

Grant agreement ANR-22- PEFT-0011

Deliverable D1.1

NF-Plateforme XG

Plateforme 5G et réseaux du futur

Delivery date	20/02/2026
Version	1.1
Editor	Besnier Philippe, Bourguiba Meriem, Martins Philippe, Knopp Raymond, Fourmaux Olivier, Saucez Damien, Cardoso Leonardo, Adjih Cedric et Dabbous Walid
Authors	Besnier Philippe, Bourguiba Meriem, Martins Philippe, Knopp Raymond, Fourmaux Olivier, Saucez Damien, Cardoso Leonardo, Adjih Cedric et Dabbous Walid
Dissemination	Confidential
Keywords	Caractérisation, Expérimentation, front-end RF, sous-systèmes électroniques, Réseaux xG, Interface radio, noeuds radio, Internet des Objets, Open Air Interface, Radio Access Network, Slices-FR

History

Version	Date	Modification
0.1	30/05/2025	First version
0.2	20/02/2026	Second version

Table of content

1	RÉSUMÉ PUBLIC	3
2	INTRODUCTION ET RAPPEL DES OBJECTIFS	3
3	ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET NF-PLATEFORMES-XG AU 30/06/2025	4
3.1	STRUCTURATION RF-NET. ETAT D'AVANCEMENT	4
3.1.1	Délimitation du périmètre et recensement des plateformes	4
3.1.2	Actions réalisées. Mise en oeuvre effective de RF-Net	6
3.1.3	Animation du réseau.	6
3.1.4	Analyse des ressources complémentaires à mettre en oeuvre pour les besoins du PEPR	6
3.1.5	Mise à jour du planning de réalisations	7
3.2	DÉPLOIEMENT DE SLICES-FR. ETAT D'AVANCEMENT	8
3.2.1	Présentation de l'infrastructure visée à terme.	8
3.2.2	Actions réalisées	8
3.2.3	Portail d'expérimentations et services disponibles	13
3.2.4	Mise à jour du planning de réalisations	16
3.3	DÉPLOIEMENT DE NGC-AIoT. ÉTAT D'AVANCEMENT	16
3.3.1	Présentation de l'infrastructure visée à terme.	16
3.3.2	Actions réalisées	17
3.3.3	Premières versions des plateformes, et prototypes	18
3.3.4	Expérimentations, et démonstrations	22
3.3.5	Mise à jour du planning de réalisations	24
3.4	RECENSEMENT DES BESOINS DU PEPR EN VUE DE L'UTILISATION DE L'ENSEMBLE DES PLATEFORMES	24
3.4.1	Campagne de recensement des besoins	24
4	CONCLUSION	31

1 Résumé public

Le programme ciblé NF-Plateforme XG du PEPR Réseaux du futur prévoit la mise en place d'infrastructures de recherche à l'échelle nationale pour tester de nouveaux composants matériels et logiciels afin d'évaluer les paradigmes de la prochaine génération de réseaux de télécommunications. Ce programme de plateformes vise à identifier toutes les technologies de base pertinentes à l'échelle des composants électroniques élémentaires jusqu'aux expériences de mise en réseau de bout en bout à grande échelle pour relever tous les défis spécifiques du projet PEPR Réseaux du Futur. L'objectif de ce programme ciblé est de structurer ces infrastructures de recherche, de donner accès à la communauté des chercheurs pour les infrastructures existantes, et d'investir dans de nouvelles infrastructures stratégiques et avancées lorsqu'elles n'existent pas encore pour répondre aux objectifs des différents projets ciblés du PEPR Réseaux du Futur.

L'infrastructure de recherche nationale pour la future génération de réseaux mobiles est double. D'une part, elle doit supporter toutes les expériences de bout en bout pour tester les performances des algorithmes proposés pour la configuration et l'accès aux réseaux de communication, selon diverses normes de communication. D'autre part, l'ensemble des plateformes doit fournir des caractérisations avancées de tous les nouveaux composants matériels intégrant la chaîne de communication, et plus particulièrement des dispositifs associés à la configuration de la communication sans fil, y compris les dispositifs RF frontaux et les réseaux d'antennes. Le réseau français d'infrastructures pour les générations futures de réseaux de communication xG est donc décomposé en deux sous-ensembles principaux : la caractérisation matérielle et l'infrastructure réseau. Cette dernière est composée de SLICES-FR dédié à la recherche expérimentale sur divers aspects des applications des réseaux de communication et de la plateforme NGC-AIoT dédiée aux réseaux cellulaires de nouvelle génération pour l'IoT et les capacités IA embarquées. L'ensemble offrira un large panel d'expérimentations, au plus niveau international.

2 Introduction et rappel des objectifs

Le développement des futures générations de réseaux mobiles pose un certain nombre de défis scientifiques et technologiques qui devront être relevés dans les années à venir dans le cadre de ce PEPR, et qui concernent à la fois les architectures matérielles et logicielles. Ces défis peuvent se résumer aux actions suivantes :

- Concevoir des architectures de réseau flexibles et agiles et permettre la convergence des réseaux, des centres de calculs (cloud) distribués, de la détection et des applications.
- Permettre l'interopérabilité et/ou la fédération de différents systèmes hétérogènes, terrestres et non terrestres.
- Définir et développer des algorithmes de traitement des signaux ainsi que des architectures matérielles et logicielles avancées et intelligentes tout en répondant aux exigences de qualité de service, en minimisant la consommation d'énergie et l'impact sur l'environnement.
- Exploiter une très large gamme de fréquences et garantir une utilisation efficace du spectre.
- Relever les défis de l'optimisation conjointe de la localisation, de la communication et de la détection, notamment pour la radio holographique et les communications (sub)THz.

Au niveau des réseaux de communication, ces défis impliquent une expertise de classe mondiale dans des domaines clés tels que la virtualisation et les réseaux programmables afin de maîtriser de nouvelles architectures de réseaux de communication, d'apporter de la flexibilité et de l'agilité grâce à l'utilisation efficace de paradigmes tels que le découpage en tranches (slices) de bout en bout et l'intégration de l'intelligence artificielle dans, par exemple, les solutions basées sur les réseaux de type Software Defined Radio (SDR), qui sont essentiels pour le développement et l'exploitation des futurs réseaux avancés. Au niveau des éléments constitutifs, la mise en œuvre de ces réseaux repose sur les meilleurs experts de la communauté scientifique dans le domaine du traitement des signaux (couche physique) et des technologies matérielles (numériques, analogiques et radiofréquences) afin de pouvoir concevoir, par exemple, des systèmes avancés de formation de faisceaux, des techniques MIMO massives, des surfaces réfléchissantes intelligentes et les composants RF frontaux associés, y compris les antennes.

Les concepts théoriques, les nouveaux logiciels ou le développement de matériel impliquent, en particulier aux niveaux de TRL supérieurs, la démonstration des performances. La plupart du temps, cette démonstration s'appuie sur des plates-formes avancées dans les installations de mesure de pointe et sur des infrastructures de réseau expérimentales à l'avant-garde des technologies de base.

L'objectif principal de cet ensemble d'activités de plates-formes défini dans la présente proposition est la création d'un outil expérimental commun, ouvert à la communauté française du domaine, en lien étroit avec les initiatives européennes et internationales pertinentes. En effet, les plateformes représentent un élément structurant pour la communauté et un atout pour l'avenir des initiatives de recherche en France dans le cadre des prochaines générations de services de communications mobiles.

