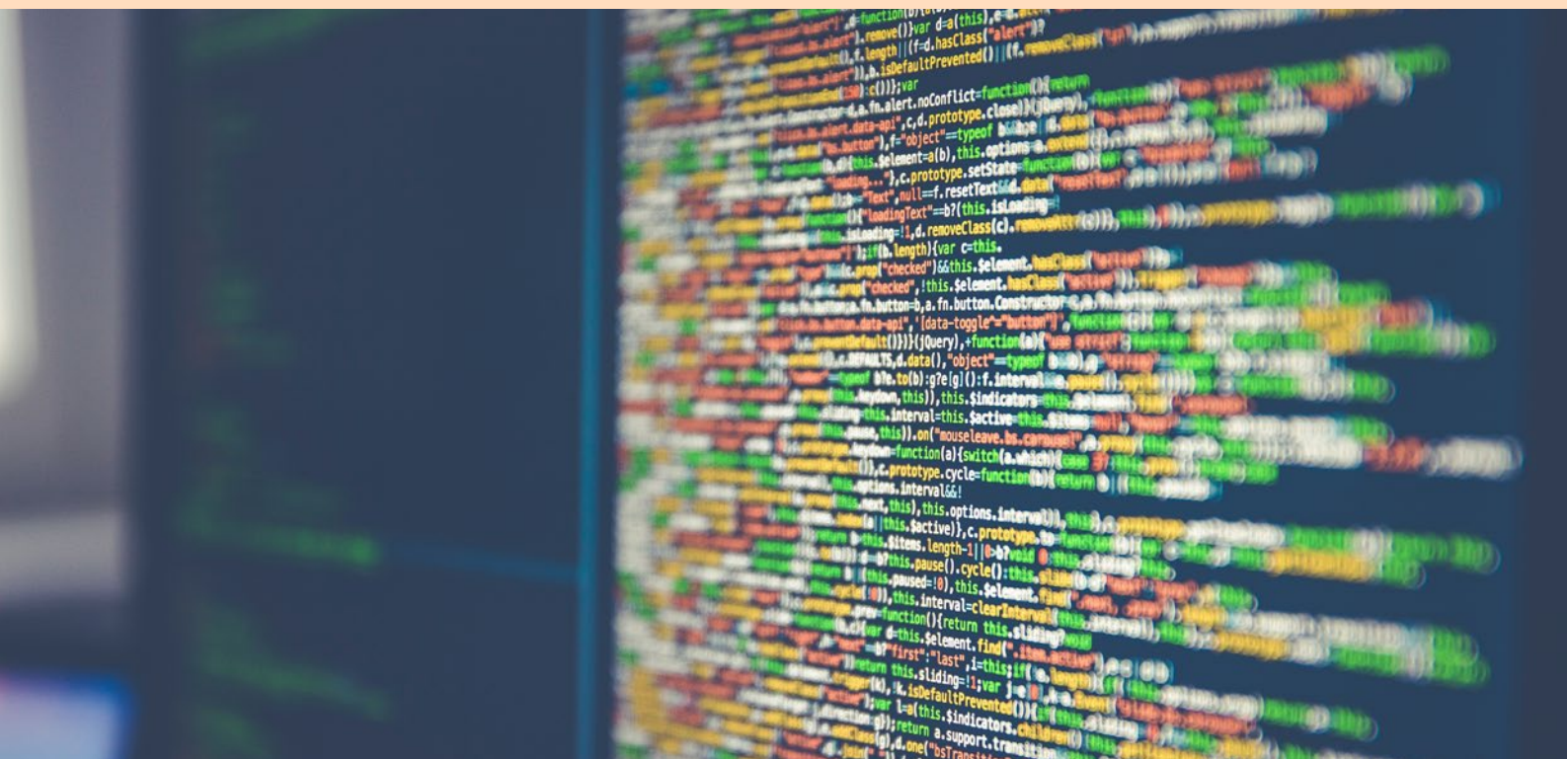
# « La modélisation est clé, et c'est un des points forts de la recherche française »

