



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

anr ©
agence nationale
de la recherche



Financé par
l'Union européenne
NextGenerationEU



Programme et Équipement Prioritaire de Recherche 5G et Réseaux du Futur

« Appel à projets : 5G et Réseaux du Futur »

L'appel à projets est ouvert jusqu'au 12/03/2024 à 11h00 (heure de Paris).

Adresse de consultation : <https://anr.fr/PEPR-5G-AAP-2023>

APPEL À PROJETS

Décembre 2023



Résumé

Dans la dynamique de France Relance et dans le cadre du plan France 2030 la 5G et les futures technologies de réseaux de télécommunications ont été identifiées comme un marché cible à fort potentiel de croissance et sur lequel la France dispose de réelles capacités. L'État a lancé le 6 juillet 2021 une stratégie d'accélération dédiée, afin de faire de la 5G un outil de compétitivité industrielle et de repositionner la France à la pointe sur les futures technologies de réseaux. Dans le cadre de cette stratégie, le gouvernement a décidé de soutenir l'activité de R&D à travers le Programme et Equipements Prioritaires de Recherche « PEPR-5G et Réseaux du Futur ».

Le pilotage scientifique de ce PEPR a été confié au CEA, au CNRS et à l'IMT. Sa programmation doit contribuer à :

- Placer la recherche française au premier rang des thématiques scientifiques visées par ce PEPR ;
- Développer des équipements mutualisés permettant aux équipes de recherche de réaliser des expérimentations pour valider leurs concepts ;
- Élaborer une cartographie de la recherche en réseaux et télécommunications pour soutenir la structuration de la communauté de recherche ;
- Accompagner les équipes qui ont produit les résultats les plus prometteurs sur la voie de l'industrialisation.

Afin d'atteindre ces objectifs, une stratégie a été définie et un Programme a été construit, lequel est composé de neuf Projets Ciblés, un Projet de Plateformes, des Appels à Projets (AAP) et un Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI), intégrant un volet prématuration.

Les Projets Ciblés et le Projet Plateforme ont démarré leurs activités à la mi-2023 (un résumé de ces projets est donné en annexe de ce document).

Cet Appel à Projets adresse les axes thématiques 'Architectures et infrastructures réseaux, convergence réseau- cloud-sensing', 'Systèmes photoniques' et 'Impacts sociaux des technologies 5G, de leur conception à leur réception par le grand public'.

Cet Appel à Projets est destiné à soutenir des consortiums d'équipes de recherche. Il se déroulera en une seule étape d'évaluation par un comité international.

La durée des projets est de 56 mois au maximum. Les bénéficiaires des aides sont les organismes de recherche et les établissements d'enseignement supérieur et de recherche. Le montant de l'aide allouée pour chaque projet est compris entre 800k€ et 3M€ pour un volume d'aide maximal de 7,5 M€ pour le présent appel.

Mots-clés

Intégration des réseaux non-terrestres, réseau auto-organisé, réseau conscient des objectifs, contrôle de la latence, planification des réseaux du futur.

Systèmes photoniques, fibre légèrement multimode, fibre multicoeurs, fibres à cœur creux, photonique THz, conversion optique, communication optique sans fil, modulation, codage des canaux optiques, formes d'onde optique.

Impacts politiques et économiques, liens entre mondes politiques scientifiques-industriels, inerties sociotechnique, défiance, controversée.

Dates importantes

Clôture de l'appel à projets

Les éléments du dossier de dépôt doivent être déposés sous forme électronique, y compris les documents signés par le responsable légal de chacun des partenaires, impérativement avant le :

le 12/03/2024 à 11h (heure de Paris)

sur le site : <https://france2030.agencerecherche.fr/PEPR-5G-AAP-2023>

Contacts ANR

PEPR-5G@agencerecherche.fr

Il est nécessaire de lire attentivement l'ensemble du présent document et les instructions disponibles sur la page web de l'appel et sur le site de dépôt des dossiers.

Chargé de Projet Scientifique : Pierre Asplanato

Responsable de Programme : Thomas Noël

Sommaire

Résumé.....	2	aménagement du territoire, souveraineté.....	15
Mots-clés.....	2	c) Défiance, critiques, controverses.	16
Dates importantes	3	2.2. Principales caractéristiques des projets	17
Contacts ANR	3	2.3. Partenaires	18
1. Contexte et objectifs de l'appel à projets	5	3. Examen des projets proposés.....	18
1.1. Contexte.....	5	3.1. Procédure de sélection.....	18
1.2. Objectifs de l'appel à projets..	5	3.2. Critères de recevabilité	18
1.3. Rôle des directeurs du PEPR....	6	3.3. Critères d'évaluation.....	19
2. Thématiques de l'appel et projets attendus	6	4. Dispositions générales pour le financement.....	20
2.1. Thématiques	6	4.1. Financement.....	20
2.1.1 Axe 1 : 'Architectures & Infrastructures de Réseaux'	6	4.2. Accords de consortium	20
a) Planification des réseaux 5G et des réseaux du futur	7	4.3. Science ouverte	21
b) Garanties déterministes de latence.....	8	4.4. Aide d'État.....	21
c) Réseaux non terrestres	8	4.5. Suivi des projets par l'ANR..	21
d) Prise en compte par le réseau des informations sur les applications et sur le contexte..	9	5. Modalités de dépôt.....	22
2.1.2 Axe 2 : 'Systèmes photoniques'.....	9	5.1. Contenu du dossier de dépôt	22
a) Augmenter la capacité des réseaux à fibres optiques.....	10	5.2. Procédure de dépôt.....	22
b) Systèmes à faible latence et faible non-linéarité	11	5.3. Conseils pour le dépôt	22
c) Assurer la continuité entre la photonique et les réseaux sans fil.....	11	6. Annexes	23
d) Transmissions optiques en espace libre.....	12	Annexe 1 : Indicateurs.....	23
2.1.3 Axe 3 : 'Impacts sociaux des technologies 5G/6G, de leur conception à leur réception par le grand public'.....	13	Annexe 2 : Résumés des projets ciblés du PEPR	25
a) Expertise, arènes de décision, politiques publiques.....	14		
b) Infrastructures et maintenance,			

1. Contexte et objectifs de l'appel à projets

1.1. Contexte

Le PEPR 5G et Réseaux du Futur a vocation à encourager et soutenir des activités de recherche amont, dans la gamme TRL 1- 4, répondant aux priorités définies dans le cadre de la stratégie France 2030. Son pilotage est assuré par le CEA (représenté par Dimitri Ktéas), l'IMT (représenté par Daniel Kofman) et le CNRS (représenté par Serge Verdeyme).

La 5G et la 6G sont définies et spécifiées (prémisses pour la 6G) pour répondre aux attentes des marchés « verticaux », secteurs industriels stratégiques tels que la santé connectée, l'industrie du futur (4.0), les véhicules connectés, l'agriculture et l'industrie agroalimentaire intelligentes, etc. Elles offrent une grande variété de configurations « radio » et une grande flexibilité architecturale (de bout en bout) pour s'adapter au mieux aux divers cas d'usage, allant de l'internet des objets industriels au très haut débit pour la réalité virtuelle par exemple.

La 5G et la 6G sont également au cœur de la stratégie industrielle de la Commission Européenne et constitueront une infrastructure critique pour sa souveraineté et celles des États Membres, avec par conséquent un enjeu important sur leur sécurisation qui est largement rappelé par l'ANSSI. Cette adéquation entre la 5G/6G et les besoins des industries européennes est fortement créatrice de valeur.

Les perspectives d'évolutions des technologies et de l'écosystème renforcent le rôle stratégique de ces systèmes. Les technologies évoluent pour permettre, entre autres, l'utilisation de bandes millimétriques, l'intégration de nouveaux concepts, tels que les surfaces intelligentes reconfigurables et les réseaux non-terrestres et les réseaux fibrés de nouvelle génération. Les nouvelles architectures introduisent la flexibilité nécessaire, notamment au travers de la virtualisation de bout-en-bout et d'une orchestration avancée de toutes les fonctionnalités et de multiples acteurs impliqués. La convergence réseau-cloud-sensing ouvre le potentiel d'innombrables nouveaux services, réduit les coûts des services existants et permet d'envisager des transformations profondes de l'écosystème industriel et notamment sa géographie actuelle. Depuis son déploiement au début des années 2020, la 5G fait ainsi l'objet d'attentes, mais également de controverses qu'il faut analyser.

1.2. Objectifs de l'appel à projets

Les thématiques éligibles pour des appels à projets ont été identifiées dans la phase de construction du programme, évalué, dans sa globalité, par le comité scientifique et technologique. Elles sont pour une part complémentaires des ensembles thématiques traités dans le cadre des Projets Ciblés ('Architectures et infrastructures de services multi-domaines de bout en bout', 'Architectures et infrastructures réseaux, convergence réseau-cloud-sensing', 'Composants et systèmes de transmission THz (110-170, 300 GHz)', 'IoT et services du futur', 'Plateforme XG'), pour une autre part positionnées sur des sujets non couverts dans le cadre des Projets Ciblés ('Systèmes photoniques', 'Impacts sociaux des technologies 5G, de leur conception à leur réception par le grand public').

Cet Appel à Projets adresse les axes thématiques 'Architectures et infrastructures réseaux, convergence réseau-cloud-sensing', 'Systèmes photoniques' et 'Impacts sociaux des technologies 5G, de leur conception à leur réception par le grand public'.

Les objectifs généraux de cet appel à projets sont définis comme suit. Il s'agit de structurer les activités de recherche et développement menés en France autour d'objectifs ambitieux et d'une stratégie lisible autour des trois axes définis précédemment, ainsi que de soutenir et structurer la communauté de recherche du domaine des réseaux du futur, tout en lui donnant une visibilité renforcée et en permettant l'interaction avec l'ensemble des forces vives. Pour ce faire, cet appel à projet vise des consortiums de taille critique regroupant les laboratoires pertinents du domaine, visant un minimum de cinq équipes d'au moins trois établissements par proposition. Les équipes

impliquées dans les réponses à cet appel pourront indiquer dans le dossier les partenariats en cours ou à venir, par exemple sous la forme de thèse en co-tutelle, avec des laboratoires européens clés du domaine. La mise en avant de cette dynamique européenne, sans être un critère déterminant, sera apprécié dans l'évaluation.

1.3. Rôle des directeurs du PEPR

Dans le cadre de cet appel à projets, les directeurs du programme (Serge Verdeyme, Dimitri Ktenas, Daniel Kofman) ont été en charge de la préparation du texte décrivant les objectifs, le périmètre scientifique et les thèmes de l'appel. Notamment, il s'agissait d'assurer la cohérence et la complémentarité de cet appel avec les projets ciblés d'une part et avec l'ensemble de la stratégie nationale 5G et Réseaux du Futur d'autre part.

Les directeurs du PEPR proposeront au Secrétariat Général Pour l'Investissement la désignation des projets qui pourraient être financés et le montant d'aide qui pourrait leur être définitivement attribué.

Enfin, les directeurs du PEPR suivront les projets lauréats lors de revues annuelles ou biennuelles en fonction de leur taille avec le porteur du projet, en concertation avec l'ANR et le coordinateur de la stratégie nationale. Il s'agira de discuter des avancées scientifiques et de dissémination, mais également d'évoquer les points relatifs aux ressources humaines et aux équipements, ainsi que les difficultés rencontrées.

La direction du PEPR peut être contactée à l'adresse serge.verdeyme@unilim.fr.

2. Thématiques de l'appel et projets attendus

2.1. Thématiques

Dans cette première phase d'appel à projets, trois axes thématiques sont retenus :

Axe 1 : 'Architectures & Infrastructures de Réseaux, convergence réseau-cloud-sensing'. Les thématiques couvertes par cet axe sont complémentaires à celles traitées dans le Projet Ciblé du PEPR portant la même dénomination (voir paragraphe suivant). L'aide totale indicative pour cet axe est de 2.5 M€.

Axe 2 : 'Systèmes photoniques'. Cet axe traite des technologies et usages des fibres optiques, et des systèmes communications en espace libre. L'aide totale indicative pour cet axe est de 3 M€.

Axe 3 : 'Impacts sociaux des technologies 5G/6G, de leur conception à leur réception par le grand public'. Cet axe relève du champ des sciences sociales. Il traite des processus collectifs amenant à concevoir, déployer, contester ces réseaux du futur, et leurs impacts sur l'organisation de nos sociétés. L'aide totale indicative pour cet axe est de 2 M€.

2.1.1 Axe 1 : 'Architectures & Infrastructures de Réseaux'

L'un des objectifs majeurs qui ont guidé la conception de la 5G, outre ceux classiques d'augmenter la capacité, la vitesse et la densité des objets connectés, est celui de répondre avec plus de flexibilité que les générations précédentes aux besoins spécifiques des différents secteurs d'activité, des différents verticaux. Par flexibilité, on entend ici la possibilité de définir et d'offrir différents types de services en fonction des différentes familles de besoins, tout en optimisant dynamiquement l'utilisation de ressources. Même si cet objectif était également présent lors de l'élaboration des normes 4G, l'accent mis à cet égard dans la 5G et les avancées prévus pour les générations futures

sont très différenciants.

Les réseaux du futur, en cours de conception, introduiront des changements de paradigmes supplémentaires, tendant à créer de la valeur conjointe avec d'autres secteurs d'activité. Nous pouvons citer deux exemples :

- Il ne s'agit plus seulement de créer des services mieux adaptés aux besoins des verticaux, mais aussi mettre en œuvre des synergies technologiques avec ces verticaux tendant à une création conjointe de valeur. L'exemple le plus parlant est celui des réseaux de véhicules en tant qu'extension des réseaux d'infrastructure. Plus dans la continuité de la 5G, la flexibilité telle que définie ci-dessus doit augmenter, facilitant ainsi plus de dynamisme dans l'offre de services.
- La convergence réseau-cloud-sensing apporte une réponse à différents défis technologiques, parmi lesquels on peut citer le contrôle de la latence ; mais surtout cette convergence ouvre les portes à un grand nombre de nouveaux services et d'applications.