À l'heure actuelle, les partenaires du PEPR 5G gèrent diverses plateformes ou infrastructures, dont certaines sont probablement uniques à l'échelle nationale et au niveau technique le plus élevé au monde. Cela implique divers ensembles de plateformes dont la structuration et l'accès pour les utilisateurs sont inégaux. Par structuration, on entend qu'un ensemble structuré de plateformes consiste en un ensemble de moyens fournissant une gamme complète de services pour caractériser, valider ou fournir une preuve de concept à différentes échelles (composants, systèmes, services aux utilisateurs) et que ces services sont accessibles, par le biais de règles et de procédures connues et partagées par la communauté des communications mobiles.

L'objectif très spécifique de ce réseau français de plateformes de test pour les générations de réseaux de communication est de construire de telles infrastructures de recherche structurées en tant que pilier pour les activités de recherche expérimentale afin de soutenir les objectifs du PEPR.

Ce réseau de plateformes est composé de trois parties principales avec des interfaces appropriées entre elles.

- Contribution 1 : (RF-Net) : RF-Lab consiste en un vaste ensemble de différentes plateformes d'essai permettant de caractériser au sens du comportement radio-fréquence divers composants matériels constituant l'épine dorsale des infrastructures de communication mobile.
- Contribution 2 : (SLICES-FR) : SLICES-FR fournit une grande infrastructure pour la recherche expérimentale sur divers aspects des applications des réseaux de communication. Cette infrastructure permettra une expérimentation de bout en bout avec des logiciels et des applications à tous les niveaux des couches logicielles, de la capture d'événements (capteurs, actionneurs) au traitement et au stockage des données, à la gestion de la transmission radio et au déploiement dynamique de services informatiques périphériques, permettant ainsi une recherche reproductible sur les réseaux programmables en tout point.
- Contribution 3 : (NGC-AIoT) : NGC-AIoT (Next Generation Cellular - AI and IoT), est une plateforme dédiée aux réseaux IoT, avec un accent très spécifique sur : 1) l'intégration des communications des réseaux cellulaires de prochaine génération pour l'IoT, 2) l'intégration des capacités d'IA intégrées (TinyML et EdgeAI) dans le matériel AI+IoT.

L'état d'avancement de la structuration de ces trois sous-ensembles, au 30/06/2025, est fourni ci-dessous.

3 Etat d'avancement du projet NF-Plateformes-XG au 30/06/2025

3.1 Structuration RF-Net. Etat d'avancement

3.1.1 Délimitation du périmètre et recensement des plateformes

Le périmètre de RF-Net est défini comme suit :

Caractérisation radiofréquence :

il s'agit de toute caractérisation portant sur les matériaux, composants et circuits électroniques, dispositifs électromagnétiques, ainsi que les systèmes associés. Les critères d'éligibilité sont synthétisés dans le tableau suivant :

Critères	Condition(s) à remplir	Commentaire
----------	------------------------	-------------

Maturité	Plateforme constituée de plateaux techniques offrant des techniques de caractérisation éprouvées (protocole défini) au moins pour un certain nombre d'entre elles.	
Staff	Plateforme avec capacité de mobiliser du personnel (personnel technique ou chercheur), donc plateforme staffée a minima.	Règles différenciées suivant les plateaux techniques d'accueil de personnes extérieures utilisatrices après formation. Chaque PT fixe ses propres règles.
Ouverture	Capacité de la PF/PT à avoir une activité ouverte de 10% a minima (disponibilité jours PT + staff).	La priorité est aux activités de recherche pour tous. Ouverture : "Projet porté par un labo tiers est un projet extérieur même si le labo est partenaire avec utilisation de la PF concernée".
Grilles de tarifs	Grilles de tarifs différenciées. Tarifs approuvés par un CA d'une des tutelles de labo, quelle qu'elle soit.	Tarifs propres à chaque PF / tutelle.

RF-Net identifie actuellement cinq grandes familles de caractérisation. Les plateformes impliquées relèvent de cinq UMR CNRS :

- IEMN : plateforme PCMP
- IETR : plateformes QOSC et M2ARS
- IMS : plateforme NANOCOM
- Lab-STICC : plateformes CAMEL et TECHYP
- XLIM : plateforme PLATINOM

Familles de caractérisation :

- Caractérisation de propriétés de matériaux constitutifs de dispositifs :
Cette catégorie de mesures concerne la caractérisation de matériaux sous conditions spécifiques d'environnement (température, vide, environnements divers) la caractérisation de matériaux diélectriques et magnétiques, de matériaux complexes. Cet ensemble de caractérisation concerne exclusivement les propriétés radiofréquence des matériaux concernés.
- Caractérisation de composants et circuits, passifs et actifs :
Cette catégorie de mesures concerne la mesure de paramètres S, petits signaux en accès coaxial, guide ou pointes sous différentes, également sous différentes conditions d'environnement. Elle s'étend à la caractérisation « grand signal » pour l'étude du comportement non-linéaire (intermodulation, load-pull, ...) de composants et circuits actifs. Elle couvre également la mesure de facteur de bruit, les mesures temporelles ou spécifiques, l'évaluation de composants contrôlés en tension/courant, ainsi que les mesures de signaux numériques (ADC, DAC, analyse logique).
- Caractérisation d'antennes et de la fonction de rayonnement électromagnétique :
Cette catégorie de mesures concerne la caractérisation électromagnétique. Elle comprend la mesure de diagrammes de rayonnement (2D et/ou 3D) en polarisation linéaire, circulaire. Elle concerne également la mesure d'ellipticité, de directivité, d'efficacité (rendement) ou encore de centre de phase. Elles comprennent également la réalisation de cartographies de champ (échantillonnage cartésien, sphérique, cylindrique) pour l'imagerie électromagnétique ou le diagnostic en champ lointain ou champ proche.

- Caractérisation de systèmes fonctionnels :

Ce domaine intègre les mesures de compatibilité électromagnétique (immunité rayonnée et conduite, émissivité rayonnée et conduite), les mesures dites de télécommunications et plus particulièrement d'intégrité des signaux d'une chaîne de communication RF. Elles comprennent également la capacité d'émulation de canaux de propagation. L'identification des problèmes d'interférences RF est également proposée. Par ailleurs, le chapitre de la consommation d'énergie est couvert par la mesure et analyse de la puissance AC/DC consommée par un système ou sous-systèmes d'un dispositif fonctionnel, ou encore l'évaluation du comportement d'une source d'énergie.

- Caractérisation de canaux de propagation :

Cette famille de caractérisation comprend la mesure de canaux de propagation de type

- i) LOS SISO (bilan de liaison) y compris en environnement spécifique (ex: simulation de la propagation atmosphérique en cellule de gaz)
- ii) LOS NLOS dans des configurations statiques dans le cadre par exemple d'un canal intégrant un dispositif de type RIS
- iii) MIMO dans le contexte du sondage de canal de propagation en environnement confiné (bâtiments, usines, bateaux...)

3.1.2 Actions réalisées. Mise en oeuvre effective de RF-Net

Meriem Bourguiba a été recrutée en mai 2024 en tant qu'ingénieure de recherche en CDD de trois ans pour renforcer la coordination du réseau RF-Net. Un bilan des investissements complémentaires nécessaires a été réalisé et des campagnes de benchmarking ont été lancées dans les domaines des composants, antennes, CEM et matériaux. Le site web du réseau est désormais en ligne : <https://rf-net.fr/fr/> . Par ailleurs, la plateforme web de gestion des demandes de projets (REPOTECH) est désormais fonctionnelle et prête à accepter les demandes : <https://projets.rf-net.fr/auth/login?next=>

3.1.3 Animation du réseau

Le réseau RF-Net mène activement des actions de valorisation et de visibilité, notamment par sa participation à des événements spécialisés d'envergure tels que les salons European Microwave Week (EuMW) en 2024 et 2025. En complément, RF-Net prévoit l'organisation régulière de journées thématiques dédiées à des problématiques techniques spécifiques. Le premier workshop du réseau s'est ainsi tenu les 13 et 14 novembre 2024 à Lille, sur le thème du calibrage, réunissant plus de 70 participants et donnant lieu à une trentaine d'interventions scientifiques et techniques. Par ailleurs, la dynamique du PEPR Réseau du futur favorise de nombreuses prises de contact, au cours desquelles RF-Net consolide sa visibilité et élargit son réseau de partenaires.