DANIEL KOFMAN



## La 5G, avenir pour des télécommunications vertes ?

La 5G affiche en théorie une consommation bien inférieure aux technologies précédentes : 0,06 kWh par Go sur les réseaux mobiles, contre 0,6 sur la 4G. Cette baisse drastique de la consommation s'appuie sur plusieurs innovations : un travail important porte, par exemple, sur les amplificateurs de puissance, responsable de 30 à 50 % de la consommation d'une station de base d'un système télécoms. Le CEA Leti s'est emparé du secteur des volets numériques et analogiques de ces amplificateurs ainsi que de la partie antennaire, avec l'IETR. Telecom Paris étudie la décentralisation des réseaux, ce qui permet de réduire la distance parcourue du signal, donc sa consommation énergétique. Encore disparates, les mesures de la consommation énergétique des télécoms deviennent un sujet central pour certains laboratoires. Ainsi Telecom Paris vient d'entamer des travaux sur la mesure et la modélisation de la consommation électrique des réseaux. En résumé, l'intérêt écologique de la 5G est évident, sur le papier, mais la démultiplication des usages attendue pourrait bien faire (re) bondir la consommation énergétique du secteur télécoms.





# CentraleSupélec et Orange posent les bases de la « 6G durable »

**Pour qu'une 6G respectueuse de l'environnement devienne réalité, de nombreux travaux de recherche doivent encore être menés. Un chantier dans lequel Orange s'engage avec une nouvelle chaire établie en partenariat avec l'Université Paris - Saclay, le CNRS et CentraleSupélec.**

Alors que le déploiement de la 5G est encore en cours, la 6G fait de plus en plus parler d'elle. Pourtant, « nous ne savons pas encore bien de quoi elle sera constituée », souligne Eric Hardouin, directeur du domaine de recherche Networks And Infrastructure chez Orange. Avant que la nouvelle génération de technologies de communication sans fil se concrétise, de nombreux travaux de recherche doivent donc encore être entrepris. « C'est l'occasion de revisiter les fondamentaux et d'optimiser la technologie pour maximiser sa valeur sociétale », notamment pour répondre aux « challenges climatiques », indique Jean Bolot, directeur de la recherche chez Orange.

## LANCEMENT DE QUINZE THÈSES AU SEIN DU L2S

Cette ambition est au centre de la chaire de recherche mise en place par l'opérateur en partenariat avec l'Université Paris-Saclay, le CNRS et CentraleSupélec. Inaugurée mercredi 13 septembre, cette chaire est « particulièrement ambitieuse », se félicite la présidente de l'Université Paris-Saclay, Estelle lacona. Sur les cinq années du programme, ce sont en effet pas moins de quinze thèses qui seront lancées au sein du Laboratoire Signaux & Systèmes (L2S) dirigé par Pascal Bondon. « Le L2S est un pilier européen des télécommunications, aussi bien en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée. Ce continuum fait la force de ce laboratoire », déclare Estelle lacona.

Pour répondre aux « enjeux sociétaux », les partenaires de la chaire ont mis la « durabilité » au centre de leurs travaux. Une dimension déjà engagée par Orange qui vise le « Net Zéro Carbone » d'ici à 2040. Pour l'opérateur, la « soutenabilité » de la 6G ne peut être atteinte que dans le cadre d'une approche large. « Si nous voulons être durables, nous devons nous occuper aussi bien de la fabrication des équipements que de leur transport, de leur installation et de leur démantèlement, autant d'étapes qui sont très émettrices de CO2 », indique Eric Hardouin. Les impacts des réseaux sur l'eau et la biodiversité, « encore très méconnus », doivent être également traités, tout comme le sujet de la substitution des matériaux critiques.

**« Si nous voulons être durables, nous devons nous occuper aussi bien de la fabrication des équipements que de leur transport, de leur installation et de leur démantèlement, autant d'étapes qui sont très émettrices de CO2 »**

**ERIC HARDOUIN**  
directeur de la recherche  
Networks And Infrastructure  
chez Orange



**« Le L2S est un pilier européen des télécommunications, aussi bien en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée. Ce continuum fait la force de ce laboratoire »**

**ESTELLE IACONA**  
Présidente de l'Université  
Paris – Saclay

#### **CONTACT**

**Laboratoire Signaux  
& Systèmes (L2S)**

**PASCAL BONDON**  
directeur du L2S

✉ [pascal.bondon@l2s.  
centralesupelec.fr](mailto:pascal.bondon@l2s.centralesupelec.fr)

#### **ELABORER UN RÉSEAU « SOUS UN BUDGET CONTRAINT DE CO<sub>2</sub> »**

Les travaux menés doivent donc permettre, à travers des choix de conception adaptés, de réduire le nombre de nouveaux équipements, développer leur réparabilité et améliorer la mutualisation entre opérateurs. Par ailleurs, alors que l'IA est appelée à être déployée très largement dans les réseaux futurs, il faudra s'attaquer aux « ressources que nécessite l'entraînement des modèles », pointe Eric Hardouin. Au final, Orange souhaite être en capacité de concevoir des réseaux « sous un budget contraint de CO<sub>2</sub> et d'énergie », déclare-t-il.