Cet axe est proposé afin d'étendre le périmètre du Projet Ciblé « Architectures et Infrastructures de Réseaux », déjà financé par le PEPR, afin que ce projet, avec les extensions apportées par les projets qui ici seront sélectionnés, couvre la conception d'architectures et de systèmes :

- Intégrant toutes les technologies radio et optiques innovantes
- Offrant une intégration verticale, de ces technologies à l'offre de services
- Proposant une intégration horizontale : réseaux cœur, Xhaul, d'accès mais aussi périphériques (réseaux de véhicules et autres réseaux d'objets).
- Dans un contexte multi-technologique, multi-acteurs, multi-propriétaires voire multi-sectoriel
- Facilitant une convergence réseau-cloud-sensing, dans le cadre de la « géographie » actuelle des secteurs d'activité et aussi en prévision d'une éventuelle évolution de celle-ci où les frontières entre secteurs s'effaceraient progressivement.
- Rendant possible une multitude de nouveaux services, de nouveaux modèles économiques, avec un impact potentiel très élevé pour le secteur économique et pour les citoyens. Notamment, rendant possible une fédération multisectorielle pour l'offre avancée de services.

Cet axe de l'appel traite en priorité de 4 enjeux des intégrations horizontales et verticales requises pour répondre aux exigences des futurs services. Intégration verticale dans le sens où il traite de l'orchestration de toutes les technologies innovantes, depuis les technologies radio et optiques, jusqu'aux mécanismes nécessaires aux interactions avec les architectures des services ; englobant des concepts tels que la virtualisation, les paradigmes SDN/NFV, le slicing et les réseaux non terrestres. Par intégration horizontale, on entend : les réseaux cœur, Xhaul, d'accès mais aussi périphériques (réseaux de véhicules et autres réseaux d'objets), les capacités de calcul et de stockage, ainsi que les capacités de sensing. Des approches innovantes d'opération de ces systèmes sont également couvertes, notamment l'utilisation de l'intelligence artificielle pour un positionnement optimal des fonctionnalités et le paramétrage des mécanismes pour une utilisation optimale des ressources et une consommation d'énergie minimale. Des solutions de planification sont également envisagées.

Voici les thèmes considérés comme prioritaires, complémentaires à ceux des projets déjà financés par le PEPR ; ces thèmes ne sont pas exclusifs. Il est souhaité, même si pas obligatoire, que les projets répondent à plusieurs des thèmes ci-dessous. Des échanges préalables avec la direction du programme (cf. descriptions des projets ciblés en annexe 2) en cours au sein du PEPR pourraient contribuer à mettre en évidence la contribution des propositions aux objectifs généraux du Projet Ciblé « Architectures et Infrastructures de Réseaux ».

a) Planification des réseaux 5G et des réseaux du futur

La planification technico-économique représente un défi bien connu pour toute nouvelle génération de réseaux cellulaires. La 5G impose un changement de paradigme en matière de planification, avec un impact potentiel énorme sur l'optimisation des coûts de déploiement de ces réseaux. La planification des réseaux cellulaires a historiquement pris en compte les objectifs de couverture et

de capacité. Ce problème est déjà complexe en soi et des avancées ont été réalisées grâce à de nouvelles approches de modélisation et notamment de géométrie stochastique (notamment grâce à des travaux et des solutions conçues en France et largement utilisées aujourd'hui au niveau international). La 5G impose de prendre en compte, d'une part, d'autres métriques liées aux services proposés et, d'autre part, des innovations technologiques et architecturales majeures : accès radio basé sur le beamforming, des RIS, fonctionnement multi RAT, MEC (multi-access edge informatique) et les activités de virtualisation, pour n'en citer que quelques-unes parmi les plus importantes.

Voici quelques exemples de questions auxquelles une solution de planification doit répondre :

- Quelle densité faut-il pour que les stations de base d'un réseau 5G 3,5 GHz obtiennent une qualité de service donnée ?
- Quelle structure donner à un réseau 5G hétérogène utilisant à la fois les ondes millimétriques et la bande 3,5 GHz ?
- Comment planifier des réseaux en profitant des RIS (Reconfigurable Intelligent Surface) ?
- Comment planifier des systèmes convergents « réseau-cloud », notamment dans un contexte multi-acteurs ?

L'objectif est ici de concevoir des outils et des solutions pour planifier les réseaux 5G et les réseaux du futur, permettant de répondre aux objectifs de minimisation des coûts et de la consommation énergétique et de profiter de la panoplie de nouvelles technologies intégrées dans ces réseaux.

Parmi les nombreux autres défis à relever, on peut citer la représentation encore manquante de certains éléments clés de l'architecture, notamment le MEC. La planification de systèmes convergents réseau-cloud-sensing est une question largement ouverte. L'évolution du Beamforming à long terme, lorsque des réseaux d'antennes plus efficaces, éventuellement aidés par des surfaces reconfigurables intelligentes, permettront de créer un spot focal mobile centré sur le mobile et suivant le mobile change également radicalement le paradigme de la planification des réseaux mobiles. Ces deux sujets ne sont mentionnés qu'à titre d'exemple.

b) Garanties déterministes de latence

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les solutions 5G existantes ne garantissent pas les temps de latence de manière déterministe, ce qui est indispensable pour divers usages, par exemple dans l'Industrie 4.0 et dans les transports intelligents. La garantie de latence de bout en bout est un sujet qui va bien au-delà des solutions à faible latence proposées dans les standards 3GPP pour le RAN et nécessite des changements architecturaux. Le Multi-Access Edge Computing est un exemple d'approche architecturale ayant un impact potentiel élevé sur le contrôle de la latence ; sa conception en lien avec les différents verticaux reste à faire. Le rôle du *slicing* et l'utilisation des multi trajets, notamment sur différents *slices*, est également considéré ici, tant dans la conception des solutions que dans leur modélisation pour un fonctionnement efficace et dynamique. La latence est un concept de bout en bout, qui dépend d'un large ensemble de fonctionnalités et de mécanismes ; l'orchestration appropriée de ces fonctionnalités et mécanismes afin de répondre à des exigences de latence spécifiques et changeantes avec une utilisation minimale des ressources est l'un des principaux défis à relever.

c) Réseaux non terrestres

Pour proposer des ressources alternatives ou couvrir des zones difficiles, les réseaux non terrestres (basés sur satellites notamment d'orbite moyenne ou basse, des drones, des robots) ont également un rôle important à jouer dans les réseaux du futur. Ils sont vus comme une partie intégrale des réseaux de type 6G qui devront les incorporer de manière native. Dans de nombreuses situations de grands rassemblements ou de réseaux terrestres limités (par exemple ponctuellement dans le temps suite à une surcharge du trafic) ou simplement d'inexistence de couverture, une assistance aérienne est envisagée pour déporter tout ou partie du trafic ; par exemple, avec une constellation de satellites en orbite basse (ONGS) ou de véhicules aériens autonomes (UAV). Les concevoir pour qu'ils exploitent tout leur potentiel présente encore de nombreux défis, malgré les déploiements existants

et leur accélération. Leur rôle est stratégique, d'autant plus qu'ils permettent l'entrée de nouveaux acteurs, comme le montre l'engouement des GAFAM pour le sujet.

Les défis sont multiples, l'intérêt ici est porté sur les aspects architecturaux et leur modélisation ; et très particulièrement sur l'articulation de ces réseaux avec les réseaux terrestres, ce qui soulève des enjeux importants, par exemple en termes de solutions de *roaming*, de multi trajet ou de contrôle de puissance.

d) Prise en compte par le réseau des informations sur les applications et sur le contexte

Les réseaux ont historiquement été conçus pour transporter des données de manière indépendante des applications qui les génèrent et des contextes source et destination. Cela a très partiellement changé ces 15 dernières années où des fonctions capables de détecter les flux afin de leur attribuer un niveau de service adapté à leurs besoins ont été « ajoutées », bien que pas toujours bien intégrées. L'intérêt ici porte sur l'introduction native de l'intelligence dans les réseaux, permettant par exemple d'appliquer le niveau de sécurité pertinent, de s'auto-organiser en fonction de la compréhension des objectifs, de gérer le mix des ressources (communication, stockage, calcul) en choisissant selon différents critères parmi les multiples solutions permettant d'offrir le service attendu, de prédire efficacement les anomalies fonctionnelles et les violations non fonctionnelles et de prendre les actions pertinentes en conséquence, d'éliminer les contenus devenus obsolètes pour le destinataire en raison de délais trop longs, pour gérer efficacement plusieurs transmissions du même contenu avec de faibles décalages entre chaque flux (par exemple des vidéos), etc. Des cas d'utilisation spécifiques peuvent être abordés, tels que la conception conjointe de mécanismes de contrôle et de communication ; des travaux sont en cours dans ce domaine dans le cadre des réseaux véhiculaires ; mais, d'une part, de nombreux obstacles restent à lever dans ce domaine et, d'autre part, il serait souhaitable de disposer d'un cadre général applicable à de nombreux autres contextes, notamment dans l'industrie 4.0. La stabilité du contrôle et la robustesse du système sont ici des indicateurs de performance clés.

2.1.2 Axe 2 : 'Systèmes photoniques'

La 5^{ème} génération (5G) de réseaux mobiles est déployée dans une grande variété de scénarios mais, dans tous les cas, ces réseaux devront assurer une couverture élevée, une faible latence, tout en permettant une capacité ultra-élevée. Compte tenu du débit cumulé d'une seule cellule 5G, chacune d'entre elles doit être alimentée par un lien à base de fibres optiques, seule solution technologique permettant de répondre à ces énormes besoins de capacité. À plus long terme, les petites cellules devraient également répondre aux besoins de couverture et de capacité. Il s'agira de réseaux à courte portée et à faible puissance fonctionnant dans des bandes de fréquences plus élevées. Selon différentes estimations, dans les zones urbaines, environ 10 petites cellules pourraient être déployées pour chaque macro-nœud actuel déjà installé. De tels déploiements nécessiteront également l'essor de réseaux de fibres optiques spécifiques. Les réseaux sans fil post-5G, en revanche, imposeront des volumes de trafic de données encore plus importants pour faire face à la croissance exponentielle du nombre d'appareils connectés et à l'émergence d'applications de plus en plus gourmandes en bande passante telles que la réalité augmentée/virtuelle, les communications holographiques ou la conduite autonome. Ces types de services nécessitent une transmission ultra fiable et à haut débit : le débit des liens optiques au pied des sites d'antennes (*backhaul*) est estimé à 100 Gb/s et de 400 à 800 Gb/s pour les liens mobiles (*fronthaul*), avec une latence extrêmement faible et une efficacité énergétique élevée garantissant que des millions d'appareils et d'applications connectés puissent fonctionner de manière transparente. Là encore, l'ensemble du réseau s'appuiera sur une infrastructure optique dense qui devra ensuite intégrer des technologies de rupture dans la couche photonique afin de répondre aux attentes des utilisateurs. La photonique est également perçue par les équipementiers *datacom* comme la technologie qui assurera la mise à l'échelle des datacenters, indispensables au déploiement de la 5G, qu'il s'agisse de *edge-data-centers* (proches des utilisateurs) ou des plus grosses unités des géants du numérique.

Quatre principaux domaines d'intérêt de recherche sont énumérés ci-après. Ces différents domaines répondent aux enjeux technologiques auxquels est confronté le développement des réseaux

optiques du futur, à savoir : capacité accrue, latence réduite et garantie, meilleure fiabilité et durabilité renforcée. Au-delà de la performance, l'empreinte écologique ainsi que les CAPEX et OPEX doivent également entrer dans la réflexion. Ces axes reflètent des domaines de recherche en photonique pour lesquels des savoir-faire sont déjà identifiés sur le territoire national et pour lesquels cet AAP contribuera à accroître la souveraineté technologique de la France dans le domaine des technologies de l'information et de la communication, aspect-clé pour la souveraineté numérique du pays.

Les projets proposés pourront d'une part s'intéresser à la problématique de la fibre optique (optimisation de l'existant et cœur creux) et d'autre part aux sujets traitant de propagation en espace libre et du lien radio RF.

a) Augmenter la capacité des réseaux à fibres optiques

Afin de pousser plus loin l'exploitation des fibres optiques monomodes (SMF) actuellement en place tout en augmentant leur capacité, de nouvelles solutions technologiques prospectives sont envisagées telles que l'extension du nombre de canaux utilisés par le multiplexage en longueur d'onde (WDM) dans des fenêtres spectrales inexploitées ou encore la mise en œuvre de formes d'onde de signal innovantes, combinées avec des techniques avancées de traitement numérique du signal (DSP), pour contrer les dégradations induites par les effets non linéaires statiques et dynamiques.

À terme, des avancées technologiques plus radicales devront également être envisagées. En effet, les fibres optiques monomodes actuellement installées ont une capacité maximale légèrement supérieure à 100 Tb/s/fibre ; limite dictée par le théorème de Shannon combiné aux dégradations du signal par les effets non-linéaires. Afin de dépasser ces limites fondamentales, le multiplexage par répartition spatiale (SDM) apparaît comme la voie la plus prometteuse, puisque tous les degrés de liberté des SMF (polarisation, longueur d'onde, etc.) sont déjà pleinement exploités. La technologie SDM est également pertinente à considérer pour les réseaux d'accès, FTTX et 5G, où la notion de densité est un critère important ; c'est-à-dire assurer la même capacité dans un espace plus petit ou une plus grande capacité dans le même espace. Cependant, les interactions (linéaires et non-linéaires) survenant sur ces nouveaux canaux spatiaux ont un impact direct sur les performances du système et doivent être abordées au niveau matériel et logiciel (par exemple, des solutions pour simplifier ou éviter l'utilisation de DSP). Toutes ces évolutions interviendront dans un contexte où la consommation énergétique des réseaux atteint une part non négligeable de la consommation globale. Une attention particulière doit donc être portée à l'amélioration de l'efficacité énergétique à chaque nouvelle étape, accompagnée de préférence d'une réduction absolue. Pour répondre à ces objectifs, des solutions basées sur un couplage intelligent entre l'intelligence artificielle et le traitement du signal sont envisageables.