3.1.4 Analyse des ressources complémentaires à mettre en oeuvre pour les besoins du PEPR

Une procédure de recensement des besoins a été lancée fin 2023 afin d'anticiper au mieux les ressources qui seront nécessaires au sein des plateformes au service des différents projets ciblés du PEPR RdF. Ce recensement a été opéré de manière très large près de l'ensemble des acteurs de la communauté couvrant toutes les expertises et les établissements du PEPR. Des échanges avec les responsables de projets ciblés ont été organisés afin de leur présenter les ressources et les objectifs du PC 10 et de les inviter, au sein de chacun de leurs projets ciblés à anticiper les demandes de caractérisations et d'expérimentations qui seront projetées au cours de la vie du projet PEPR. Les journées scientifiques du PEPR (20-22 mars 2024) ont également permis l'organisation d'échanges systématiques entre le PC10 et chacun des projets ciblés, pris individuellement afin de consolider à la fois notre analyse et de s'assurer de la couverture des besoins.

Cette analyse des ressources disponibles au regard de l'anticipation des besoins en caractérisations et expérimentations a été consolidée fin avril 2024. Il en résulte la nécessité d'investissements complémentaires au

sein de RF-Net, investissements qui ne sont en aucun cas redondants avec des moyens disponibles et ouverts à la communauté des utilisateurs au CNRS, au CEA et à l'IMT, l'objectif du PC 10 étant précisément de permettre un accès ouvert (sous conditions spécifiques) à un vaste ensemble plateformes au plus haut niveau international. Les plateformes du CEA n'ayant pas vocation dans le cadre du PEPR Réseaux du Futur à être ouvertes aux communautés d'utilisateurs, le réseau RF-Net a veillé à la complémentarité des moyens sur les différents volets présentés ci-dessous. Le domaine du sondage de canal fait en particulier l'objet de collaborations étroites entre le CNRS et le CEA et l'investissement projeté sur ce volet est non seulement pertinent mais renforcera la collaboration. Les mesures d'antennes ne feront l'objet d'aucun investissement dans de nouvelles chambres anéchoïques dans le cadre du PEPR, compte tenu du panel existant, mais se concentrent sur des investissements légers d'instrumentation complémentaire et sur l'optimisation des protocoles de mesure dans le contexte la montée en fréquence (THz) qui bénéficieront à toute la communauté. En matière de mesure sous pointes de composants semi-conducteurs et de caractérisation de matériaux, RF-Net se dotera de moyens uniques et en accès ouvert, particulièrement dans le domaine de la caractérisation de puissance en bande millimétrique et de la caractérisation en bande D (pressentie pour l'après 5G), pour laquelle les moyens sont encore très limités sur le plan national et doivent donc être consolidés. Le volet caractérisation de surfaces reconfigurables intelligentes constitue un champ ouvert d'investigation et de très fort intérêt pour le PEPR et il n'existe pas à ce jour de moyens et protocoles spécifiques permettant d'évaluer leurs performances.

L'analyse de l'ensemble des informations recueillies, fait apparaître des besoins de consolidation en investissement et en expertise sur 5 les volets suivants:

- Volet A : Adaptation des protocoles de mesure d'antenne dans le domaine sub-THz.
- Volet B : Sondage de canal pour le «cell free» et le sub-THz.
- Volet C : Caractérisation des surfaces reconfigurables intelligentes (RIS).
- Volet D : Caractérisation de composants actifs, dans le contexte de la montée en fréquence et de l'utilisation de semi-conducteurs grand gap.
- Volet E : Caractérisation de matériaux en environnement contrôlé aux fréquences sub-THz.

3.1.5 Mise à jour du planning de réalisations

Titre	Nov. 2023	01- mai-24	01- nov-24	mai-25	01- nov-25	mai-26	mai-27	Nov. 2027
Gestion	PAP	PAP	PAP	PAP	PAP	PAP	PAP	PAP
Inventaire détaillé et analyse	100%							
Définition du périmètre	100%							
Critères / éligibilité	100%							
Identification / description	80%							
Collecte des données d'entrée		100%						
Analyse de spécialisation			PAP					
Extension			PAP			PAP		
Conception et mise en œuvre du portail d'accès commun		50%						
Études de conception			70%					
Mise en œuvre				80%	90%			
Définition des besoins et programmation des investissements			80%	80%				
Analyse et proposition d'évolutions pour renforcer les plateformes							PAP	PAP
Animation								
Séminaires			100%	PAP	50%			
Formation			PAP	PAP	PAP	PAP		

PAP : Période d'activité prévue (non encore commencée)

3.2 Déploiement de SLICES-FR. Etat d'avancement

3.2.1 Présentation de l'infrastructure visée à terme

À terme, l'infrastructure SLICES-FR s'appuiera sur l'ensemble des sites SLICES-FR mis à niveau et interconnectés, intégrant des plateformes de calcul, des infrastructures réseau et des environnements d'expérimentation radio. Elle reposera sur des services communs et un portail unifié permettant l'accès et l'utilisation coordonnée de ces ressources par la communauté de recherche.

3.2.2 Actions réalisées

Déploiements SLICES-FR - SophiaNode Pour rappel, le SophiaNode (Sophia Antipolis) combine les efforts et ressources d'Inria et EURECOM et fourni déjà une infrastructure publique commune combinant les forces des deux instituts. Grace au PEPR RDF et d'autres projets publics (Horizon Europe CONVERGE et SLICES-PP, CMA IMTFor5G+) elle comprend au jour d'aujourd'hui une quantité importante de calcul et de commutation pour les expériences radio-cloud basées sur des solutions open-source telles que OpenAirInterface, Open5GS et srsRAN, imitant le modèle O-Cloud de l'écosystème O-RAN et incluant des fonctionnalités de plan utilisateur hautes performances et sensibles au temps (TSN). Plusieurs plateformes d'accélération matérielle pour l'accès radio et le traitement de périphérie, basées sur des plateformes GPU, FPGA et DPU/SmartNIC de pointe, sont proposées en accès libre. Les technologies radio associent des O-RU O-RAN de pointe et des USRP National Instruments haut de gamme. Les déploiements comprennent des environnements non contrôlés intérieurs et extérieurs réalistes à EURECOM et un environnement parfaitement contrôlé anéchoïque à Inria. Plusieurs catégories de terminaux contrôlables sont mises à la disposition des expérimentateurs, notamment des smartphones, des modules IoT 5G, des véhicules et des robots connectés à la 5G. SophiaNode héberge des technologies (par exemple 2 RIS, antennes intelligentes, accélérateurs HW) du PEPR et au-delà pour des tests dans un environnement B5G full-stack. Toutes les informations pour accéder librement au SophiaNode se trouvent dans la documentation officielle de SLICES-RI (<https://doc.slices-ri.eu>). Depuis son lancement en pré-production en novembre 2024, le SophiaNode a été utilisé par 145 chercheurs et étudiants qui ont produit plus de 800 artéfacts (i.e., datasets).