« Nous avons plein de défis à relever dans les cinq prochaines années », se réjouit Salah Eddine El Ayoubi, professeur à CentraleSupélec, chercheur au L2S et titulaire de la chaire. Au-delà des aspects environnementaux, d'autres avancées technologiques intéressent le chercheur autour de la 6G : développer un « internet tactile » qui permet par exemple les retours physiques haptiques, ou encore concevoir un réseau « goal-oriented », c'est-à-dire qui n'est pas réduit à son rôle de tuyau mais « va lui-même sélectionner les données envoyées et arrêter par exemple le transfert quand une application aura atteint son objectif », explique-t-il.

Si le déploiement de la 6G n'est pas envisagé avant 2030, travailler dès à présent sur cette technologie est « essentiel », appuie le directeur général délégué du CNRS à l'innovation, Jean-Luc Moullet. Les questions de propriété intellectuelle ou de standardisation vont en effet se poser très rapidement. En la matière, la chaire est « une brique complémentaire à tout un édifice en train de se construire », indique le responsable du CNRS, qui cite d'autres initiatives menées entre des équipes académiques et Orange, à l'image du laboratoire commun Telecom4Health (Université de Grenoble) ou du Centre de recherche mutualisé sur les antennes (Université Côte d'Azur).

# Eurécom développe des architectures réseaux open source

Le département Systèmes de communications d'Eurécom est spécialiste de l'informatique ouverte. La montée en puissance du logiciel et, plus largement, de l'Internet dans les télécoms a constitué une opportunité pour le département. Il s'est ainsi spécialisé depuis quelques années dans les architectures RF. Il travaille sur la modélisation de la propagation RF, la théorie de l'information et du codage, le design de récepteurs, le traitement de signal statistique, la conception des protocoles MAC ou encore sur les couches applicatives. « *Aujourd'hui, nous travaillons sur l'utilisation du machine learning, afin de minimiser les interactions humaines sur les réseaux (approche "Zéro touch")* », explique Raymond Knopp, responsable du département. L'école touche aussi aux parties basses, type accès radio, ondes millimétriques et optique sans fil.

L'établissement se démarque par son action en faveur d'un écosystème télécom plus ouvert, capable de proposer des solutions alternatives aux équipements et logiciels propriétaires des leaders industriels des télécoms comme Nokia, Ericsson ou Huawei. Dans la course à la 5G et à la 6G, si les réseaux sont de plus en plus pilotés sur Internet, les éléments de transmissions comme les composants des antennes relais et leurs logiciels sont encore largement fermés. L'école a ainsi créé un

vaste réseau de chercheurs et d'industriels autour de l'open source dans le domaine de la 5G/6 G, baptisé Alliance OpenAirInterface. Son ambition est de faciliter l'accès aux composants nécessaires pour expérimenter avec la 5G et la 6G.

## PLATEFORME TECHNOLOGIQUE

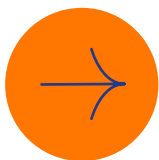
Ce qui caractérise l'école, c'est le développement de nouveaux outils de formation pour l'ensemble de l'écosystème des télécoms à partir de ses travaux de recherche. Eurécom a ainsi monté la plateforme technologique Open5GLab afin de tester des solutions télécoms numériques ouvertes. « *Notre rôle est de montrer comment construire un réseau 5G* », rappelle Raymond Knopp. La plateforme permet à ses utilisateurs de créer un réseau 5G sur mesure, adapté aux besoins de puissance ou de latence de l'utilisateur, et d'expérimenter de nouvelles applications.

Eurécom est d'ailleurs impliquée dans un projet du PEPR sur la structuration de l'offre de plateforme technologique à l'échelle nationale. Le projet FPNG intègre, aux côtés d'Eurécom, Inria Sophia Antipolis, Inria Lyon, Telecom Paris et Sorbonne Université. Ensemble, ils souhaitent mieux structurer et améliorer l'offre de plateformes technologiques à destination des chercheurs publics et privés.