➤ *Positionnement par rapport à l'état de l'art*

Depuis 2010 et la popularisation de la notion de *Capacity Crunch*, de nombreux groupes académiques et industriels à travers le monde ont investi la problématique du SDM, ce qui a conduit aux démonstrations, en laboratoire, de capacités de transmission dépassant le Pb/s par fibre. Les fibres légèrement multimodes (FMF), les fibres multi-cœurs (MCF) ou encore la combinaison des deux (FM-MCF, fibres à multiples cœurs légèrement multimodes) font, depuis, l'objet de nombreux travaux. Dans chaque cas, le régime de couplage (fort ou faible) entre les canaux spatiaux que constituent les cœurs ou les modes fait l'objet d'une attention particulière, de même que le choix des modes, supermodes, groupes de modes ou bases de modes les plus adaptés à une transmission de haute capacité. Au-delà de la fibre elle-même, le développement de composants photoniques adaptés au multiplexage/démultiplexage, à l'amplification ou encore au routage des canaux spatiaux fait également l'objet de nombreux travaux, de même que le développement d'algorithmes de traitement des signaux adaptés à ce nouveau type de multiplexage par nature plus sensible au couplage et aux gains/pertes différentiels entre canaux. Parallèlement, les travaux consistant à tirer le meilleur parti des fibres monomodes restent d'actualité. Dans ce contexte, on note un effort tout particulier sur l'exploitation de fenêtres spectrales complémentaires à la bande C (1530-1565 nm) actuellement utilisée. Outre le développement d'émetteurs/récepteurs opérationnels en bande O (1260-1360 nm), E (1360-1460 nm) ou S (1460-1530 nm), les travaux portent notamment sur les amplificateurs optiques à base de fibres actives (ex. Bismuth ou fibres fluorures/tellurites dopées terre-rare) ou de processus non-linéaires (Raman, en particulier). Là aussi, les travaux de recherche

sur les formats de modulation et les algorithmes innovants de traitements du signal restent d'actualité pour répondre à l'optimisation de performance de la chaîne de communication optique en présence de variabilités et d'incertitudes réparties entre l'émetteur, le canal et le récepteur. Par rapport aux techniques conventionnelles, les techniques basées sur des réseaux paramétriques, mixant à la fois des approches d'apprentissage automatique et de traitement du signal, offrent l'avantage de maximiser le débit utile tout en minimisant la latence et la complexité calculatoire des traitements. Pour améliorer la robustesse de la chaîne de communication, un axe de recherche également très prometteur repose sur l'utilisation des méthodes d'apprentissage profond visant à optimiser de bout en bout la chaîne de communication en adaptant automatiquement le codage/décodage à l'émetteur et au récepteur.

Les sujets couverts pourront donc viser à exploiter davantage les fibres optiques préinstallées et à investiguer les technologies de rupture pour les futurs réseaux optiques.

b) Systèmes à faible latence et faible non-linéarité

L'utilisation des fibres à cœur creux (HCF) dans le contexte des télécommunications constituerait une avancée technologique majeure avec plusieurs avantages potentiels : une faible latence (propagation environ 1,5 fois plus rapide dans l'air par rapport à la silice), des pertes potentiellement plus faibles que celles des SMF actuelles, une large bande spectrale et, plus important encore, une non-linéarité ultra-faible. Ces propriétés font d'ores et déjà de ces fibres une solution à très moyen terme pour les *datacoms*, les communications classiques/quantiques et la distribution de clés quantiques (QKD) ainsi qu'une alternative prometteuse pour les transmissions de données longue distance et à haute capacité.

➤ Positionnement par rapport à l'état de l'art

Les travaux de recherche sur les fibres à cœur creux ont été initiés avec l'avènement des fibres micro-structurées au cours des années 90. Depuis la première démonstration de guidage dans une fibre à bande interdite photonique en 1999, différents mécanismes de guidage et géométries de fibres associées ont été proposés par les acteurs du domaine. Ces dernières années, un palier de performances a été franchi avec la proposition de fibres anti-résonantes à multiples résonateurs imbriqués. Des valeurs de pertes de 0,174 dB/km en bande C ont été rapportées en 2022 et la tendance actuelle laisse penser que ces fibres seront prochainement en mesure de surpasser les fibres à cœur solide en termes de pertes (ce qui vient récemment d'être démontré aux longueurs d'onde plus courtes). Dès lors, l'utilisation de tels systèmes dans le contexte du transport de données semble prendre de plus en plus de sens comme en témoigne le récent rachat de la société Lumensity par Microsoft.

c) Assurer la continuité entre la photonique et les réseaux sans fil

Grâce aux fibres optiques, un très grand nombre d'appareils du réseau mobile peuvent aujourd'hui être interconnectés à très haut débit. Ces réseaux peuvent transporter une variété d'interfaces (*backhaul, midhaul, fronthaul*) et de services avec des exigences très hétérogènes en termes de débit, de disponibilité ou de latence... Cette diversité riche et complexe conduira inéluctablement les futurs réseaux mobiles à envisager différentes topologies de réseaux optiques et à évaluer la coopération entre les équipements fixes et mobiles. En effet, grâce à l'abstraction du réseau optique, une optimisation des paramètres de transmission optique et une priorisation des flux de données dans ces systèmes pourraient être envisagées pour assurer les contraintes mobiles de bout en bout.

Par ailleurs, la photonique apparaît comme une technologie-clé dans la conception de certaines fonctionnalités radio, comme la transposition vers et depuis les bandes millimétriques. Ainsi, un nouvel axe de recherche est lié à l'exploration de la bande passante offerte par les systèmes d'exploitation dans la bande de fréquence 240-330 GHz, envisagée pour les technologies post-5G. Pour exploiter ces nouvelles fréquences porteuses, une approche s'appuie sur des systèmes photoniques pour la montée et la descente en fréquence, notamment à l'émission où les formes

d'onde THz peuvent être générées par battement optique sur une photodiode rapide, assurant une continuité de transmission entre le réseau fibré et le réseau sans fil. L'augmentation de la puissance THz ainsi que le contrôle de l'orientation du faisceau THz représentent également des pistes d'amélioration à aborder.

➤ *Positionnement par rapport à l'état de l'art*

Les réseaux optiques vont continuer à jouer un rôle important dans le développement de nouvelles générations de communications au-delà de la 5G (Beyond 5G et 6G). L'énorme bande passante envisagée pour ces applications futures implique l'emploi des ondes millimétriques. Cependant, la montée à de telles fréquences augmente les pertes de transmission en espace libre réduisant ainsi la distance de propagation. De plus, la transmission sera plus sensible aux obstacles par la réduction de la longueur d'onde de la porteuse. Par conséquent, la coexistence à venir des réseaux 5G et 6G induira l'exploitation de plusieurs plages de fréquences de porteuses. Dans ce cadre, les approches photoniques se révèlent particulièrement intéressantes pour le transport et la génération de signaux. Ainsi, le transport de signaux millimétriques sur porteuse optique est assuré efficacement par les technologies de radio sur fibre, analogique ou numérique, tandis que plusieurs techniques de génération de signaux millimétriques par voie optique sont envisagées. La première approche consiste à multiplier les fréquences des signaux RF en cascasant plusieurs modulateurs électro-optiques, mais se révèle complexe et gourmande en termes d'équipement. Une seconde approche utilise le battement hétérodyne de deux ondes de fréquence différentes sur une photodiode rapide. Cette solution peut se révéler très flexible et efficace, à condition de limiter le bruit de phase par la mise en œuvre de techniques d'asservissement sophistiquées (transfert par peigne de fréquence, boucle à verrouillage de phase (PLL) optique, verrouillage des deux fréquences par injection). Une troisième solution, qui met en œuvre des peignes de fréquences, permet le transfert d'un signal RF sur un grand nombre de porteuses optiques et leur conversion par hétérodynage dans différentes bandes de fréquences millimétriques. La production de sources de peignes de fréquences est actuellement un domaine extrêmement actif (verrouillage de modes, peignes électro-optiques, micro-résonateurs). L'exploitation de peignes temporels issus de sources lasers impulsives rapides est très attractive car elle offre aussi une flexibilité nécessaire pour répondre à la coexistence des réseaux 5G et 6G par la présence simultanée de plusieurs plages de montée en fréquence.

En plus de la génération d'ondes millimétriques, la photonique présente un fort potentiel pour assurer la fourniture de l'énergie d'alimentation vers des antennes distantes, grâce à la technologie de la puissance sur fibre (*PoF*). Le transport simultané d'un signal optique de puissance et d'un signal de données hyperfréquences sur une même fibre optique constitue une voie de recherche actuelle avec des perspectives intéressantes. Différentes approches doivent être examinées et évaluées et les résultats obtenus permettront de déterminer les architectures les plus adaptées aux différentes interfaces (*backhaul, midhaul, fronthaul*) dans les réseaux.

Les sujets couverts pourront donc porter sur l'adaptation de la couche optique à la couche sans fil ainsi qu'aux technologies Photonique-THz.

d) *Transmissions optiques en espace libre*

Les systèmes de transmission optique en espace libre, regroupant notamment le LiFi (*Light-Fidelity*) et le FSO (*Free-Space Optics*), ont récemment montré qu'ils couvraient une gamme significativement large de débits de données jusqu'à des dizaines de Gb/s. Grâce à leurs capacités de bande passante élevées par rapport aux systèmes radio similaires, ces technologies tout-optique ne souffrent pas de l'encombrement du spectre RF. De plus, les technologies LiFi et FSO peuvent fournir une forme de transmission de données hautement sécurisée en confinant le signal dans un environnement spatial délimité, facile à contrôler tout en permettant un déploiement rapide et pratique. Tous ces avantages-clés font des systèmes de communication optique sans fil une technologie prometteuse à déployer dans les futurs réseaux optiques. Enfin, en s'appuyant sur diverses sources optiques telles que les LED à haute luminance et à faible coût, les micro-LED, les lasers tels que les VCSEL, qui peuvent couvrir une large gamme de fréquences porteuses allant de l'UV au proche infrarouge, le LiFi et le FSO peuvent tous deux être considérés comme des technologies d'accès direct ou en complément des porteuses RF, mais jouer également un rôle dans le réseau de transport des

infrastructures terrestres ou satellitaires. Sur ce dernier point, il apparaît que les communications par satellite deviennent un lien essentiel pour un monde entièrement connecté. Les technologies optiques sont désormais clairement identifiées pour répondre à l'augmentation du débit des communications satellite-à-satellite ou sol-à-satellite. Plus rapides, plus sûres, plus compactes et plus faciles à déployer que les radiofréquences, les solutions optiques ne nécessitent pas non plus de bande de fréquence allouée. Même si ces technologies sont basées sur des décennies de recherche pour les réseaux fibrés, les communications optiques par satellite nécessitent certaines ruptures technologiques.

➤ *Positionnement par rapport à l'état de l'art*

Comme indiqué dans le paragraphe précédent, les technologies de transmissions optiques en espace libre sont clairement envisagées pour répondre aux besoins d'augmentation de débits dans plusieurs segments des communications sans fil utilisant jusqu'à présent des techniques radiofréquences. L'utilisation de l'optique dans ces différents segments du réseau (wifi optique, communication entre centres de données, communication terrestre sans fil (bâtiment ou 6G), communication terre-satellite ou encore communication entre satellites) demande cependant de répondre à plusieurs défis. Nous pouvons citer, entre autres, l'impact des turbulences atmosphériques qui induisent des variations très importantes des pertes optiques au cours du temps dans les communications terre-satellite pouvant aller jusqu'à l'impossibilité de transmettre l'information. Plusieurs stratégies sont aujourd'hui envisagées pour adresser cette problématique dont, par exemple, le fait de proposer des solutions de transmission point/multipoint (utilisation de la diversité d'espace) avec une gestion intelligente de l'allocation des ressources impliquant la prévision d'évanouissements de liens. Une deuxième approche repose sur la compensation des perturbations atmosphériques tant à l'émission qu'à la réception en combinant, par exemple, des technologies optiques de multiplexage spatial associées à de la mise en cohérence des flux. Même si certains segments du réseau requièrent des contraintes coût/complexité importantes, l'utilisation des techniques de communications optiques cohérentes associées à des formats de modulations avancés et au traitement numérique de l'information sont aujourd'hui incontournables. Même si cette solution est fortement utilisée aujourd'hui dans le réseau fibré longue distance, il est nécessaire d'avoir une meilleure connaissance du canal de transmission en espace libre pour développer de telles stratégies de modulation et de codage propres à ce dernier.

Les sujets abordés pourront couvrir le contexte de l'optique sans fil pour les réseaux locaux ainsi que les communications inter-satellites et sol-satellites.