Nous listons dans le tableau 2 suivant les équipements mis-à-disposition par le SophiaNode (EURECOM et Inria) depuis le démarrage du PEPR RDF pour la communauté de recherche ainsi que la provenance de leur financement

Les dépenses en termes d'investissements par EURECOM utilisant le financement du PEPR RDF s'élèvent à 283445 euros. Les dépenses en termes de consommables s'élèvent à 47007 euros, dont 5800 de sous-traitance. Les consommables et sous-traitance correspondent surtout aux besoins câblage et connectique optique ainsi que le déploiement de baie pour les serveurs d'EURECOM dans le data-center Inria. A titre d'information, les autres projets à financement public mentionné ont contribué au site SLICES-RI SophiaNode à la hauteur d'environ 450keuros. Certains équipements (serveurs générique ou GPU pour IA) correspondent à des domaines d'activité cloud/edge (HE CONVERGE) et également pour l'enseignement (IMTFor5G+) mais restent exploitables par les chercheurs du PEPR RDF via SLICES-RI.

Les dépenses en termes d'investissements par Inria utilisant le financement du PEPR PC10 s'élèvent à 288326 euros. Les dépenses en termes de consommables s'élèvent à 17000 euros incluant la sous-traitance pour la pose des fibres dans la salle anéchoïque. A titre d'information, les autres projets à financement public mentionné ont contribué au site SLICES-RI SophiaNode à la hauteur d'environ 119400euros. La totalité des équipements est mise à disposition du PEPR quelqu'en soit la source de financement.

Déploiements SLICES-FR - Sorbonne/CNRS Le nœud Sorbonne/CNRS regroupe les efforts et ressources mis à disposition actuellement sur le site de Sorbonne Université (SU) dans le but de proposer une collection de services majeurs de SLICES-RI. Ces services incluent l'accès et le cœur de réseaux 5G, des services d'orchestration et d'expérimentation pour la partie française des composants B5G/6G de SLICES-RI. En complément, la technologie EdgeNet se propose pour permettre les expérimentations en bordure du réseau. Une partie des ressources cloud de SLICES-FR HPC sera également disponible à travers l'intégration sur le site d'un des trois clusters de traile moyenne prévu au niveau français.

Type	Nombre	Détail	Etat	Ouverture	Financement	Propriétaire
baie	3	Modul'rack 600x1200x2000 mm 42U	opérationnels + production	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
fibre	37	Fibrage complet de la salle anéchoïque	opérationnels + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
relais	37	Pl 3 + relais + switch manageable + caisson électrique	opérationnels + production	06/25 SLICES-RI	PEPR	INRIA
commutateur(spine)	4	Cisco N9000GX (64x100G)	opérationnels + production	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
commutateur(fhaul)	2	Cisco N9000FX3 (PTP) (48x25G,6x100G)	opérationnels + production	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
commutateur(fhaul)	1	Cisco N9000FX3 (PTP) (48x25G,6x100G)	opérationnels + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
commutateur(mgt)	2	FS (48x25G,6x100G)	opérationnels + production	SLICES-RI	+ PEPR	INRIA
serveur	1	Kaytus 2U AMD Epyq (9534), Accel T2, 4x100G	opérationnel	06/25 SLICES-RI	PEPR	EURECOM
serveur	1	Kaytus 2U AMD Epyq (9534), Accel T2, 4x100G	opérationnel	06/25 SLICES-RI	HE 6GSUNRISE	EURECOM
serveur	2	Kaytus 2U AMD Epyq (9534), DPU BF3, 4x100G	opérationnels	09/25 SLICES-RI	HE 6GSUNRISE	EURECOM
serveur	6	Kaytus 1U AMD Epyq (9754)	opérationnel	SLICES-RI	HE CONVERGE	EURECOM
serveur	2	HPE 1U services	opérationnel + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
serveur	2	HPE 1U haute densité	opérationnel + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
serveur	6	Dell R640 1U Intel Xeon Gold (6154)	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	EURECOM
serveur	6	Dell R640 1U Intel Xeon Gold (6254)	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	EURECOM
serveur	6	Dell R650 1U Intel Xeon Gold (6354)	opérationnel	SLICES-RI	HE IMAGINE-B5G	EURECOM
serveur	6	Dell R440 1U Intel Xeon Silver ()	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	EURECOM
serveur	2	HPE 1U AMD EPYC	opérationnel + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
serveur	4	Dell R640 1U Intel Xeon Gold	opérationnel + production	SLICES-RI	fonds propres	INRIA
serveur (GPU)	1	HPE 2U NVidia GH200 NVL2	opérationnel	SLICES-RI 09/25	PEPR	EURECOM
serveur (GPU)	2	HPE 2U NVidia GH200 NVL2	opérationnel	SLICES-RI 09/25	CMA IMTFor5G+	EURECOM
serveur (GPU)	2	SMC 1U NVidia GH200	opérationnel	SLICES-RI 09/25	PEPR	EURECOM
serveur (GPU)	2	HPE 2U Xeon Platinum + NVidia H100	opérationnel + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
serveur (stockage)	1	HPE 2U 384TB	opérationnel + production	SLICES-RI	PEPR	INRIA
radio	2	Benetel RAN650 O-RU n77u	opérationnel	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
radio	1	Benetel RAN650 O-RU n78u	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	EURECOM
radio	2	Benetel RAN550 O-RU n77u	opérationnel	SLICES-RI	PEPR	INRIA
radio	2	Benetel RAN550 O-RU n77u	opérationnel	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
radio	2	Benetel RAN550 O-RU n77u	en cours de déploiement	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
radio	2	LiteON Flexi-FI FR2	opérationnel	SLICES-RI	HE CONVERGE	EURECOM
radio	1	LiteON Flexi-FI FR2	non-opérationnel	SLICES-RI	HE CONVERGE	EURECOM
radio	1	MicroAmp O-RU FR2	tests labo	SLICES-RI	CMA IMTFor5G+	EURECOM
radio	1	Greenerwave RIS FR2	tests labo	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
radio	1	Greenerwave RIS FR2	acheté	SLICES-RI	HE CONVERGE	INRIA
radio	1	Antenne panneau 8T8R	opérationnelle	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
radio	1	Antenne panneau 8T8R	à déployer	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
robot	1	AVL small autonomous vehicle devkit	acheté	SLICES-RI	PEPR	EURECOM
UE	2	Module quectel FR2	reçu, opérationnelle	SLICES-RI	PEPR	INRIA
RIS	1	TMYTEK XRifle Dynamic RIS 4.7GHz	en cours de test	HE CONVERGE	PEPR	INRIA

Table 2: Equipements mis-à-disposition par SophiaNode



Figure 1: Baies de serveurs constituant le SophiaNode dans le data center d'Inria à Sophia Antipolis. La seconde baie en partant de la droite ne fait pas partie du matériel mis à disposition de SLICES-FR.



Figure 2: Vue générale de la salle anéchoïque mise à disposition par le SophiaNode.



Figure 3: Vue de la RIS TMYTEK 4.7GHz, en cours de test.

Nous listons dans le tableau 3 suivant les équipements mis-à-disposition par le Sorbonne/CNRS depuis le démarrage du PEPR RDF pour la communauté de recherche ainsi que la provenance de leur financement

Les dépenses en termes d'investissements par Sorbonne Université utilisant le financement du PEPR RDF s'élèvent à 202176 euros. Les dépenses en termes de consommables ont été provisionnées de l'ordre de 50 Keuro, principalement pour de la sous-traitance pour des travaux électriques et de câblage (Antenne GNSS et accès au datacenter du LIP6 où sera hébergé un cluster SLICES-FR financé par le PEPR CLOUD). Les financements complémentaires du côté PEPR Cloud ont été annoncés de l'ordre de 600 Keuro.