## CONTACTS

**RAYMOND KNOPP**  
 professeur, Eurécom  
 ✉ [raymond.knopp@eurecom.fr](mailto:raymond.knopp@eurecom.fr)





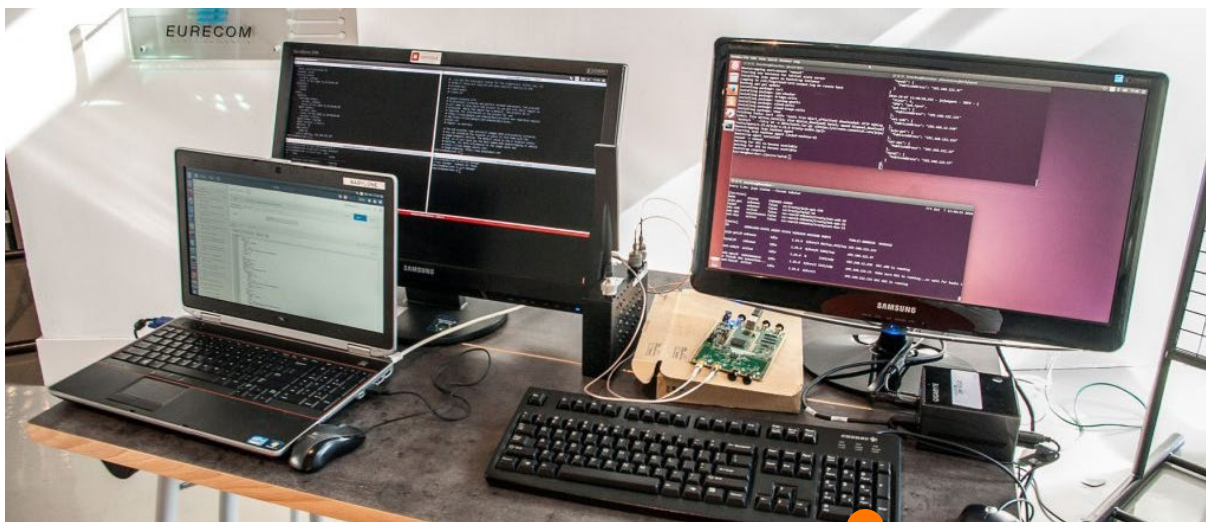
## Orange veut amener la 5G dans les zones faiblement peuplées

Orange s'est associé à Eurécom pour participer au projet ME/CT, dans le cadre du PIEEC (projets importants d'intérêt européen commun) « Microélectronique et connectivité ». Le projet, auquel participe également le CEA List, IMT, l'IRT b<>com et la start-up Ekinops côté Tricolore, vise à développer de nouvelles infrastructures télécoms pour les dix ans à venir. Surtout centré sur la mise au point de logiciels, le projet intègre aussi un axe de recherche sur les composants électroniques grâce à la présence du CEA.

Le projet « Microélectronique et connectivité » concerne une grande diversité de thématique : réseaux privés 5G, digitalisation des entreprises ou, encore, communication des véhicules avec leur environnement (« vehicle-to-X »). Une des applications spécifiques développées au sein du consortium est la capacité à assurer la connexion de zones difficiles d'accès ou de territoires peu peuplés. Dans le cadre de son approche « 5G partout », Orange s'est ainsi impliqué spécifiquement sur cet axe.

Une des problématiques spécifiques à ces systèmes télécoms est de réussir à concilier connectivité et rentabilité. Orange s'est associé à Eurécom pour profiter des coûts moindres des solutions « ouvertes » promues par Eurécom et l'Alliance Open RAN. Le projet ME/CT doit aussi promouvoir cette approche, et permettre ainsi de continuer à réduire les coûts des solutions et des composants électroniques ouverts.

Le consortium compte aussi utiliser la plateforme d'Eurécom OpenAirInterface. Cette plateforme logicielle open source permet de reproduire un environnement 5G complet pour tester différentes innovations et divers réseaux d'accès radio. De nombreux acteurs français fournisseurs d'équipements « ouverts », souhaitant proposer une alternative aux offres des grands équipementiers, ont rejoint l'Alliance d'Eurécom autour de la plateforme OpenAirInterface (OAI) et de l'Alliance Open RAN, à l'image d'Ekinops, d'Amarisoft ou, encore, d'AW2S. « L'objectif est de pousser les fournisseurs d'équipements à évoluer », souligne Raymond Knopp.