2.1.3 Axe 3 : 'Impacts sociaux des technologies 5G/6G, de leur conception à leur réception par le grand public'.

Les télécommunications constituent depuis longtemps des infrastructures qui, outre qu'elles sont essentielles à la prospérité de nos sociétés industrielles, revêtent également une dimension sociale et collective particulièrement riche et importante. Depuis le maillage du territoire par le service public postal jusqu'à la constitution d'opérateurs téléphoniques nationaux, en passant par le télégraphe de Chappe ou encore les "autoroutes de l'information", ces technologies font l'objet d'intenses investissements politiques, financiers, idéologiques, voire utopiques. Les télécommunications, selon les innombrables discours dont elles font l'objet, doivent ainsi tour à tour constituer le moteur de l'activité économique, le fer de lance de l'innovation industrielle, le vecteur de sociabilités toujours plus riches, ou encore un moyen d'émancipation vis-à-vis de structures trop verticales ou dépassées. Dans ce fourmillement de projets technopolitiques, les sciences sociales (sociologie, économie, histoire, anthropologie, géographie...) ont vocation à éclairer les processus collectifs par lesquels ces technologies sont conçues, déployées, utilisées voire contestées, et avec quels effets sur l'organisation de nos sociétés. C'est dans cet esprit que doivent s'inscrire les projets retenus.

Depuis ses premiers déploiements test à la fin des années 2010, la cinquième génération des standards pour la téléphonie mobile (5G) fait l'objet d'attentes et de controverses extrêmement publicisées. D'un côté, rien qu'en France, le gouvernement et les entreprises investissent actuellement des centaines de millions d'euros pour accélérer le développement de la 5G et de ses applications industrielles, avec pour objectif de porter le marché de la 5G à 15 milliards d'euros d'ici à 2025. De l'autre, à la différence des précédentes générations de réseaux mobiles, les bénéfices pour l'utilisateur ne sont pas immédiatement évidents à court terme : si les itérations antérieures promettaient de meilleurs débits, et donc l'accès à de nouveaux services (par exemple MMS et accès internet avec la 3G, internet haut débit mobile et streaming vidéo avec la 4G), les gains de performance de la 5G incluent également des temps de latence réduits et de plus grandes capacités de connexions simultanées, qui ouvrent avant tout à des applications dans le domaine de l'industrie, des transports, de l'agriculture ou encore de la santé. Cette nouvelle technologie suscite en outre des inquiétudes et des controverses comme cela a rarement été le cas pour une technologie mobile. Elle se retrouve ainsi *« au cœur d'une controverse sociotechnique, au sens d'un désaccord public qui prend place dans plusieurs arènes, en particulier médiatiques, et qui porte autour de ses qualités, de ses impacts et de sa régulation »*, comme l'a récemment souligné l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) dans un rapport très attendu.

Cet appel à projet invitera ainsi des équipes de recherche ancrées dans différentes disciplines des sciences sociales (histoire, sociologie, géographie, anthropologie) à joindre leurs forces pour décrire et analyser les enjeux contemporains du développement de la 5G, en se projetant sur le déploiement des réseaux du futur (B5G, 6G). La méthodologie d'analyse doit être longitudinale depuis leur conception jusqu'à leur réception dans le grand public, en passant par la formulation des anticipations de déploiement et de leurs effets politiques et économiques, et la mise en place concrète des infrastructures ; et en mobilisant des sources (acteurs scientifiques, administratifs, associations d'usagers, etc.) et des méthodes (analyses scientométriques des publications, ethnographies et entretiens, analyses de réseaux sociaux, , etc.) originales et complémentaires.

Les projets peuvent aborder une ou plusieurs des dimensions suivantes : les politiques publiques de la 5G, de planification de la 6G, et l'expertise sur laquelle celles-ci prennent appui ; le déploiement matériel des infrastructures de télécommunication ainsi que la contribution des projets et programmes de déploiement des réseaux du futur à la redéfinition des enjeux économiques et de souveraineté ; les critiques et controverses liées à ces nouvelles technologies.

a) Expertise, arènes de décision, politiques publiques

➤ *Questionnement scientifique :*

La première question est celle de la production d'un consensus scientifique et politique autour des conditions de déploiement de nouvelles infrastructures de télécommunications au 21e siècle. A rebours des discours promotionnels, la nécessité de ces infrastructures n'a rien d'une évidence : l'histoire des télécommunications montre ainsi comment celles-ci procèdent toujours d'un travail actif de mise en convergence d'opportunités technologiques et politiques, ainsi que d'intérêts complexes et préexistants. Une première tâche consiste donc à proposer une sociohistoire de cette nouvelle génération de technologies et du travail politique qui conduit aujourd'hui à ses premiers déploiements.

Une question centrale ici est celle de la gestion des risques par les acteurs politiques et industriels. Les innovations technologiques comme la 5G/6G sont en effet porteuses de promesses, et en même temps de nouveaux risques, liés notamment à l'exposition des populations à de nouvelles bandes de fréquence (3.5 GHz, bandes millimétriques et terahertz), mais aussi à une démultiplication des usages susceptible d'augmenter l'empreinte carbone du numérique, ou encore au déploiement dans l'espace public de nombreux objets connectés qui pourront par exemple être pilotés à distance ou automatisés. Comment les effets sanitaires des expositions à ces ondes et ces champs électromagnétiques sont-ils évalués ? Quelles seront les conséquences des réseaux du futur sur

l'environnement et notamment sur la consommation d'énergie ? Quelles implications des risques de panne, de dysfonctionnement voire de détournement malveillant de ces réseaux ? Dans quels contextes et dans quelles arènes ces expertises ont-elles lieu ? Sur la base de quels savoirs, de quelles métriques et de quelles données ? Quelle place les acteurs et les enjeux économiques occupent-ils dans ce processus ?

Ce premier axe de questionnement, dans la continuité de la sociologie de l'expertise et des études des sciences et des techniques, fait l'hypothèse que ces débats en apparence techniques, et la manière dont ils sont informés, examinés et tranchés, revêtent en réalité d'importantes dimensions sociopolitiques. Les seuils, les technologies, les savoirs mobilisés au sein de ces arènes relativement peu visibles du grand public soutiennent des représentations du monde social et technique qu'il convient de mettre au jour pour en comprendre les implications.

Face à l'empreinte environnementale de l'humanité, le numérique, et les réseaux en particulier, font partie du problème et de la solution. D'une part, ils produisent des rayonnements électromagnétiques, ils consomment de l'énergie (surtout les terminaux) et leur production requiert des ressources rares. D'autre part, ils permettent de réduire très significativement l'empreinte de nombreux autres secteurs d'activité. Une évaluation du bilan prenant en compte les aspects sociétaux, environnementaux, économiques et technologiques, représente un outil fondamental à la prise de décision. Vu la complexité de telles études dans un cadre général, des études focalisées par secteur d'activité ou par cas d'usage larges sont pertinentes.

➤ Exemples de sujets pouvant être couverts

Dans la continuité de ces questionnements, plusieurs types d'objets pourront notamment être abordés dans ce premier axe :

- Il peut tout d'abord s'agir d'étudier le travail politique et administratif autour de l'implémentation de la 5G et des télécommunications de dernière génération, en analysant la gouvernance, les institutions, les réseaux d'élus qui se constituent autour de ces technologies, et la manière dont ils structurent les politiques publiques sur ces objets.
- Une autre piste réside dans l'analyse des travaux experts sur le sujet, en enquêtant sur les arènes (ANSES, commissions parlementaires, etc.) dans lesquels sont discutés, hiérarchisés ou simplement ignorés les risques et avantages liés à ces technologies nouvelles, y compris bien en amont de la délibération publique. Les acteurs et formes de savoirs mobilisés dans ces espaces nous renseignent ainsi sur la manière dont les politiques publiques sont informées sur ce sujet d'une technicité élevée.
- Enfin, le projet retenu pourra également s'intéresser aux liens entre les mondes politiques, économiques, scientifiques et industriels sur le sujet, en étudiant les circulations d'acteurs et la production des savoirs à la croisée de ces sphères hétérogènes.

b) Infrastructures et maintenance, aménagement du territoire, souveraineté

➤ Questionnement scientifique :

La deuxième question est celle des défis matériels du déploiement des réseaux du futur et des infrastructures qui les soutiennent. Il s'agira ici d'explorer les problèmes liées à la fabrique concrète de la ville intelligente (5G/6G, *smarts grids*, *data centers*, câblage intelligent) qui pose toute une série de questions, allant de l'installation de ces réseaux en territoires urbains et ruraux (notamment des antennes relais), à la disponibilité des composants nécessaires au déploiement du réseau étendu (industrie 4.0, terminaux mobiles, véhicules connectés, etc.), en passant par l'entretien et la durabilité de ces nouvelles infrastructures.

Comment ces réseaux sont-ils déployés sur le terrain, selon quelles logiques et par quels types d'acteurs ? Comment sont-ils gérés et entretenus ? A rebours d'une image très réductrice qui la résumerait à une technologie invisible et difficile à saisir, la 5G sera ici abordée par l'intermédiaire des infrastructures et des artefacts matériels (antennes, composants, terminaux) nécessaires à son existence, mais aussi par l'intermédiaire des travailleurs souvent peu visibles qui participent à son déploiement, en participant notamment à la protection, l'entretien, la mise à jour de ces réseaux. On pourra notamment se demander ce que ce travail de maintenance dit de la fragilité de ces technologies.

On pourra également s'interroger sur les dimensions stratégiques qui sous-tendent l'investissement public et privé dans les technologies et infrastructures des réseaux du futur. Les bénéfices attendus pour l'ensemble de la société sont-ils comparables à d'autres types d'infrastructures de réseaux – téléphonie, électricité, chemins de fer, autoroutes, internet haut débit ? Dans quelle mesure et de quelle manière ces investissements visent-ils à assurer un avantage aux industriels nationaux ou européens et à les positionner sur un marché prometteur ? Quelles sont les préoccupations liées aux chaînes d'approvisionnement, à l'obtention de brevets, à l'établissement de standards techniques, à la protection des innovations ? Sur un plan plus explicitement politique, à quel point la maîtrise de ces technologies, amenées peut-être à jouer un rôle structurant pour beaucoup d'activités économiques et sociales, est-elle perçue comme un gage d'indépendance, voire comme contribuant à la « souveraineté numérique » sur le plan national ou européen ?

➤ Exemples de sujets pouvant être couverts

Plusieurs objets et approches peuvent là encore être envisagés pour saisir les enjeux sociaux, territoriaux, politiques et économiques liés au déploiement des infrastructures des réseaux du futur :

- On pourra tout d'abord s'intéresser aux enjeux économiques et industriels liés à l'implémentation des infrastructures de réseaux, à la concurrence entre opérateurs (mécanismes d'enchères, acquisition des licences), au niveau national, mais aussi international, avec les enjeux géopolitiques et diplomatiques (relations avec la Chine, les Etats-Unis, l'Union Européenne).
- Les infrastructures s'inscrivent également dans des enjeux territoriaux complexes qu'il faudra saisir, au moyen d'approches sociologiques, historiques et géographiques. Comment ces infrastructures et leur déploiement s'articulent-ils avec d'autres enjeux territoriaux propres aux espaces urbains et ruraux ? Les inerties sociotechniques liées aux réseaux précédents, les questions de maillage du territoire ou encore les risques et opportunités pour les bassins de population sont ici au cœur de la réflexion.

Enfin, il pourra être fructueux d'étudier la manière dont ces nouvelles infrastructures sont gérées, protégées et maintenues dans le temps. La gestion des réseaux, de leur sécurité vis-à-vis des intrusions extérieures (physiques aussi bien qu'informatiques), mais aussi de la compatibilité entre systèmes sociotechniques ou encore la maintenance des équipements constituent autant de pistes pour l'analyse.

c) Défiance, critiques, controverses

➤ Questionnement scientifique :

La troisième question est celle des controverses et mobilisations suscitées par le déploiement de la 5G. Depuis son annonce, la 5G est en effet au cœur de débats houleux, qui se manifestent par des controverses durables sur les réseaux sociaux, des mobilisations de riverains, voire des moratoires sur son déploiement dans certains territoires. Pourquoi la 5G déchaîne-t-elle autant les passions, quand le déploiement des standards de génération antérieures (3G, 4G) s'était déroulé dans une indifférence presque complète de la part du grand public ? On peut déceler derrière ces

controverses d'importants débats de société et prises de position, qui ne sauraient se résumer aux anathèmes, fréquents sur le sujet, consistant à assimiler toute critique de ces technologies à une idéologie "conspirationniste", fondée sur des "fake news" ou un moralisme anti-technologique généralisé.

Qui sont les critiques de la 5G ? Comment ces acteurs s'y prennent-ils pour faire entendre leurs inquiétudes, et comment leurs opposants leur répondent-ils ? Sur quels dispositifs argumentatifs, types de savoirs, et formes de preuves s'appuient-ils ? S'il semble que les critiques formulées portent essentiellement sur les risques liés aux effets sanitaires des ondes électromagnétiques et sur les conséquences environnementales de la 5G, on en sait finalement très peu sur les acteurs qui les portent ou sur les formes que prennent leurs critiques. L'appel encourage donc à analyser les critiques et controverses entourant la 5G, en tenant compte de la grande variété d'acteurs impliqués et de discours produits, en considérant qu'ils se situent sur un continuum critique envers l'évidence de la 5G.

➤ *Exemples de sujets pouvant être couverts*

Là encore, une grande diversité d'objets et de méthodes pourront être mobilisés pour analyser la défiance à l'égard de la 5G et ses formes :

- On pourra d'abord s'intéresser à la manière dont les groupes d'acteurs critiques et leurs discours se construisent, à leurs modes de sociabilité et aux liens qui les unissent, à travers des enquêtes à la fois en ligne et hors ligne. Les espaces publics numériques en particulier (groupes Facebook, comptes Twitter, forums, réseaux de blogs, etc.) semblent constituer une piste empirique prometteuse pour l'analyse de ces critiques.
- Inversement, il serait intéressant d'étudier les opérations conduites par les protagonistes du déploiement de la 5G (industriels, pouvoirs publics, scientifiques), pour répondre à ces critiques, sur un mode plus ou moins conflictuel ou pédagogique.
- Enfin, l'appel invitera à ne pas isoler ou essentialiser les critiques de la 5G, mais à les étudier dans un continuum : continuum des arguments employés et des groupes sociaux mobilisés ; continuum des objets critiqués, également : la dénonciation de la 5G cohabite-t-elle, dans quels espaces et à quelles conditions, avec celle d'autres technologies, objets ou politiques publiques (mesures anti-Covid19, pesticides, etc.)?