Déploiements SLICES-FR - IMT-TP L'infrastructure interne du noeud IMT-TP déployé dans le cadre de SLICES-FR est maintenant opérationnelle. Elle dispose de six têtes radio Benetel (4 550 et 2 650), des switchs PTP CISCO et de deux serveurs associés. Cette nouvelle infrastructure réseau a permis de mailler entre elles les deux salles disponibles sur le noeud de l'IMT-TP (cage de Faraday + salle d'expérimentation NGC AIOT), les antennes placées sur le toit permettant des tests outdoor et les serveurs hébergés dans le data center local. Par ailleurs, des travaux d'étude ont démarré pour permettre de connecter le noeud IMT-TP aux autres noeuds de SLICES-FR. Un équipement Amarisoft fonctionnant en bande FR2 et permettant d'émuler jusqu'à 128 terminaux a été installée en 2025. Il est accessible par le biais d'une Webui permettant de lancer les terminaux et de paramétrer les scénarios de tests.

Déploiements SLICES-FR - CorteXlab La mise à jour de l'infrastructure CorteXlab pour l'intégration dans SLICES-FR, est prévue début 2026, avec trois grands chantiers:

- Une mise à niveau des plateformes SDR, avec pour cible principale le remplacement des anciennes PicoSDRs de Nutaq par des USRPs N2944R et N310. Avec une augmentation considérable des prix matériel depuis notre budget d'estimation, nous sommes actuellement en négociations avec National Instruments / Emerson afin de trouver un compromis convenable pour l'achat. L'achat doit avoir lieu avant fin 2025.
- La mise en service de la nouvelle salle serveur qui a pour but d'accommoder la nouvelle version de la structure réseaux. Celle-ci ne peut malheureusement pas être accommodée dans la salle serveur actuelle par défaut d'espace en rack. La nouvelle structure réseaux inclut une importante mise à niveau des équipements de calcul ainsi que réseaux, et elle va prendre en compte les besoins plus importants niveau réseaux 5G/6G, nécessaires pour les expérimentations courantes et futures dans le cadre de SLICES-FR. Elle comprend une séparation des plateformes SDR de ses PCs de contrôle (actuellement le cas) dans le but de flexibiliser le contrôle d'une ou plusieurs plateformes SDR par les unités de calcul.
- Mise à jour du middleware de pilotage. Le middleware de pilotage de CorteXlab a actuellement accumulé une dette technologique importante et n'est pas capable d'assurer un fonctionnement convenable de la plateforme dans le cadre de blueprints SLICES-FR, comme le 5G, par exemple. Il est donc, essentiel de mettre à jour le middleware de pilotage en le rapprochant au plus possible des autres plateformes SLICES-FR. Nous avons choisi des technologies d'actualité comme Ansible, Docker et Kubernetes qui sont en train d'être mises en place. Pour cela, le recrutement du nouvel ingénieur, qui a été retardé par le manque de candidats, a été finalement réalisé en début Février 2025.

3.2.3 Portail d'expérimentations et services disponibles

Depuis novembre 2024, les services sont en phase de pré-opération, en parallèle avec l'entrée en service de SLICES-RI. Ils sont accessibles à toute personne intéressée, bien qu'ils ne disposent pas encore d'un accord de niveau de service (SLA) ni de leur forme définitive. La phase de pré-opération doit être comprise comme une version bêta, en transition vers une phase pleinement opérationnelle.

Les sites de Sophia Antipolis et de Sorbonne sont connectés à l'infrastructure SLICES-RI (<https://portal.slices-ri.eu/>). Ils sont ainsi accessibles via le système d'authentification fédérée de SLICES-RI, qui couvre notamment l'ensemble des entités académiques françaises.

Les sites français se sont particulièrement investis dans le blueprint Post-5G. Toutes les informations nécessaires pour accéder à ce blueprint sont disponibles sur : <https://doc.slices-ri.eu/BlueprintServices/beyond5G/beyond5G.html>.

Type	Nombre	Détail	Etat	Ouverture	Financement	Propriétaire
commutateur(mgt)	2	Cisco Catalyst (24x1G,2x10G)	opérationnel + production	SLICES-RI	fonds propres	SU
commutateur(spine)	2	Cisco Catalyst (32x100G)	en cours de déploiement	SLICES-RI	PEPR	SU
commutateur(fhaul)	1	Fibrolan MicroFalcon-RX (6x10G,2x25G) + GNSS	en cours de déploiement	SLICES-RI	PEPR	SU
radio	1	Benetel RAN650 O-RU n77u	en cours de déploiement	SLICES-RI	PEPR	SU
serveur (5G compute)	3	Dell R740 2U Intel bi-Xeon Gold (2*18 cores)	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	SU
serveur (5G RAN)	1	Dell R6715 RAN (AMD EPYC 9355P, 3,55 GHz, 32C/64T)	acheté	SLICES-RI	PEPR	SU
serveur (5G compute)	3	Dell R7715 (AMD EPYC 9655P, 96C/192T)	acheté	SLICES-RI	PEPR	SU
serveur (5G GPU)	1	Dell R760XA (Intel bi-Xeon Gold 6526Y, 2*GPU H100 PCIe)	acheté	SLICES-RI	PEPR	SU
P4 switch (5G UPF)	1	EdgeCore Wedge 100-32X (32x100G)	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	SU
serveur (Edgenet)	2	Dell R630 (Intel Xeon E52680 8C/16T)	opérationnel + production	SLICES-RI	fonds propres	SU
serveur (Edgenet)	1	Dell R7615 (AMD EPYC 9654P 96C/192T)	opérationnel + production	SLICES-RI	fonds propres	SU
serveur (Edgenet)	4	Dell R6715 (AMD EPYC 9335, 2,70 GHz, 32C/64T)	opérationnel	SLICES-RI	fonds propres	SU
serveur (PROXMOX Cluster)	3	Dell Poweredge 740 (Intel(R) Xeon(R) Silver 4110 CPU (16C))	en cours de déploiement	SLICES-RI	PEPR	SU



Figure 4: Baies dédiées aux équipements SLICES à SU.

Le portail dédié à ce service est accessible à l'adresse suivante : <http://post-5g-web.slices-ri.eu>. Ce blueprint s'appuie techniquement sur la solution OpenAirInterface.

La gestion des données et des métadonnées expérimentales est assurée par les services SLICES MRS et DMI, avec un backend S3 hébergé à Gand (Belgique) et à Sophia Antipolis (France). À la date de rédaction de ce document, 412 artéfacts ont été publiés depuis l'ouverture du service en novembre 2024.

Actuellement, le service de connectivité réseau est encore géré manuellement. Une automatisation de ce service est prévue pour la seconde moitié de l'année 2025, en s'appuyant sur l'infrastructure de connectivité de SLICES-RI.

Un cluster Kubernetes centralisé est mis à disposition, hébergé par le site de Sophia Antipolis.

Une nouvelle version des services est prévue pour l'été 2025. Elle apportera notamment une extension des ressources O-RAN, ainsi que la possibilité de créer à la volée des clusters Kubernetes privés multi-sites. Un assistant de type chatbot fera également son entrée en phase de pré-opération à cette occasion.

3.2.4 Mise à jour du planning de réalisations

3.3 Déploiement de NGC-AIoT. État d'avancement

3.3.1 Présentation de l'infrastructure visée à terme

La plateforme NGC-AIoT (Next Generation Cellular – IA et IoT) est dédiée aux réseaux IoT, avec deux points d'attention très spécifiques :

1. L'intégration des communications des réseaux cellulaires de nouvelle génération pour l'IoT ;
2. L'intégration de capacités d'IA embarquée (TinyML et Edge AI) et donc de matériel spécifique IA+IoT.