Plateforme OpenAirInterface (OAI)



## BubbleRan : la start-up qui numérise les réseaux 5G

La start-up, portée par un chercheur de l'Eurécom, met en place, opère et automatise des réseaux privés 4G et 5G. Elle fait ainsi profiter ses clients de toute la souplesse et les économies de coûts promis par la 5G.

Navid Nikaein, chercheur à Eurécom, travaille historiquement sur la digitalisation des réseaux télécoms. Il a ainsi développé dès les années 2000 une plateforme radio-logicielle pour numériser les réseaux 3G. Puis il s'est intéressé aux routeurs sans fil à haut débit pour les réseaux intermédiaires de type « backhaul ». Dans les années 2010, il co-fonde l'OpenAirInterface, la plateforme logicielle open source au sein de l'école, plateforme capable de reproduire un environnement complet 4G et 5G.

Ces travaux permettent petit à petit de remplacer un à un les éléments physiques d'un réseau. «*Nous avons une antenne sur site et tout le reste peut être dans le cloud privé ou public*», souligne le chercheur. L'avantage de cette approche est de remplacer une partie des équipements matériels, souvent propriétaires, par du logiciel. «*Nous avons développé un opérateur logiciel, à savoir un logiciel qui automatise tout le cycle de vie d'un réseau mobile avec la simplicité d'un point d'accès WiFi.*» Et les logiciels sont souvent « libres ». Le réseau peut ainsi fonctionner sur des serveurs standards, plutôt que propriétaires. Ce qui permet d'abaisser les coûts associés et de proposer un modèle de tarification à l'usage « pay as you go ».

Cette solution, initialement destinée à des activités de recherche, intéresse rapidement l'industrie. Le chercheur décide en 2021 de créer une start-up afin de faciliter sa prise en main. La plateforme numérique est ainsi compatible avec les logiciels et équipements ouverts ou propriétaires. «*[La plateforme] est capable de supporter OAI, mais également d'autres logiciels de nature industrielle, ce qui permet de construire le réseau correspondant aux besoins des utilisateurs finaux.*» explique le fondateur.



Firecell et BubbleRAN ont utilisé les solutions open source d'Eurécom



# Telecom SudParis sécurise les réseaux 5G



Les réseaux sont logiquement au cœur des activités de recherches de l'école. Le laboratoire Samovar est tout entier dédié aux recherches sur les technologies télécoms, de l'architecture jusqu'au déploiement en passant par la modélisation. Ses domaines de compétences spécifiques portent sur les statistiques et l'optimisation computationnelle, le traitement des données multimédia et l'e-santé, ou encore la cybersécurité et la confiance numérique. Cette vision 360° sur le monde des télécoms explique que l'école participe à trois programmes de recherche majeurs soutenus par France 2030, le PEPR cybersécurité, le PEPR Cloud et le PEPR Réseaux du futur.

Le laboratoire Samovar, unique laboratoire en propre de l'école, a tout particulièrement développé ses compétences en cybersécurité. La multiplication des types de réseaux et des protocoles crée une complexité forte, et génère de nouveaux risques. Les réponses des acteurs des télécoms doivent ainsi évoluer. L'école explore donc une grande diversité de techniques pour mieux protéger les réseaux et ses données.

## SÉCURISER LES COMMUNICATIONS 5G

L'arrivée de la 5G accroît plus encore les risques cyber, car ces catégories de réseaux ont vocation à être de plus en plus numériques, et à connecter de plus en plus d'objets et/ou d'opérateurs. L'avènement des réseaux 5G privés, par exemple, doit permettre de développer fortement l'IoT dans le monde industriel. «*La multiplication des nœuds dans les réseaux, notamment avec l'essor des communications machine to machine, renforce la vulnérabilité des communications*», précise Hervé Debar, directeur de la recherche à Télécom SudParis et responsable du département Réseaux et services de télécommunications (RST). Pour maîtriser cette multiplication des risques, l'équipe SCN (Sécurité et confiance numérique), du laboratoire Samovar, utilise différents moyens pour sécuriser les communications : en créant plusieurs cercles de confiance au sein même des réseaux déployés ou en analysant les réseaux via des passerelles chargées d'examiner et de sécuriser les données. «*Nous travaillons aussi sur la façon dont nous encodons et nous distribuons l'information*», ajoute Hervé Debar.