2.2. Principales caractéristiques des projets

Les projets seront nécessairement collaboratifs (minimum de cinq équipes d'au moins trois établissements). La complémentarité des équipes devra être explicitée ainsi que leur masse critique en termes de permanents et leur positionnement national. Ils ont pour vocation de contribuer à la structuration de la communauté scientifique nationale.

Les projets, à dominante '5G et réseaux du futur' très forte, pourront se situer à l'interface avec d'autres PEPR, en particulier Cloud, Electronique, CyberSécurité, Quantique.

Le potentiel et la différenciation (gain significatif) des projets par rapport aux technologies plus matures ou industrielles (facteur de mérite) devront être explicités.

Le caractère innovant des travaux proposés devra être mis en avant pour permettre de dégager une propriété intellectuelle indépendante.

On demandera au projet d'estimer l'empreinte environnementale de la technologie et éventuellement de la minimiser ou de la positionner par rapport à des options concurrentes.

La demande d'aide pourra être comprise entre 800 k€ et 3 M€ et comprendre un minimum de cinq équipes d'au moins trois établissements. Les projets déposés doivent se différencier par rapport à ceux déposés dans le cadre de l'appel à projets générique de l'ANR. Ils doivent être complémentaires de ces projets et de ceux déposés dans la cadre d'un financement par la BPI ou dans le cadre européen.

L'appel à projets se déroulera en une seule étape d'évaluation par un comité international. Les projets de recherche seront rédigés en anglais.

Ces projets devront durer au maximum 56 mois pour assurer un travail complet (TRL4) et offrir la possibilité de former des jeunes chercheurs (thèse 3 ans) et ingénieurs.

2.3. Partenaires

Cet appel à projets est destiné à soutenir des consortiums d'équipes de recherche. Les projets attendus devront être portés par un organisme de recherche ou un établissement de recherche et d'enseignement supérieur public français.

Les bénéficiaires des aides sont les organismes de recherche et les établissements d'enseignement supérieur et de recherche.

Le volume d'aide maximal est de 7,5 M€ pour le présent appel. Le montant de l'aide pré-affectée à chaque axe est indicative, elle pourra être adaptée en fonction de la qualité des projets déposés sur chaque axe. Une part de l'aide pourra par ailleurs être reportée sur les thématiques du second appel à projets si la qualité d'une part des projets déposés s'avère insuffisante.

3. Examen des projets proposés

3.1. Procédure de sélection

Les projets recevables (cf. § 3.2) seront évalués par un comité d'évaluation indépendant à dimension internationale. Ce comité pourra recourir, le cas échéant, à des expertises externes et pourra procéder à une audition des porteurs des projets.

À l'issue de ses travaux, le comité d'évaluation remettra aux directeurs du PEPR 5G & Réseaux du Futur un rapport comprenant :

- 1) les notes attribuées aux projets évalués selon les critères indiqués au § 3.3,
- 2) la liste des projets que le comité recommande pour financement en raison de leur qualité, évaluée sur la base des critères indiqués au § 3.3,
- 3) la liste des projets que le comité propose de ne pas financer en raison d'une qualité qu'il juge insuffisante sur au moins l'un des critères indiqués au § 3.3.

Chaque projet évalué fera l'objet d'un argumentaire justifiant de sa position sur l'une des deux listes. Le comité pourra formuler un avis sur le montant des financements demandés.

Les directeurs du PEPR proposent au Secrétariat Général Pour l'Investissement la désignation des projets qui pourraient être financés et le montant qui pourrait leur être définitivement attribué. La Première ministre, après avis du SGPI, arrête la décision concernant les bénéficiaires et les montants accordés. Chaque projet fait l'objet d'un contrat entre l'ANR et l'établissement coordinateur du projet, détaillant les obligations réciproques des parties.

Les membres du comité d'évaluation ainsi que les experts externes sollicités s'engagent à respecter les règles de déontologie et d'intégrité scientifique établies par l'ANR. La charte de déontologie de l'ANR est disponible sur son site internet. L'ANR s'assure du strict respect des règles de confidentialité, de l'absence de liens d'intérêt entre les membres du comité ou experts externes et les porteurs et partenaires des projets, ainsi que de l'absence de conflits d'intérêts pour les membres du comité et experts externes. En cas de manquement dûment constaté, l'ANR se réserve le droit de prendre toute mesure qu'elle juge nécessaire pour y remédier. La composition du comité d'évaluation sera affichée sur le site de publication de l'appel à projets à l'issue de la procédure de sélection.

3.2. Critères de recevabilité

IMPORTANT

Les dossiers ne satisfaisant pas aux critères de recevabilité ne seront pas transmis au comité d'évaluation et ne pourront en aucun cas faire l'objet d'un financement.

- 1) Le dossier de dépôt doit être déposé complet sur le site de dépôt de l'ANR avant la date et l'heure de clôture de l'appel à projets. De plus, le document administratif et financier signé par chaque établissement partenaire et scanné doit être déposé sur le site de dépôt de l'ANR à la date et l'heure indiquées en page 3.
- 2) Le document scientifique du projet doit impérativement suivre le modèle disponible sur le site internet de l'appel à projets et être déposé au format PDF non protégé.
- 3) Le projet aura une durée inférieure ou égale à 56 mois.
- 4) Le montant de l'aide demandée devra être d'un montant minimum de 800 k€ et d'un montant maximum de 3 M€.
- 5) Un même responsable du projet ne pourra être porteur que d'un seul projet du PEPR 5G et Réseaux du Futur.
- 6) L'établissement coordinateur doit être un organisme de recherche ou un établissement français d'enseignement supérieur et de recherche.
- 7) Le consortium devra être constitué d'au moins cinq équipes d'au moins trois établissements différents du type organisme de recherche ou établissement de recherche et d'enseignement supérieur français public.
- 8) Sont exclus également les projets qui causeraient un préjudice important du point de vue de l'environnement (application du principe DNSH – Do No Significant Harm ou « absence de préjudice important ») au sens de l'article 17 du règlement européen sur la taxonomie.

3.3. Critères d'évaluation

Les experts externes et les membres du comité d'évaluation sont appelés à examiner les propositions de projet selon les critères d'évaluation ci-dessous regroupés en trois grandes catégories.

1) Excellence et ambition scientifique :

- Clarté des objectifs et des hypothèses de recherche ;
- Caractère novateur, ambition, originalité, rupture méthodologique ou conceptuelle du projet par rapport à l'état de l'art ;
- Pertinence de la méthodologie.

2) Qualité du consortium, moyens mobilisés et gouvernance :

- Compétence, expertise et implication du responsable du projet : capacité à coordonner des consortia pluridisciplinaires et ambitieux, parcours académique, reconnaissance internationale,
- Qualité et complémentarité du consortium scientifique au regard des objectifs du projet ;
- Adéquation entre les moyens humains et financiers mobilisés (y compris ceux demandés dans le cadre du projet) par rapport aux objectifs visés ;
- Pertinence du calendrier (notamment dans le cadre de projets longs), gestion des risques scientifiques et solutions alternatives, crédibilité des jalons proposés ;
- Pertinence et efficacité de la gouvernance du projet (pilotage, organisation, animation, mise en place de comités consultatifs, etc.).

3) Impact et retombées du projet :

- Capacité du projet à répondre aux enjeux de recherche de l'axe scientifique choisi ;
- Impacts économiques et sociétaux, contribution au développement de solutions en réponse aux enjeux des domaines prioritaires de la Stratégie Nationale; impacts environnementaux de la technologie proposée ;
- Stratégie de diffusion (*in itinere* et *ex post*) et de valorisation des résultats, adhésion aux principes FAIR, Open Science et promotion de la culture scientifique.

4. Dispositions générales pour le financement

4.1. Financement

Les appels financés au titre du PEPR présentent un caractère exceptionnel et se distinguent du financement récurrent des établissements universitaires ou de recherche.

Les financements alloués représentent des moyens supplémentaires destinés à des actions nouvelles. Ils pourront permettre le lancement de projets de recherche innovants, et financer, par exemple, l'achat d'équipements ainsi que des dépenses de personnel affecté spécifiquement à ces projets et de fonctionnement associé.

Les dépenses éligibles sont précisées dans le règlement financier relatif aux modalités d'attribution des aides de l'action PEPR.

Le soutien financier sera apporté sous la forme d'une dotation, dont le décaissement est effectué par l'ANR pour l'établissement coordinateur du projet, selon l'échéancier prévu dans le contrat sur la durée du projet.

Cet appel à projets sera présenté à la Commission européenne pour faire partie du plan de relance national dans le cadre de la facilité de relance et résilience (FRR).

4.2. Accords de consortium

Un accord de consortium, qui peut être constitué d'un ensemble d'accords entre l'établissement coordinateur et chacun des établissements partenaires individuellement, précisant les droits et obligations de chaque Établissement partenaire, au regard de la réalisation du projet, devra être fourni par l'Établissement coordinateur dans un délai maximum de 12 mois à compter de la date de signature du contrat attributif d'aide. En cas d'accords multiples, l'Établissement coordinateur se porte garant dans ce cas de la cohérence (absence de clauses contradictoires) de cet ensemble d'accords.

L'ensemble des Établissements partenaires qui affectent des moyens au Projet sont signataires de cet/ces accords même s'ils ne bénéficient pas d'une quote-part de l'aide.

Cet accord précise notamment selon la typologie des projets financés :

- les modalités de valorisation des résultats obtenus au terme des recherches, et de partage de leur propriété intellectuelle ;
- la répartition des tâches, des moyens humains et financiers et des livrables;
- le régime de publication / diffusion des résultats;
- la gouvernance, en précisant notamment le nom du responsable du projet pour l'établissement coordinateur ;
- la valorisation des outils et/ou produits pédagogiques numériques réalisés.

L'Établissement coordinateur envoie directement une copie de cet accord, ainsi que celles de ses éventuels avenants, à l'ANR.

Cet accord permettra d'évaluer l'absence d'une aide indirecte octroyée aux Entreprises par

l'intermédiaire des établissements d'enseignement supérieur et/ou de recherche.

L'absence de ce document pourra conduire à la cessation du financement du projet et à l'application des dispositions prévues à l'article 6.6 du Règlement Financier (suspension et reversement de l'aide).

L'élaboration d'un accord de consortium n'est pas nécessaire s'il existe déjà un contrat-cadre contenant les dispositions ci-dessus liant les Établissements partenaires. Une copie de ce contrat-cadre ou une attestation devra être transmise avant la signature du contrat attributif d'aide. À l'expiration dudit contrat, si celui-ci n'est pas reconduit, l'accord de consortium sera alors requis.

4.3. Science ouverte

Dans le cadre de la contribution de l'ANR à la promotion et à la mise en œuvre de la science ouverte, et en lien avec le Plan national pour la science ouverte au niveau français (PNSO) et le Plan S au niveau international, les bénéficiaires de la subvention France 2030 s'engagent à garantir le libre accès immédiat aux publications scientifiques évaluées par les pairs et à adopter, pour les données de recherche, une démarche dite FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable) conforme au principe « aussi ouvert que possible, aussi fermé que nécessaire ». Ainsi, toutes les publications scientifiques issues de projets financés dans le cadre des PEPR, seront rendues disponibles en libre accès sous la licence Creative Commons CC-BY ou équivalente, en utilisant l'une des trois voies suivantes :

- publication dans une revue nativement en libre accès;
- publication dans une revue par abonnement faisant partie d'un accord dit transformant ou journal transformatif¹;
- publication dans une revue à abonnement. La version éditeur ou le manuscrit accepté pour publication sera déposé dans l'archive ouverte HAL par les auteur.e.s sous une licence CC- BY en mettant en œuvre la Stratégie de non-cession des droits (SNCD), selon les modalités indiquées dans les conditions particulières de la décision ou contrat de financement.

De plus, l'Établissement coordinateur s'engage à ce que le texte intégral de ces publications scientifiques (version acceptée pour publication ou version éditeur) soit déposé dans l'archive ouverte nationale HAL, au plus tard au moment de la publication, et à mentionner la référence ANR du projet de recherche dont elles sont issues.

L'ANR encourage à déposer les pré-prints dans des plateformes ouvertes ou archives ouvertes et à privilégier des identifiants pérennes ou uniques (DOI ou HAL Id, par exemple). Par ailleurs, l'ANR recommande de privilégier la publication dans des revues ou ouvrages nativement en accès ouvert².

Enfin, l'Établissement coordinateur s'engage à fournir dans les 6 mois qui suivent le démarrage du projet, une première version du Plan de Gestion des Données (PGD) selon les modalités indiquées dans le contrat attributif d'aide.

4.4. Aide d'État

Les aides versées dans le cadre du présent appel à projets sont soumises à l'encadrement européen, c'est-à-dire à l'encadrement des Aides d'État à la recherche, au développement et à l'innovation n°2022/C 414/01 du 28 octobre 2022 ou toute communication ultérieure venant s'y substituer. Il s'agit du dispositif d'aide allouée sur la base régime cadre exempté de notification n° SA.58995 d'aides à la recherche, au développement et à l'innovation pris sur la base du règlement général d'exemption par catégorie n° 2014/651 adopté par la Commission européenne le 17 juin 2014 et publié au JOUE le 26 juin 2014, tel que modifié par le Règlement (UE) 2023/1315 du 23 juin 2023 publié au JOUE du 30 juin 2023.