La plateforme visée à terme, se compose de quatre parties :

- Un réseau de stations de base programmables permettant de rendre immédiatement disponibles les différentes technologies IoT cellulaires, comme NB-IoT, LTE-M, RedCap. Dans une seconde phase, la plateforme permettra, via des développements complémentaires, de tester les différentes technologies IoT 5G.
- Un réseau de serveurs d'accès, proches ou co-localisés avec les stations de base, permettant le traitement des données issues des capteurs (traitement de type MEC). Ce réseau sera situé à Télécom Paris et à Inria Saclay. Certains serveurs pourront intégrer des accélérateurs IA contraints (miniGPU).
- Un cœur de réseau contenu de façon externe, déployable partout. Le datacenter de Télécom Paris offrira la possibilité d'héberger ces éléments. D'autres plateformes d'expérimentation pourront également y accéder (Nantes – IMT Atlantique, Lille – Inria, etc.).
- Un ensemble de dispositifs embarqués pour travailler sur les capteurs IoT, tant au niveau des piles de protocoles qu'au niveau des applications IoT basées sur ces protocoles (environnement de développement et de métrologie). Ces systèmes embarqués intégreront des capacités de traitement pour l'inférence et/ou l'apprentissage à la périphérie : systèmes Edge AI de type Linux avec miniGPU performants, ou systèmes plus contraints de type TinyML avec microNPU.

La plateforme est destinée à être complémentaire aux autres plateformes SLICES-FR, notamment avec les objectifs suivants :

- Cas d'usage IoT où l'aspect réseau cellulaire (IoT 4G et 5G) est pris en compte autant que les aspects de programmation embarquée, y compris « IA pour systèmes embarqués ».
- Permettre l'étude et l'utilisation des grandes familles de composants IA dédiés à l'IoT :

– **TinyML** :

- * Environnements embarqués contraints avec logiciels ML spécifiques
- * Microcontrôleurs dotés d'un microNPU (Neural Processing Unit) matériel pour accélérer les calculs
- * Microcontrôleurs équipés de microNPU avancés pour l'efficacité énergétique (calcul en mémoire)
- **EdgeAI** :
 - * Systèmes Linux contraints avec logiciels IA performants
 - * Systèmes Linux embarqués avec différentes familles de miniGPU (par ex. Nvidia Jetson)
- **CellularAI** :
 - * Systèmes Linux de niveau smartphone avec puces performantes pour communication cellulaire et accélération matérielle IA
- Offrir un système d'instrumentation dédié (cellulaire et embarqué), et éventuellement un banc de test cohérent.

3.3.2 Actions réalisées

La plateforme NGC-AIoT comprend actuellement plusieurs salles réparties entre les deux sites de NGC-AIoT : Télécom Paris (à Palaiseau) et Inria Saclay (bâtiment Turing, à Palaiseau) :

- À Télécom Paris, une salle isolée dans une chambre anéchoïque (entre autres, avec une large variété de stations de base cellulaires), ainsi qu'une autre salle traditionnellement dédiée au site IoT-LAB de Télécom Paris (hors de la salle anéchoïque, considérée comme "outdoor" d'un point de vue réseau cellulaire).
- À Inria Saclay, une salle dédiée à NGC-AIoT (comme la suite de 5G-mMTC-LAB). Pour l'instant, la connectivité cellulaire n'est pas disponible sur ce site.

Les actions pour NGC-AIoT ont consisté à avancer sur les étapes les plus risquées et à aller jusqu'à faire une première preuve de concept qui regroupe conceptuellement l'ensemble de ce que va offrir au final NGC-AIoT (voir section 3.3.4). Les investissements sont prévus à l'avenir, après cette validation de la faisabilité des déploiements prévus.

Les actions qui ont été réalisées sont notamment (non-exhaustivement) :

- L'acquisition d'une licence pour la bande expérimentale B38 (2.6 GHz TDD LTE) pour couvrir le bâtiment de Télécom Paris (indoor/outdoor).
- Les premiers essais et premiers déploiements de stations de base, pouvant couvrir la zone de Télécom Paris hors de la chambre anéchoïque de Télécom Paris. La partie réseau d'accès (RAN) est prévue avec de l'équipement BACells et Rapspace (déjà testé et avec trois stations déployées pour l'instant), la partie réseau coeur étant Open5GS ou Amarisoft (au choix).
- Plusieurs itérations de réaménagement de la chambre anéchoïque de Télécom Paris, y compris climatisation de la salle, réorganisation du infrastructure serveur, réseau filaires, réseaux cellulaires d'accès, coeur de réseau, etc.
- Début du réaménagement de la salle IoT-LAB de Télécom Paris, qui accueille donc déjà des noeuds IoT-LAB, et plus tard accueillera typiquement des Raspberry Pi ou d'autres noeuds Edge AI, avec des connections cellulaires IoT.
- Aménagement d'une salle chez Inria Saclay pour NGC-AIoT (après 5G-mMTC-LAB), libérée après la réorganisation des trois salles du site IoT-LAB de Saclay.
- Le premier développement de l'ensemble logiciel de gestion de la plateforme NGC-AIoT à Inria Saclay, et deux premiers déploiements de cette version de la plateforme.
- Le déploiement d'une preuve de concept complète de NGC-AIoT dans la chambre anéchoïque de Télécom Paris qui inclut tout le système de réservation.

Une des stratégies, plus particulièrement pour la partie IoT équipement du côté client/UE, est d'hériter et de s'intégrer au mieux dans les plateformes existantes (IoT-LAB historique, 5G-mMTC-LAB) et construction (SLICES-FR). L'héritage et les liens avec ces autres initiatives sont représentés sur la figure 5.

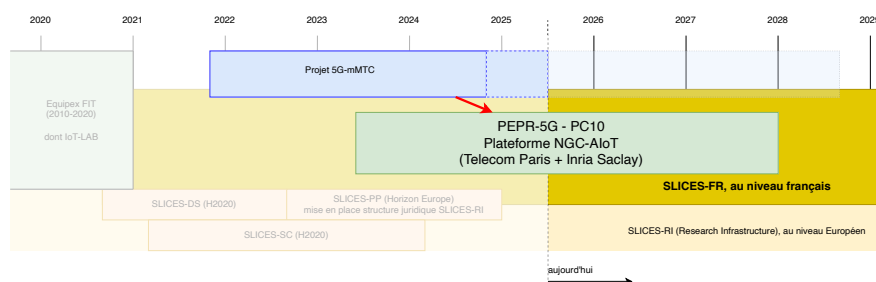


Figure 5: Historique et contexte de NGC-AIoT

Concrètement, la plateforme est une continuation de différentes plateformes développées dans d'autres contextes, comme 5G-mMTC-LAB (développée dans le cadre du projet [BPI 5G-mMTC](#), ou IMT SDR Lab (pour la partie cellulaire, stations de base, et réseaux coeur).

Toute la partie plateforme "nœuds IoT plus contraints/UE" (par opposition à l'infrastructure station de base cellulaire, accès et coeur de réseau), hérite de la plateforme 5G-mMTC-LAB, qui elle-même est cousine de FIT IoT-LAB. 5G-mMTC-LAB (et donc NGC-AIoT) reprend des briques de base de IoT-LAB qui sont publiques et en logiciel libre. Concrètement, 5G-mMTC-LAB (et donc pour cette partie, la version actuelle de NGC-AIoT) a repris le portail web, ainsi que l'API de IoT-LAB, et les a complétés par de nouvelles briques de base : notamment, la partie "système de réservation", "accès VPN à une VM", "plateforme physique" avec les nouveaux nœuds EdgeAI (notamment Linux). Les briques logicielles pour des scénarios d'inférence distribuée ("Split Computing") sont aussi disponibles.

L'objectif est de rendre publique en logiciel libre la partie infrastructure des nœuds IoT/UE pour NGC-AIoT. Elles sont dérivées des premières briques de 5G-mMTC-LAB qui elle-mêmes en logiciel libre sont/seront disponibles à [Github de 5G-mMTC-LAB](#); (actuellement seul "system manager" est public, après la fin de leur mise en forme, tous les autres modules le seront aussi).