La possibilité de relier différents réseaux au sein d'une même zone, grâce à un réseau 5G privé, par exemple, soulève aussi de nouvelles questions de cybersécurité. «*Les réseaux 5G doivent s'adapter à ceux déjà existants, comme les vieux protocoles des bus de terrain dans l'industrie*», indique

### CONTACTS

**OLIVIER MARTINOT**  
 Directeur de  
 l'innovation et des  
 Relations Entreprises  
 ✉ [olivier.martinot@telecom-sudparis.eu](mailto:olivier.martinot@telecom-sudparis.eu)





## Une technologie d'analyse des risques pour les hôpitaux

Les hôpitaux sont la cible des cybercriminels depuis de nombreuses années. Le projet européen HEIR vise à construire un panel d'outils de « cyber-intelligence » pour permettre aux hôpitaux de mieux évaluer les risques et d'améliorer leur sécurité cyber.

Les données médicales sont de plus en plus précieuses. Paradoxalement, les systèmes informatiques des hôpitaux sont particulièrement sensibles. Pire, la multiplication des dispositifs médicaux dans l'univers de la santé crée de nouveaux risques cyber. Le projet HEIR vise à réduire la vulnérabilité des systèmes d'information des hôpitaux, en renforçant les outils de détection des attaques et la protection des données personnelles. Grâce à une analyse des échanges de données entre les différents acteurs de la santé (chercheurs, médecins, directeurs d'hôpitaux), la quinzaine de partenaires de HEIR veut développer une plateforme capable de leur fournir les informations pour mieux évaluer le niveau de vulnérabilité de leur établissement de santé.

Telecom SudParis participe, dans le cadre de ce projet, au développement d'un système d'analyse des risques d'attaques, en s'appuyant notamment sur des méthodes de calcul de risques. Plus précisément, l'école travaille sur la mise au point d'un procédé de caractérisation du risque pour différents types de données générées par les utilisateurs du réseau (personnel soignant et administratif, logistique, patient, visiteur...). En fonction du type de donnée, l'accès est protégé de manière stricte, ou peut être accessible après transformation. Par exemple, un médecin peut avoir accès à des données médicales que les assureurs ne peuvent consulter.



# CEA partenaire des premiers réseaux 5G privés



Le CEA est co-porteur du programme de recherche (PEPR) sur les réseaux du futur, financé par France 2030. Il interviendra à ce titre sur une grande diversité de technologies sur la 5G et 6G grâce à la spécialisation de ses centres. Un des axes concernera l'intégration des sciences du numérique dans le secteur des télécoms. Son apport sera précieux pour rendre les réseaux plus flexibles et plus autonomes, voire « auto-apprenant » à l'aide de technologies d'intelligence artificielle et de machine learning. Ces techniques permettent d'adapter le signal à l'état du matériel (antennes) ou du réseau, tout en minimisant les ressources consommées. Le CEA prépare aussi l'étape suivante, lorsque les réseaux serviront de « capteurs » (approche JACS), et pourront mesurer, par exemple, la réflexion d'un signal, la position d'un utilisateur ou son besoin immédiat.

Le CEA travaille, en outre, sur la partie électronique des réseaux, grâce aux compétences de ses équipes grenobloises. Il s'occupe aussi des surfaces RIS, des antennes MIMO ou encore prépare l'arrivée des MIMO « cell-free ». Les équipes se penchent également sur les composants des futures antennes qui seront utilisées pour les hautes fréquences, supérieures à 90 GHz. Le CEA collabore, entre autres, avec l'IEMN pour développer des circuits électroniques à base de silicium (Si)

et de matériaux dit III-V (GaN et InP), capables de supporter les hautes fréquences. Ces activités sont menées en collaboration avec des industriels du secteur des semi-conducteurs, comme des équipementiers, comme MC2 Technologies ou Nokia.