4.5. Suivi des projets par l'ANR

Dans le cadre du suivi des projets financés par France 2030, des informations sont collectées annuellement pour 1) des indicateurs communs à tous les projets France 2030 opérés par l'ANR (voir Annexe 1.1) et 2) un indicateur commun à tous les projets des PEPR (voir Annexe 1.2). Des indicateurs spécifiques pourront également être conjointement définis à l'échelle des projets.

5. Modalités de dépôt

5.1. Contenu du dossier de dépôt

Le dossier de dépôt devra comporter l'ensemble des éléments nécessaires à l'évaluation scientifique et technique du projet. Il devra être déposé avant la clôture de l'appel à projets, dont la date et l'heure sont indiquées page 3.

Important

Aucun élément complémentaire ne pourra être accepté après la clôture de l'appel à projets dont la date et l'heure sont indiquées page 3.

Les documents devront être déposés sur le site de dépôt dont l'adresse est mentionnée page 3. Afin d'accéder à ce service, il est indispensable d'obtenir au préalable l'ouverture d'un compte (identifiant et mot de passe). Pour obtenir ces éléments, il est recommandé de s'inscrire le plus tôt possible.

Le dossier de dépôt complet est constitué de deux documents intégralement renseignés :

- 1) le « document scientifique », d'une longueur maximum de 20 pages, rédigé en anglais, comprenant une description du projet envisagé, selon le format fourni, avec en annexe la liste des publications scientifiques des trois dernières années des chercheurs/équipes proposant le projet ;
- 2) le « document administratif et financier », qui comprend la description administrative et budgétaire du projet et intègre les lettres d'engagement ;

Les éléments du dossier de dépôt (document administratif et financier au format Excel / modèles de document scientifique au format Word) seront accessibles à partir de la page web de publication du présent appel à projets (voir adresse page 3).

5.2. Procédure de dépôt

Les documents du dossier de dépôt devront être transmis par le responsable du projet :

SOUS FORME ÉLECTRONIQUE impérativement :

- avant la date de clôture indiquée page 3 du présent appel à projets,
- sur le site web de dépôt selon les recommandations en 5.3.

L'inscription préalable sur le site de dépôt est nécessaire pour pouvoir déposer un projet.

Seule la version électronique des documents de dépôt présente sur le site de dépôt à la clôture de l'appel à projets est prise en compte pour l'évaluation.

UN ACCUSÉ DE RÉCEPTION, sous forme électronique, sera envoyé au responsable du projet lors du dépôt des documents.

NB : La signature des lettres d'engagement, intégrées dans le document administratif et financier permet de certifier que les partenaires du projet sont d'accord pour déposer le projet conformément aux conditions décrites dans le document administratif et financier ainsi que dans le document scientifique et ses éventuelles annexes.

5.3. Conseils pour le dépôt

Il est fortement conseillé :

- d'ouvrir un compte sur le site de dépôt au plus tôt ;
- de ne pas attendre la date limite d'envoi des projets pour la saisie des données en ligne et le téléchargement des fichiers (attention : le respect de l'heure limite de dépôt est impératif) ;
- de vérifier que les documents déposés dans les espaces dédiés des rubriques « documents de dépôt » et « documents signés » sont complets et correspondent aux éléments attendus. Le dépôt du dossier des documents signés ne pourra être validé par le responsable du projet

que si l'ensemble des documents a été téléchargé ;

- de consulter régulièrement le site internet dédié au programme, à l'adresse indiquée page 3, qui comporte des informations actualisées concernant son déroulement ;
- de contacter, si besoin, les correspondants par courrier électronique, à l'adresse mentionnée page 3 du présent document.

6. Annexes

Annexe 1 : Indicateurs

Annexe 1.1 : INDICATEURS COMMUNS DES PROJETS FRANCE 2030

PUBLICATIONS

Publications mentionnant le soutien financier du plan France 2030

BREVETS

Demandes de brevets déposées

JEUX DE DONNEES

Jeux de données déposés avec API (pour Application Programming Interface)

LOGICIELS

Logiciels déposés

PRODUCTION TECHNOLOGIQUE

Nom de la technologie clé (à sélectionner dans un menu déroulant)	TRL* de départ	TRL* d'arrivée visé	TRL* atteint l'année de collecte	Définir précisément la technologie plus

* TRL : Technology Readiness Level

START-UP

Start-up créées

FINANCEMENTS EXTERNES

Etablissement (coordinateur ou partenaire) ayant perçu le financement externe	Type de financeur	Nom du financeur	Type de financement (monétaire ; non monétaire ; nature)	de non en	Montant perçu pendant l'année

PROJETS SOUMIS / RETENUS AU CONSEIL EUROPEEN DE LA RECHERCHE (EUROPEAN RESEARCH COUNCIL – ERC)

Liste des projets soumis au Conseil européen de la recherche (ERC)
--

Liste des projets ERC obtenus

RESSOURCES HUMAINES

	Personnes physiques mobilisées dans l'année	Dont femmes	ETPT tous genres confondus
Enseignant-chercheur et chercheur (professeur, maître de conférences, directeur de recherche, chargé de recherche)			
Ingénieur de recherche, ingénieur d'études, assistant ingénieur, technicien de recherche et de formation, adjoint technique de recherche et de formation			

FORMATION

	Nombre d'inscrits dans l'année universitaire	Dont Femmes	ETPT tous genres confondus
Inscrits en première année pour une formation Bac+2			
Inscrits en deuxième année pour une formation Bac+2			
Inscrits en première année pour une Licence ou Bac+3			
Inscrits en deuxième année pour une Licence ou Bac+3			
Inscrits en troisième année pour une Licence ou Bac+3			
Inscrits en première année pour un Master			
Inscrits en deuxième année pour un Master			

DOCTORATS

Nombre de doctorats initiés financés au moins pour moitié sur les fonds du projet
Dont nombre de doctorats CIFRE

POST-DOCTORATS

Nombre de post-doctorats initiés financés au moins pour moitié sur les fonds du projet
--

Annexe 1.2 : INDICATEUR COMMUN AUX PEPR

Nombre de projets transférés vers des programmes de Maturation / Prématuration
--

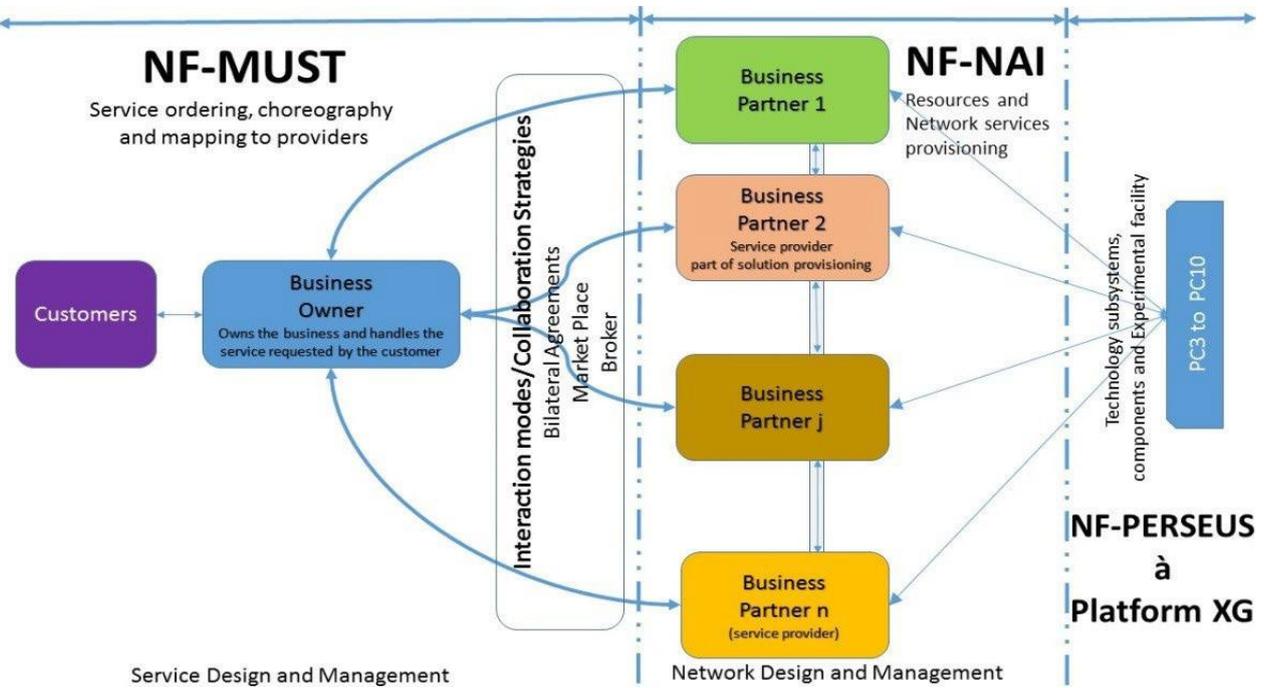
Annexe 2 : Résumés des projets ciblés du PEPR

Cette annexe fournit une synthèse des projets ciblés du PEPR Réseaux du Futur ayant démarré à la mi 2023. Il s'agit des 10 projets suivants :

- NF MUST : End-to-end multi-domain services management architecture of the networks of the future
- NF NAI : Architectures de réseaux & d'infrastructures et convergence réseaux-cloud-sensing
- NF PERSEUS : Réseaux cell free MASSIVE MIMO à faible consommation énergétique pour les fréquences sub 7GHz
- NF YACARI : Réseaux du futur au-delà la 5G – Circuits, Antennes et RIS mmWave
- NF SYSTERA : Dispositifs et systèmes pour les liens haut-débits en gamme sub THz
- NF FITNESS : Développement de solutions techniques innovantes pour l'IoT allant jusqu'aux services enrichis
- NF JEN : Réseaux mobiles ajustés aux besoins des utilisateurs
- NF HISEC : Cybersécurité pour les réseaux du futur
- NF FOUND : Fondement des futurs réseaux de communication
- NF FPNG : Réseau français de plateformes de tests pour les nouvelles générations de communications mobiles

End-to-end multi-domain services management architecture of the networks of the future

Automatisation de l'approvisionnement de services multi-domaines et multi-acteurs pour multisectoriel avec sélection dynamique des domaines sur considérations techniques (en termes de disponibilités de ressources, de sécurité, de demande de performances ou/et de frugalité) ou de priorité d'affaires.



Objectifs

Fourniture et gestion de services multi-secteurs/ domaines/acteurs reposant sur une infrastructure hautement hétérogène, pouvant évoluer dynamiquement, aux caractéristiques conforme à celle des réseaux du futur.

Conception et implémentation de services distribués et sécurisés. Orchestration de bout en bout de fonctions de coordination, coopération et interactions afin de satisfaire une variété de requêtes entre de multiples acteurs de différents secteurs d'activité, puis suivi et reporting des capacités de ressources fournies par les réseaux.

MUST devra assurer la transposition des besoins et demandes souvent complexes de requêtes de services aux capacités des réseaux du futur sous-jacents et couvrir l'ensemble des étapes de leur cycle de vie.

Le projet devra offrir par ailleurs une riche interface avec le projet NAI, et prendra particulièrement en compte les résultats au niveau sécurité du projet HiSec.

Domaines d'applications

- Tous secteurs et toutes filières
- tels que transport/logistique, énergie, industrie 4.0, santé ou agriculture numérique,
- satisfaisant des besoins en sécurité et sûreté,
- utilisant des données variées (multi-média, hologrammes, metavers, ...)

Consortium

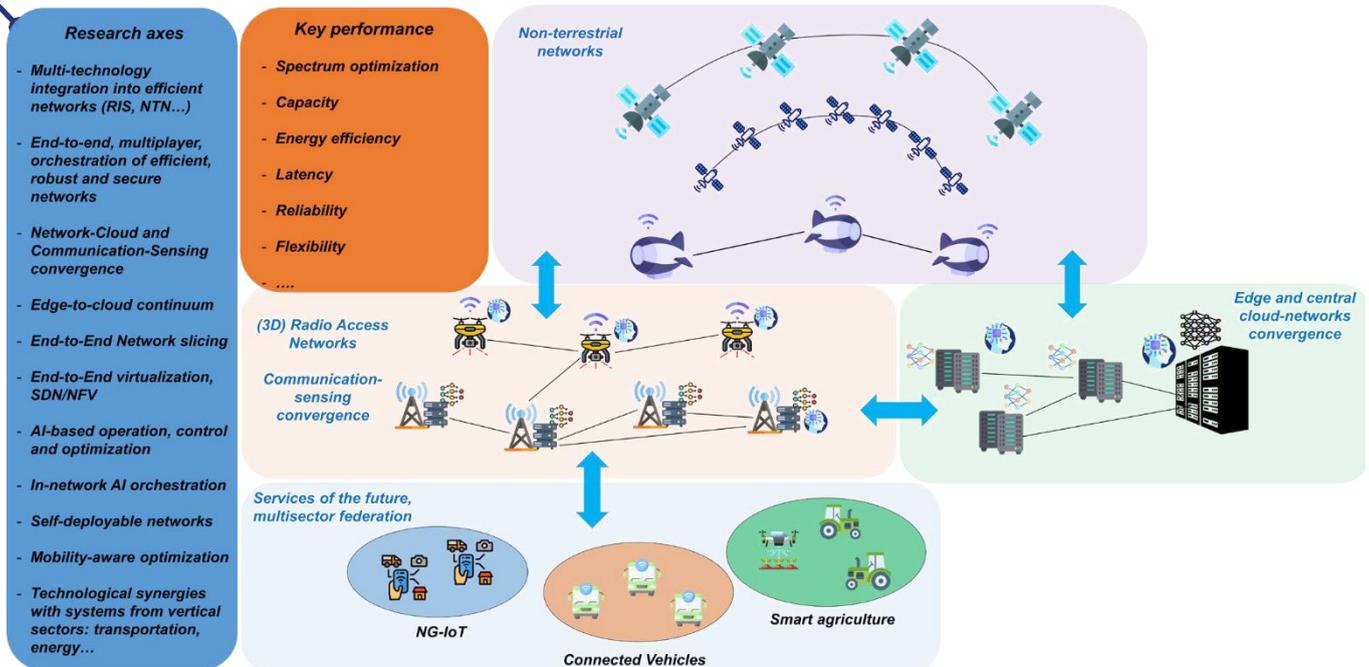
- IMT-Télécom Sud Paris, IMT-Télécom Paris, Eurecom
- CEA-LIST
- CNRS et établissements liés : iCUBE, LABRI, LAAS, LIRIS
- INRIA et établissements liés : COATI, DIANA, ERMINE

Responsables scientifiques

- Djamal Zeglache, IMT
- Sonia Ben Mokhtar, CNRS
- Walid Dabbous, INRIA
- Sara Tucci, CEA

Architectures de réseaux & d'infrastructures et convergence réseaux-cloud-sensing

Capacité de concevoir, de développer, de planifier et d'opérer, de manière efficace, sécurisée et sobre en consommation de ressources, des réseaux et des systèmes convergents réseaux-cloud-sensing, capables de supporter la grande variété d'applications existantes - en lien avec les divers secteurs d'activité - aux besoins hétérogènes de ressources et de performances, et flexibles et agiles pour s'adapter dynamiquement à des besoins futurs.