La convergence avec les plateformes SLICES-FR est un objectif important de notre point de vue, en particulier pour cette dernière partie IoT/UE. Comme la partie plateforme de NGC-AIoT reprend des APIs de IoT-LAB ou similaires à celles de IoT-LAB, elle est liée aussi à l'intégration de la partie plateforme de IoT-LAB dans SLICES-FR. Nous espérons pouvoir continuer à suivre et contribuer à cette intégration.

3.3.3 Premières versions des plateformes, et prototypes

Il y a plusieurs parties dans la plateforme NGC-AIoT, dont bien sûr la partie infrastructure du réseau cellulaire. La figure 6 représente une première vue de la chambre anéchoïque de Télécom Paris dans laquelle plusieurs stations de bases sont disponibles, ainsi que l'étude de la couverture extérieure (hors chambre) du réseau extérieur en cours de déploiement. Du point de vue des utilisateurs, une infrastructure cellulaire (réseau d'accès et réseau coeur) sera transparente, et une partie est déjà disponible sur le site de TélécomParis.

Par ailleurs, l'objectif est de pouvoir permettre de réaliser des expériences scientifiques avec un peu plus qu'un simple accès cellulaire en mode "boîte noire", et d'offrir une instrumentation permettant d'interpréter les événements au niveau du réseau d'accès cellulaire. La figure 7 représente un exemple de récupération d'informations via les outils offerts par la plateforme (sur cet exemple avec Amarisoft), ici les informations d'allocations de "Ressource Blocks" par la station de base, ainsi que l'observation de la signalisation (sur différentes couches) au niveau du gNodeB. L'objectif est à terme de donner l'accès à ces informations aux utilisateurs.

La partie infrastructure cellulaire est bien sûr importante, et aussi vouée à évoluer, mais nous nous concentrons dans le reste de cette section sur la partie IoT/UE.

L'architecture de la partie UE de la plateforme NGC-AIoT est représentée sur la figure 8

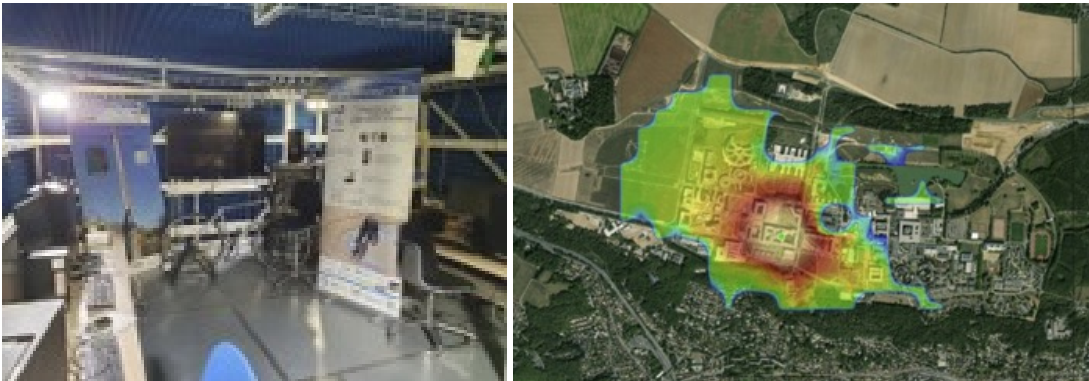


Figure 6: À gauche, vue de la chambre anéchoïque (première version des déploiements cellulaires à Télécom Paris). À droite, vue de l'étude de la couverture des stations de base "outdoor" en cours de déploiement

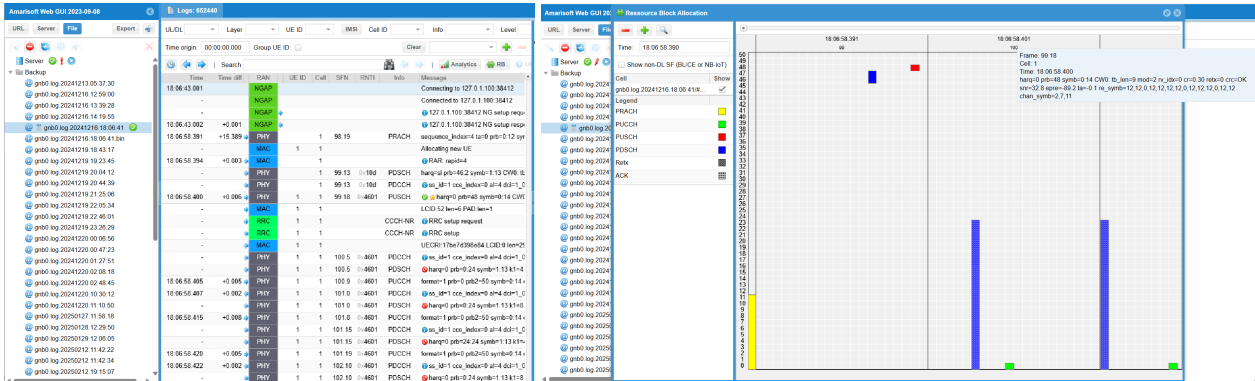


Figure 7: Deux exemples de logs/d'instrumentations offerts par le réseau d'accès et le réseau cœur Amarisoft

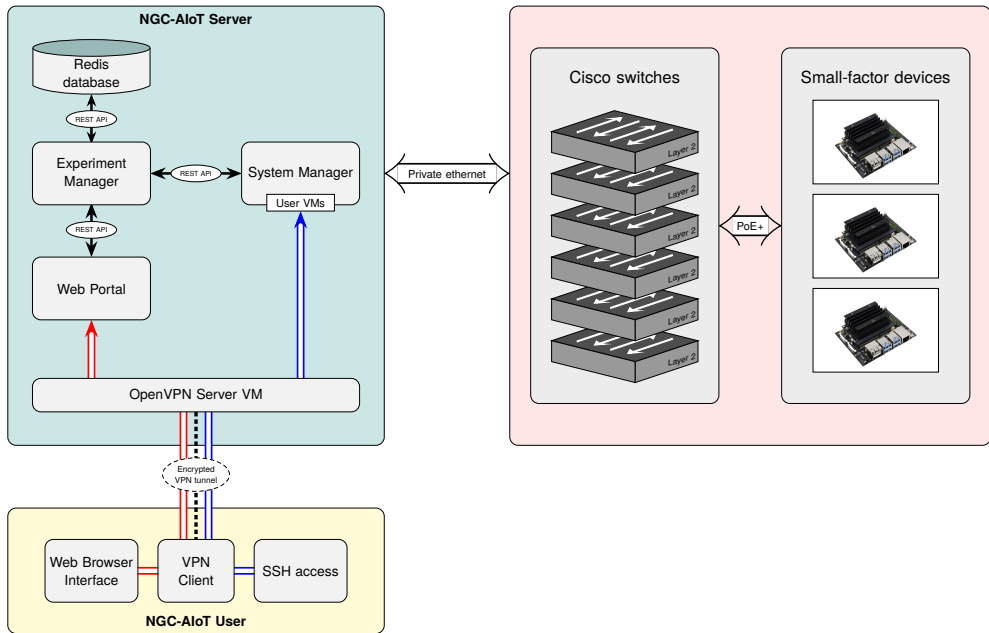


Figure 8: Architecture des plateformes NGC-AIoT (à Saclay et à Telecom Paris), hors connectivité cellulaire

- Un serveur Linux central hébergeant des machines virtuelles utilisateurs, connecté au commutateur Ethernet de couche 2 principal.
- Des nœuds Linux embarqués (par exemple Raspberry Pi, Intel NUC) dotés de périphériques USB pour les expérimentations et l'interfaçage de capteurs.
- Des dispositifs edge dotés de capacités IA et d'accélération GPU (par exemple NVIDIA Jetson Nano, Xavier) pour supporter le traitement local et les charges de travail de machine learning.
- Des serveurs Linux supplémentaires dédiés aux tâches de traitement intensif telles que l'analyse vidéo et la gestion des flux de données.