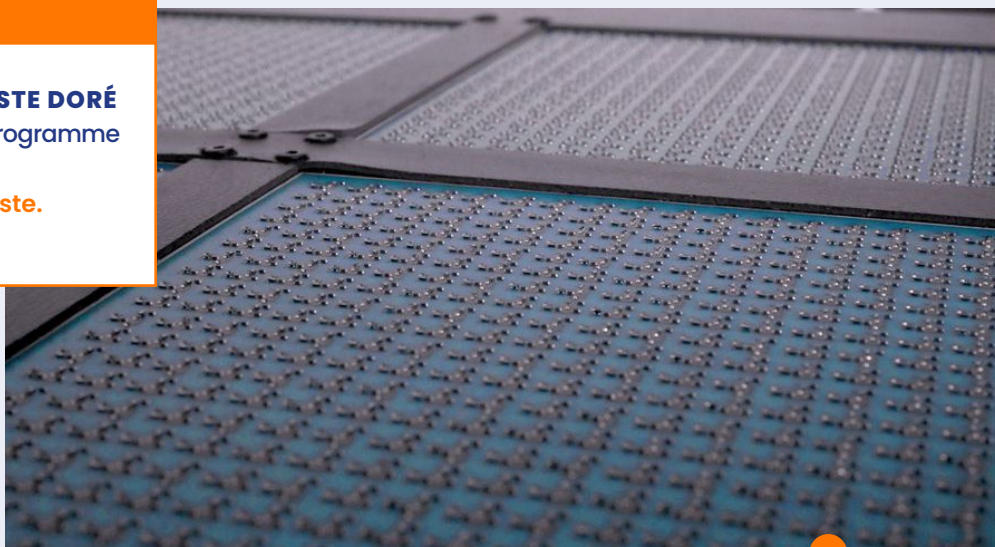
## PIONNIER DES RÉSEAUX PRIVÉS

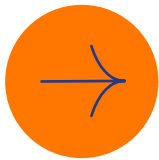
Multicompétent sur de nombreuses technologies, le CEA a joué un rôle pionnier dans la mise au point de cas d'usage avec des industriels, notamment l'élaboration de réseaux 5G privés. L'entreprise Mios (SNEF), spécialisée dans les domaines de l'IT et de l'IoT, s'apprête à tester avec le CEA un réseau 5G privé couvrant ses installations portuaires ainsi que les navires approchants. Les concepteurs ont examiné la propagation des ondes, leur latence, la sécurité de ces communications ou leur fiabilité. Objectifs : réduire le temps de transit des navires et améliorer le bilan environnemental des opérations portuaires.

Le CEA accompagne aussi l'utilisation de la 5G pour des applications dans l'IoT industriel, à travers le projet CRIIOT, monté avec six partenaires, dont l'entreprise Sequans. Il proposera aux grands industriels une solution IoT « de bout en bout », du terminal jusqu'à l'opérateur métier.

## CONTACT

**JEAN-BAPTISTE DORÉ**  
 Directeur de programme  
 5G/6G, CEA  
 ✉ [jean-baptiste.dore@cea.fr](mailto:jean-baptiste.dore@cea.fr)





# Un projet sur les surfaces réfléchissantes avec Greenerwave

Le CEA conduit un consortium européen dans la 6G baptisé RISE-6G. Le projet, qui associe la start-up française Greenerwave, doit développer un environnement pour la 6G, en s'appuyant, notamment, sur les « reconfigurable intelligent surfaces » (RIS).

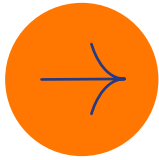
La mise au point de ces surfaces est un des grands enjeux de la 6G. Grâce à ces objets, les réseaux télécoms pourront prolonger la portée des réseaux utilisant les ondes millimétriques (28 GHz), connues pour leur grande puissance, mais leur faible portée. Le programme RISE-6G, qui intègre également les équipementiers NEC Laboratories Europe, Orange and Telecom Italia, vise à développer un ensemble d'outils pour faciliter la programmation, le pilotage et l'installation de ces surfaces. Le principal défi des acteurs du consortium sera de trouver le juste équilibre entre les performances, la consommation énergétique et l'exposition limitée aux champs électriques de ces surfaces.

Les acteurs du projet se sont ainsi fixé comme objectifs de développer de nouvelles architectures réseau intégrant plusieurs surfaces, de valider des modèles de propagation des ondes et de tester ces solutions dans deux sites : une gare SNCF et une usine Fiat. Concernant les surfaces, le consortium souhaite expérimenter différents types de matériaux, comme les diodes ou les métamatériaux. Et analysera l'installation de ces surfaces sur différents supports, comme les murs, les plafonds ou les miroirs.

## → Pionnier des RIS

La start-up Greenerwave, issue du CNRS et de l'ESPCI, s'est positionnée depuis quelques années sur ce créneau des ondes millimétriques et des surfaces intelligentes. Partenaire du projet Called RISE-6G, la start-up a fait la démonstration de sa technologie au dernier Mobile World Congress, en utilisant la plateforme 5G OpenAirInterface d'Eurécom pour réaliser la transmission d'une vidéo temps réel à l'aide d'une surface.