Objectifs

Au-delà des objectifs traditionnels (débit, vitesse d'exécution, latence, densité de connexion d'objets,...), le projet NAI doit permettre l'intégration efficace d'une multitude de nouvelles technologies, telles que celles de couche physique (Surfaces intelligentes reconfigurables) ou du passage en 3D (NTN – Réseaux non terrestres) et de principes architecturaux (tels que le slicing et l'orchestration dynamique de bout en bout). Il doit faciliter l'émergence de nouvelles applications et services, grâce à une transparence en termes de performances, de robustesse et de sécurité vis-à-vis des usages. Le projet devra également proposer et réaliser des interfaces avec les systèmes convergents réseaux-cloud-sensing pour offrir un haut degré de transparence aux développeurs d'applications allant de l'edge au cloud, du mini-objet connecté aux grands data centres en passant par le Multi-access edge computing (MEC).

Domaines d'applications

Les architectures, méthodes, fonctions, mécanismes, algorithmes et outils, conçus et développés dans NAI seront utilisés dans tous les domaines d'application et seront plus particulièrement adaptés aux applications multi-secteurs, multi-domaines : industrie 4.0, transport, énergie, agriculture, santé, utilisant des modules de réalité virtuelle et mixte (holographiques), des robots contrôlés en temps réel à distance, des doubles digitaux, etc.

Consortium

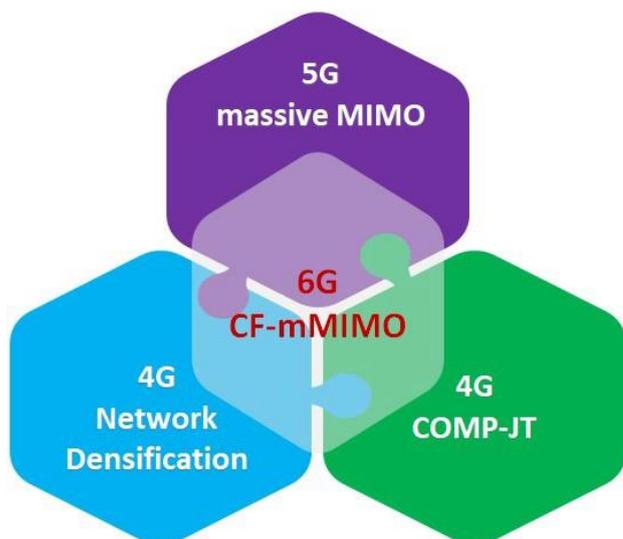
- IMT-Télécom Sud Paris, IMT-Télécom Paris, IMT-Atlantique, Eurecom, LTCI
- CEA-Leti, CEA-LIST
- CNRS et établissements liés : IRIT, L2S, LAAS
- INRIA et établissements liés : AGORA, DIANA, LORIA, RESIST, TRIBE

Responsables scientifiques

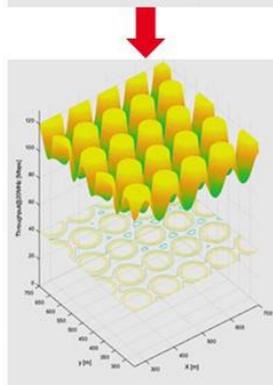
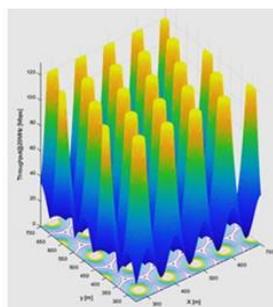
- Gérard Memmi, IMT
- Khalil Drira, CNRS
- Mattia Merluzzi, CEA
- Walid Dabbous, INRIA

Réseaux "cell-free massive MIMO" à faible consommation énergétique pour les fréquences sub-7GHz

Développer un réseau "cell-free massive MIMO", occupant la bande de fréquence inférieure à 7 GHz, capable d'atteindre à la fois une très forte efficacité spectrale et énergétique.



More Uniform Good Service Quality !



Domaines d'applications

- Industrie
- Transport
- Education
- Sport
- Défense

Consortium

- CEA-Leti
- CNRS et établissements liés : ETIS, IETR, IMEP-LAHC, IRIT, L2S, LAAS, XLIM
- IMT-Atlantique, IMT-Telecom Paris, Eurecom
- INRIA et établissements liés : Maracas, Tribe, Eva
- CNAM : CEDRIC

Objectifs

PERSEUS s'intéresse aux technologies, traitements et optimisations des réseaux "cell-free massive MIMO" (CF-mMIMO) pour la bande de fréquence inférieure à 7 GHz. La technologie CF-mMIMO, associée à des techniques de surfaces intelligentes (RIS : reconfigurable intelligent surface) et des outils de l'intelligence artificielle (IA) est une solution très prometteuse pour les réseaux "beyond-5G".

PERSEUS vise à accroître la maturité de ces technologies afin de réaliser un accès massif efficace en termes de puissance et de spectre. Le projet couvre plusieurs aspects en vue de concevoir un réseau "cell-free massive MIMO": (i) conception, fabrication et test de circuits RF, RIS et antennes, (ii) proposition des couches PHY et MAC robustes basées sur des mesures de propagation du signal et l'incorporation de modèles d'imperfections matérielles et (iii) développement de preuves de concepts pour évaluer pratiquement les performances des algorithmes sélectionnés et du matériel fabriqué dans le cadre du projet.

Pilotes scientifiques

- Rafik Zayani, CEA-Leti
- Catherine Douillard, IMT
- Yves Louët, CNRS

Réseau du futur - Au-delà de la 5G : Circuits, antennes et RIS mmWave

L'une des principales évolutions de la 5G est l'introduction de nouvelles bandes de fréquences correspondant à des ondes millimétriques (mmWave) (20 à 52,6 GHz), ce qui doit offrir un grand potentiel en termes de bandes passantes disponibles à condition de relever les défis techniques fondamentaux qu'imposent les transmissions de signaux mmWave. Ces défis sont de trouver des solutions pour compenser l'atténuation sévère de la puissance de l'onde électromagnétique, de diminuer la sensibilité aux blocages ou réduire drastiquement la consommation d'énergie des émetteurs-récepteurs radiofréquence.



Domaines d'applications

- Réseaux mobile mmWave 5G/6G
 - Mobile Broadband
 - Véhicules vers Véhicules/Infrastructure V2X
 - Réseaux privés industriels
- Communication spatiale
 - Mobile Broadband
 - Véhicule vers Infrastructure
- Défense

Consortium

- CEA-Leti
- CNRS et établissements liés : IEMN, IETR, IMS, ETIS, TIMA, XLIM
- IMT Atlantique, IMT-Télécom Paris, Eurecom
- INRIA et établissements liés : CITI

Pilotes scientifiques

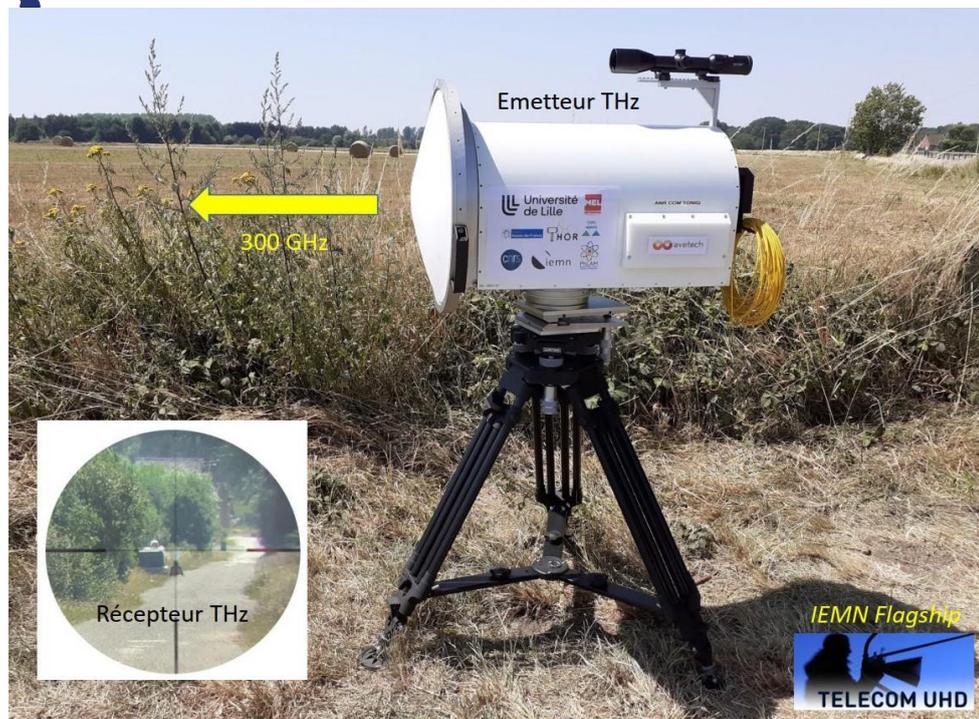
- Jean-Baptiste Doré, CEA
- Denis Barataud, CNRS
- Christian Person, IMT

Objectifs

L'objectif du projet est de proposer des solutions innovantes à tous les niveaux, des systèmes d'antennes au traitement du signal en intégrant des circuits sur des technologies avancées mmWave (20 à 90 GHz) afin de les faire mûrir et de les rendre compatibles avec les exigences techniques et sociétales de demain. Une attention particulière sera accordée à la conception de systèmes optimisés sur le plan énergétique en réduisant les consommations électriques au niveau des circuits, en améliorant l'efficacité de rayonnement et de pointage des antennes et en proposant des algorithmes de traitement du signal efficient. Des indicateurs chiffrés ont été proposés pour suivre et quantifier l'impact du projet. On peut citer (i) Au moins 50 publications de rang A pendant la durée du projet, (ii) le recrutement de 14 étudiants en thèse, (iii) le dépôt d'au moins 10 brevets, (iv) 10 démonstrateurs dont 2 qui seront pré-maturés dans le contexte du PEPR.

Dispositifs et systèmes pour les liens haut-débits en gamme sub-TERAhertz

Valider des premiers systèmes de communication pour les cœurs de réseaux du futur dans les bandes de fréquences au-delà 90 GHz, nécessitant l'association de technologies, la connaissance des canaux, la maîtrise des faisceaux, ...



Domaines d'applications

- Télécoms : sur Terre (Cible principale), Liens inter-satellite (autre emploi de la technologie)
- Etude de l'atmosphère comme canal de propagation
- Cœur de réseaux : technologies de base pour l'infrastructure des futurs systèmes de transmission sans fils

Consortium

- CNRS et établissements liés : ETIS, IEMN, IMS, IETR, IMEP-LAHC, L2S, TIMA, XLIM
- CEA-LETI
- IMT-Atlantique, IMT-Nord Europe, IMT-Télécom Paris

Pilotes scientifiques

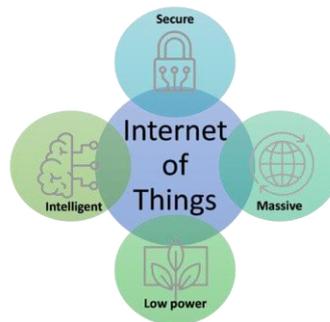
- Guillaume Ducournau, CNRS
- Jean-Christophe Cousin, IMT
- Alexandre Siligaris, CEA

Objectifs

Le projet SYSTEMERA vise à contribuer au développement des futurs systèmes de communication ultra-haute fréquence, au-delà de 90 GHz. Ces nouvelles bandes de fréquences (principalement la bande D autour de 140-170 GHz et la bande H autour de 300 GHz) sont ciblées afin de préparer les futures générations de réseaux sans fil (au-delà de la 5G) dans une perspective de 10 ans. Le projet vise à fédérer autour d'un objectif commun un grand nombre d'acteurs de la communauté française. En premier lieu, les communautés de dispositifs haute fréquence, les antennes, qui sont les briques de base (actives ou passives, statiques ou dynamiques) de ces futurs systèmes, qui se trouvent dans le périmètre de ce PEPR, dédié aux futurs réseaux. Le projet s'articule autour de 4 axes de travail : 1/ les technologies clés génériques : circuits, antennes, formes d'onde, 2/ Caractérisation, méthodes & Métrologie, 3/ Intégration/prototypage et leur association pour la réalisation de démonstrateurs (4).

Développement de solutions techniques innovantes pour l'Internet des Objets allant jusqu'aux services enrichis pour les déploiements denses, l'industrie 4.0, la connectivité en mobilité.

Améliorer les performances des éléments constitutifs des applications IoT, étudier les besoins spécifiques des applications Missions Critiques de l'industrie et de la mobilité, pour plus de robustesse, et développer le partage de ressources et l'interopérabilité dans les réseaux IoT.



Objectifs

Le projet FITNESS vise la fourniture de blocs élémentaires et les conditions de leur intégration dans des applications verticale

s avec garantie de co-existence pour l'IoT. Trois domaines sont adressés : IoT Massif (basse consommation et bas coût), Industrie 4.0 (Connectivité pour Mission Critique), Transport Connecté & Applications Véhiculaires (vers l'autonomie pour la mobilité). Les éléments fondamentaux à prendre en compte concernent les évolutions vers des protocoles standards, et la co-existence générale des nouveaux réseaux après la 5G. Les usines et centres manufacturiers sont très attentifs et demandeurs d'évolution vers la digitalisation et les connectivités sans fil. Mais, la robustesse et la capacité à accomplir des missions critiques seront clés. En parallèle, les nouveaux services incluent aussi les jumeaux numériques et la mobilité connectée telles les navettes autonomes. Il faut donc assurer une connectivité et un accès aux ressources sûr, permanent et garanti.

Domaines d'applications

- Industrie 4.0, digitalisation
- Véhiculaire, transport et mobilité
- Communications par satellite

Consortium

- CEA-Leti, CEA-List
- CNRS et établissements liés : ETIS, IETR, IRIT, L2S, LIGM, XLIM
- IMT- Atlantique, IMT-Telecom Paris, IMT-Nord Europe, Eurecom
- INRIA et établissements liés : AOI, FUN, TRIBE, AGORA

Pilotes scientifiques

- Eric Mercier, CEA-Leti
- Nadjib Achir, INRIA
- Olivier Boissier, IMT
- Yann Deval, CNRS



Réseaux mobiles ajustés (just enough networks) aux besoins des utilisateurs

JEN

Concevoir des réseaux mobiles dont la dimension, la performance, l'utilisation des ressources et la consommation d'énergie sont ajustées au plus près des besoins des utilisateurs.

Context-awareness

compressive sensing, open-source software radios, backscattering communications

Energy-efficiency

resource optimization, multi-technology deployment, energy-aware orchestration and management, energy-performance trade-off

Sobriety

electromagnetic field exposure assessment and control, energy sobriety, life cycle analysis

JEN

Just Enough Networks

Objectifs

Les réseaux de communication sont souvent présentés comme des moyens nécessaires pour réduire l'impact environnemental de divers secteurs industriels. Le déploiement de nouvelles générations de réseaux mobiles à large bande a en pratique été réalisé jusqu'à présent par une augmentation des ressources de communication des réseaux d'accès sans fil. Cette approche a prouvé son efficacité en termes de performance, mais son coût énergétique, et plus généralement son impact environnemental, ainsi que l'exposition aux champs électromagnétiques malgré les limites de protection existantes suscitent des inquiétudes. Dans le projet JEN, nous concevons des réseaux ajustés (Just Enough Networks) dont la dimension, la performance, l'utilisation des ressources et la consommation d'énergie sont ajustées au plus près des besoins des utilisateurs. En plus de concevoir des réseaux sobres et économes en énergie, nous fournirons des modèles multi-indicateurs qui pourraient aider les décideurs politiques et éclairer le débat public.

Domaines d'applications

Tous les domaines d'applications visés par le PEPR Réseaux du futur

Consortium

- CNRS et établissements liés : IEMN, IETR, IMS, IRISA, LIGM, LIP, XLIM
- CEA-LETI
- IMT-Atlantique, IMT-Nord Europe, IMT-Télécom Paris
- INRIA et établissements liés : CITI, CRISTAL

Pilotes scientifiques

- Anne-Cécile Orgerie, CNRS
- Serge Bories, CEA
- Joe Wiart, IMT

Fournir des méthodes et outils pour sécuriser les réseaux du futur et fournir des services de sécurité aux applications qui les utilisent, tout en respectant les contraintes d'usage de ces applications.



Objectifs

Les réseaux, de par leur nécessaire ouverture et leur valeur économique, sont des cibles privilégiées pour les attaquants. Le projet HiSec développe de nouvelles méthodes et outils pour sécuriser les réseaux du futur. Plus spécifiquement, il couvre 5 grands objectifs. Le premier objectif touche la protection de ces réseaux, au travers de la spécification et du déploiement de politiques de sécurité de bout en bout. Le second objectif a pour but de détecter et de gérer les attaques dans ces environnements complexes. Le troisième objectif a pour but la protection des données personnelles dans le cas de l'interception légale. Le quatrième objectif a pour but de modéliser le fonctionnement des mécanismes de sécurité de ces réseaux, de manière à assurer que les services de sécurité fournis correspondent aux besoins des applications qui les sollicitent. Le cinquième objectif a pour but de formaliser le lien entre couche matérielle et logicielle d'une part, et propriétés de sécurité, pour assurer l'intégration des mécanismes cyber dans toutes les couches du réseau.

Domaines d'applications

Tous les domaines d'applications visés par le PEPR Réseaux du futur

Consortium

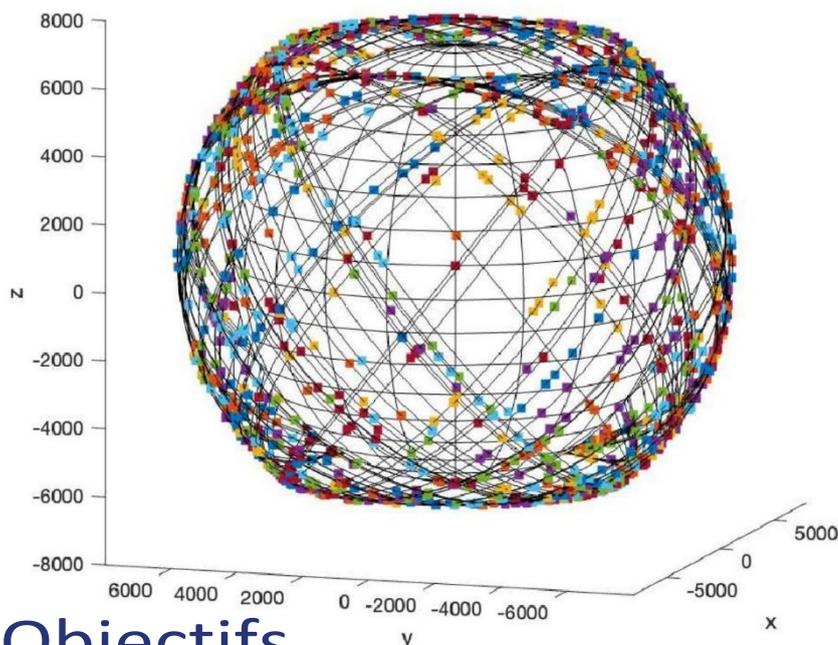
- IMT-Télécom Paris, IMT Télécom SudParis, Eurecom
- CNRS et établissements liés : ETIS, IETR, IRISA, LAAS, XLIM
- CEA LIST
- INRIA et établissements liés : LORIA

Pilotes scientifiques

- Hervé Debar, IMT
- Manuel Barragan, CNRS
- Isabelle Christment, Inria
- Alexis Olivereau, CEA

Fondements des futurs réseaux de communication

L'évolution vers la 6G est dictée par des limitations fondamentales qui découlent de la physique et de la théorie de l'information. Ce PC couvrira l'ensemble des composantes de la recherche fondamentale du domaine.



Objectifs

Le projet organisera la recherche fondamentale dans les directions suivantes :

- étude des limites ultimes théoriques au sens de la physique et de la théorie de l'information, avec de nombreuses questions ouvertes liées à l'utilisation de la dimension spatiale, aux fortes contraintes de latence ou encore la prise en compte de la signification de ce qui est transmis dès le codage, les protocoles et jusqu'à la couche physique.
- détermination de l'organisation spatiale optimale des éléments du réseau, compte tenu des limitations de la théorie de l'information. Cela nécessitera de nouveaux outils mathématiques et de nouveaux modèles, qui seront des éléments clés de ce projet.
- conception d'algorithmes de contrôle distribué temps réel et non temps réel permettant d'exploiter de telles architectures de réseau. L'objectif principal est ici de se rapprocher des limites fondamentales étudiées dans ce projet.

Domaines d'applications

Des interactions avec l'ensemble des autres PC du PEPR permettront une intégration optimale dans la 6G de nouveaux éléments de réseaux comme les surfaces réfléchissantes, de nouvelles architectures (par exemple sans cellules ou non terrestres) et de nouvelles fonctionnalités (comme la conjonction communication & sensing, ou le calcul en périphérie de réseau).

Consortium

- INRIA et établissements liés : Centre de Lyon, NEO, Simons
- CEA LETI
- CNRS et établissements liés : ETIS, IRISA, L2S
- IMT-Nord Europe, IMT- Télécom Paris, IMT-Télécom SudParis, EURECOM

Pilotes scientifiques

- François Baccelli, INRIA
- Emilio Calvanese, CEA
- Arsenia Chorti, CNRS
- Laurent Clavier, IMT



FPNG

Réseau français de plateformes de test pour les nouvelles Générations des communications mobiles

Mettre en place des infrastructures de recherche à l'échelle nationale pour tester de nouveaux composants matériels pour la 5G et les réseaux futurs et pour évaluer les paradigmes des réseaux de télécommunications de la prochaine génération.

Domaines d'applications

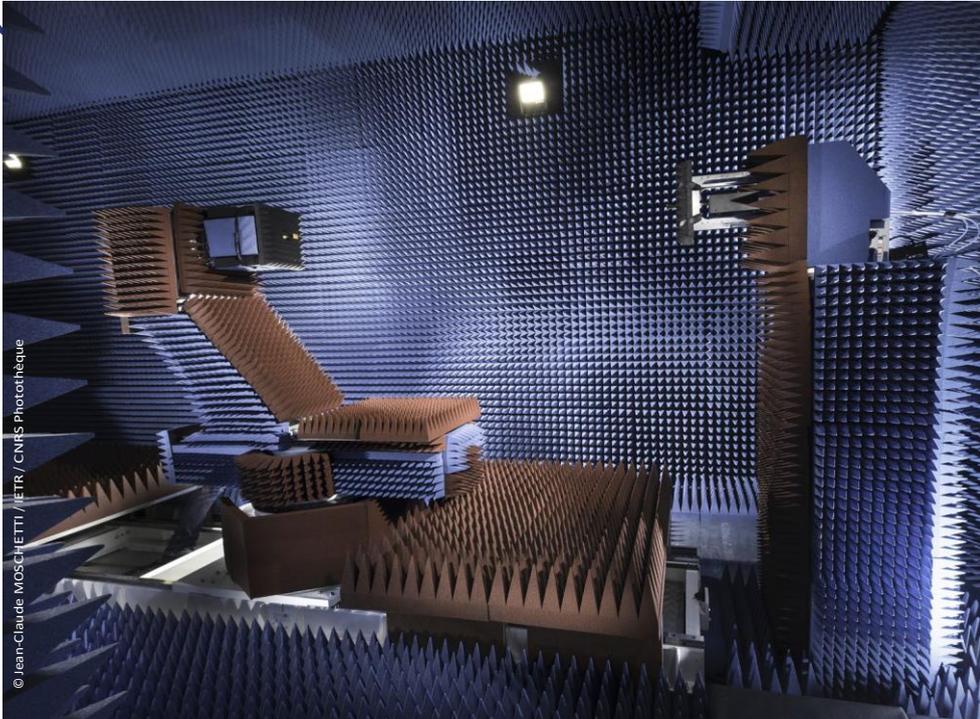
Tous les domaines d'applications visés par le PEPR Réseaux du futur

Consortium

- CNRS et établissements liés : IEMN, IETR, IMS, Lab-STICC, XLIM
- IMT-Atlantique, IMT-Télécom Paris, IMT-Télécom Paris Sud
- Sorbonne Université
- INRIA
- EURECOM

Pilotes scientifiques

- Philippe Besnier, CNRS
- Raymond Knopp, EURECOM
- Philippe Martins,



© Jean-Claude MOSCHETTI / IETR / CNRS Phototèque

Objectifs

Le projet ciblé FPNG est consacré à la mise en place d'infrastructures de recherche à l'échelle nationale pour tester de nouveaux composants matériels et évaluer les paradigmes de la prochaine génération de réseaux de télécommunications. Ces infrastructures de recherche ciblent à la fois les composants technologiques de base et le test des réseaux de bout en bout. Ce programme de plateformes vise à traiter toutes les technologies pertinentes, allant des composants électroniques élémentaires jusqu'aux expériences de mise en réseau à grande échelle pour relever tous les défis spécifiques du projet PEPR Réseaux du futur. L'objectif fixé est de structurer cet ensemble, en permettant un libre accès au groupe national de chercheurs de ce PEPR pour les infrastructures existantes, et d'investir dans de nouvelles infrastructures stratégiques et avancées lorsqu'elles n'existent pas encore pour répondre aux nombreux défis à relever.



GOUVERNEMENT



Contacts

Les renseignements concernant le processus administratif (constitution du dossier, démarches en ligne, taux d'aide) pourront être obtenus auprès de l'ANR par courriel :

PEPR-5G@agencerecherche.fr