Ces résultats seront intégrés dans des jumeaux numériques, spécialité de Siradel, représentant différents types d'environnement, comme des zones denses, des gares ou des milieux industriels... Il sera alors possible d'identifier les différents cas de propagations de champs électromagnétiques.



## Le CEA et Siradel mettent le cap sur la ville numérique

Le CEA collabore avec la société d'ingénierie Siradel (Groupe Engie) depuis plusieurs années pour développer des systèmes de communication haute fréquence en utilisant la bande D. Aujourd'hui, les deux partenaires se sont à nouveau associés autour d'un projet visant à évaluer les technologies candidates pour la 6G et notamment les réseaux radio sans cellule (cell Free Massive MIMO).

En 2017, le CEA, Centrale Supélec, Siradel et l'ANFR s'associent pour porter le projet Brave, labellisé par l'ANR. Il vise à analyser et à proposer des technologies nécessaires à l'exploitation des fréquences au-dessus de 90 GHz, notamment la bande D de 140 GHz. Les promesses de cette bande sont importantes : des débits atteignant 100 Gbit/s et une latence extrêmement faible. Toutefois, la haute fréquence pose encore de nombreux problèmes technologiques : les imperfections des têtes radio sont importantes et les partenaires souhaitent concevoir des antennes capables de former un faisceau dans une direction voulue et de manière dynamique (focaliser l'énergie électromagnétique dans une direction).

Les membres du consortium travaillent sur la modulation des formes d'ondes. En parallèle, le CEA explore de nouvelles architectures de composants, en adaptant les composants CMOS à des applications de très haute fréquence. L'objectif de Siradel est de s'appuyer sur ces travaux pour développer des systèmes de communication haute capacité dans les réseaux de backhaul (antennes-cœur de réseau) ou entre les antennes.

### → Spécialiste des hautes fréquences

Aujourd'hui, Siradel s'est à nouveau associée au CEA pour « pré-évaluer » les technologies d'antennes dites « sans cellule » (cell free Massive MIMO), dans des bandes de fréquences au-delà de 6 GHz. Le nouveau consortium formé pour l'occasion, qui regroupe le CEA (coordinateur, Siradel, Centrale Supélec Rennes et le CNAM), ambitionne d'analyser de bout en bout la technologie CF-MIMO dans le spectre 3,5 et 7 GHz, pour, in fine, établir une comparaison avec les systèmes 5G en matière de débits, de latence et de consommation énergétique de bout en bout.



Ces résultats seront intégrés dans des jumeaux numériques, spécialité de Siradel, représentant différents types d'environnement, comme des zones denses, des gares ou des milieux industriels... Il sera alors possible d'identifier les différents cas de propagations de champs électromagnétiques.

# DÉCOUVREZ POC Études

SERVICE D'INTELLIGENCE  
TECHNOLOGIQUE



## Identifiez les compétences indispensables pour vos projets R&D

L'équipe de POC identifie les chercheurs et les innovations de rupture capables d'accompagner les responsables R&D et Innovation des entreprises dans leurs missions.

Notre objectif, vous permettre de :

- lever des verrous technologiques
- identifier de nouveaux partenaires scientifiques
- sourcer les meilleures innovations de rupture



Nous vous livrons un Cahier d'innovations sur mesure, dans lequel nous réunissons les informations clés :

- les axes de recherche du chercheur
- les innovations en cours de développement
- le contact du chercheur ou du dirigeant

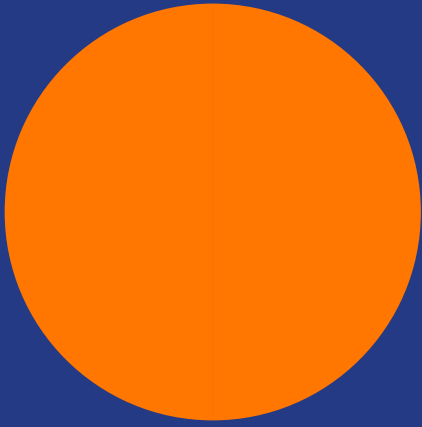
**Vous souhaitez vous  
renseigner sur nos études ?**

**N'hésitez pas à nous contacter.**

✉ [etudes@pocmedia.fr](mailto:etudes@pocmedia.fr)



Conception graphique : Jessica Richer  
Publication : Octobre 2023  
Crédits photos : Pexels



**POC Media**

8 Rue Rouvet, 75019 Paris  
florent.detroy@pocmedia.fr  
06 31 11 19 07