D'un point de vue utilisateur, l'accès se fait comme représenté sur la figure 9. De façon plus précise, il se fait par un premier filtre avec une connexion VPN, qui actuellement est manuellement configurée (échange entre les utilisateurs et les administrateurs). Après une réservation faite sur un portail, une VM est lancée pour l'utilisateur, un sous-réseau (avec un seul VLAN) est disponible et l'utilisateur peut accéder à ses ressources, qui sont les nœuds IoT avec support d'IA, des Jetsons avec Linux actuellement.

Les nœuds Linux AIoT ont un répertoire partagé (comme les nœuds `iotlab-a8-m3` de IoT-LAB) qui est servi par la VM de l'utilisateur. Optionnellement, pour les utilisateurs privilégiés, l'accès direct à la VM avec `ssh` peut être rendu possible.

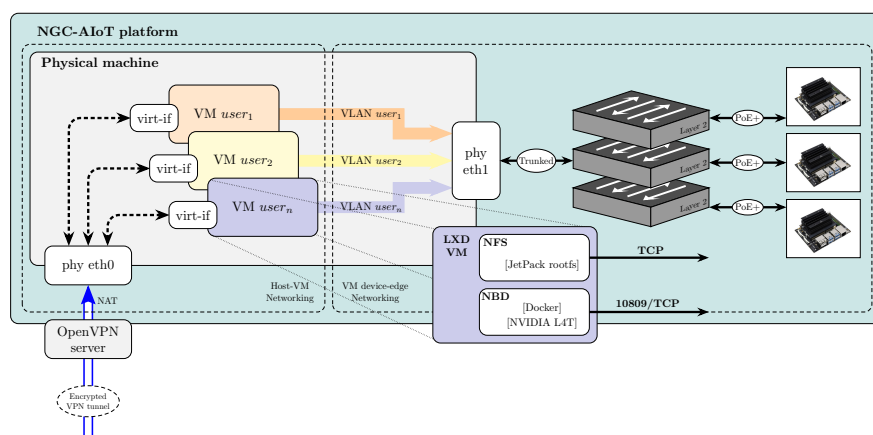


Figure 9: Vue de l'utilisateur lors d'un accès à NGC-AIoT. La gestion des comptes initiale (accès VPN) est encore manuelle, ensuite l'accès se fait via un portail web et `ssh`.

Cette architecture a été déployée dans des salles à Inria Saclay (une plateforme de "production" stable et une plateforme de test et debug). Le déploiement actuel contient (au 1^{er} juin 2025):

- 6 Jetson Nano,
- 5 Jetson Xavier-NX,
- 2 Jetson Orin-NX
- 6 Jetson TX2-NX
- 1 Jetson AGX (32 Go)
- 5 Raspberry Pi (pour plus tard, pour ajouter des microcontrôleurs avec NPU)
- plusieurs dizaines d'emplacements libres pour des nœuds futurs.

Des vues du déploiement actuel de NGC-AIoT dans le bâtiment d'Inria Saclay sont dans la figure 10.

Le déploiement d'une preuve de concept complète de NGC-AIoT dans la chambre anéchoïque de Télécom Paris incluant un serveur indépendant est représentée sur la figure 11. Elle contient :

- Une installation indépendante du système de réservation et gestion de la plateforme complet NGC-AIoT/5G-mMTC-LAB ("IoT-LAB in a box") dans un mini-PC.

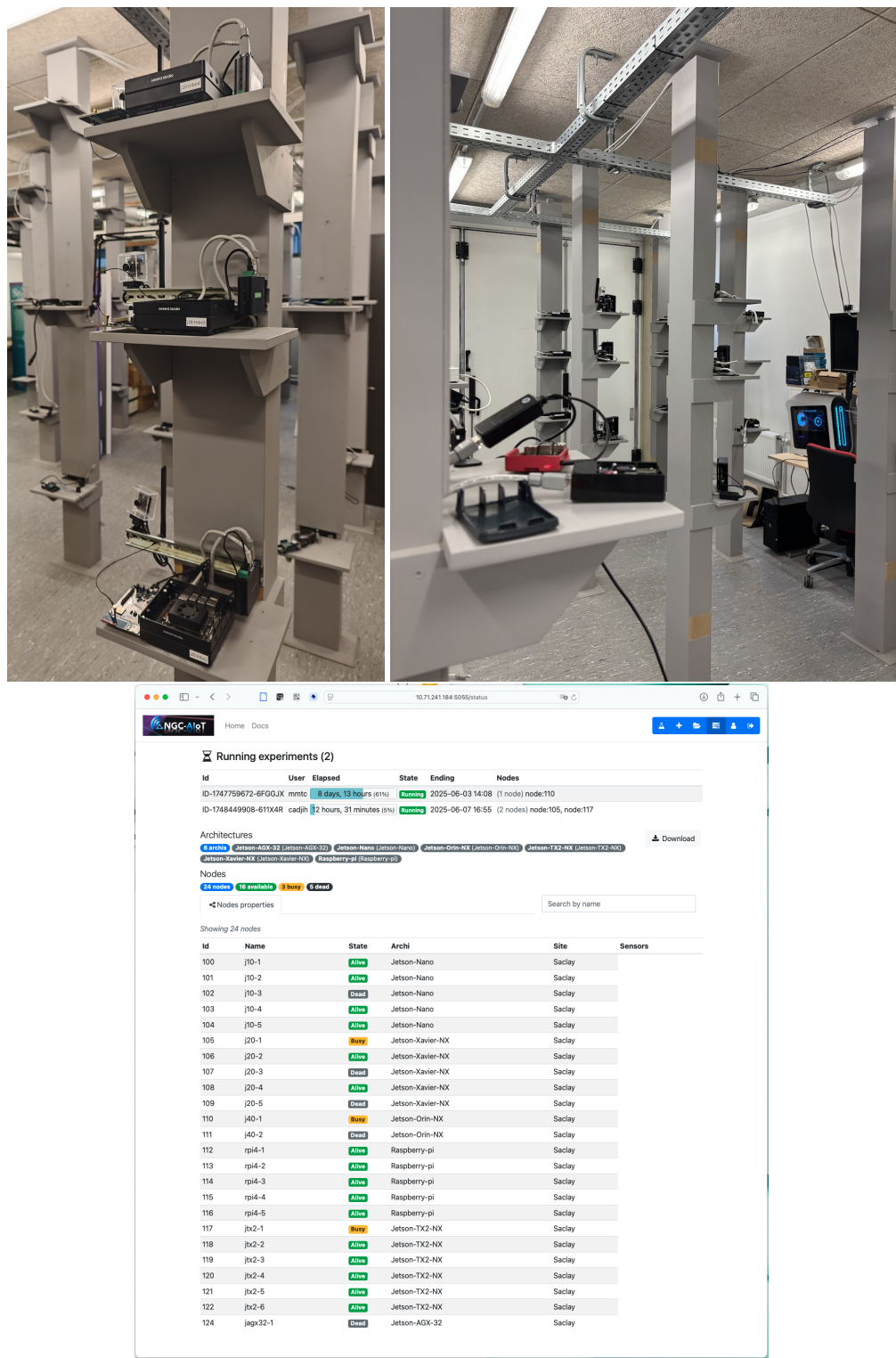


Figure 10: Prototype de plateforme NGC-AIoT déployée à Inria Saclay (février/mai 2025), et interface de réservation de NGC-AIoT (après connexion VPN)

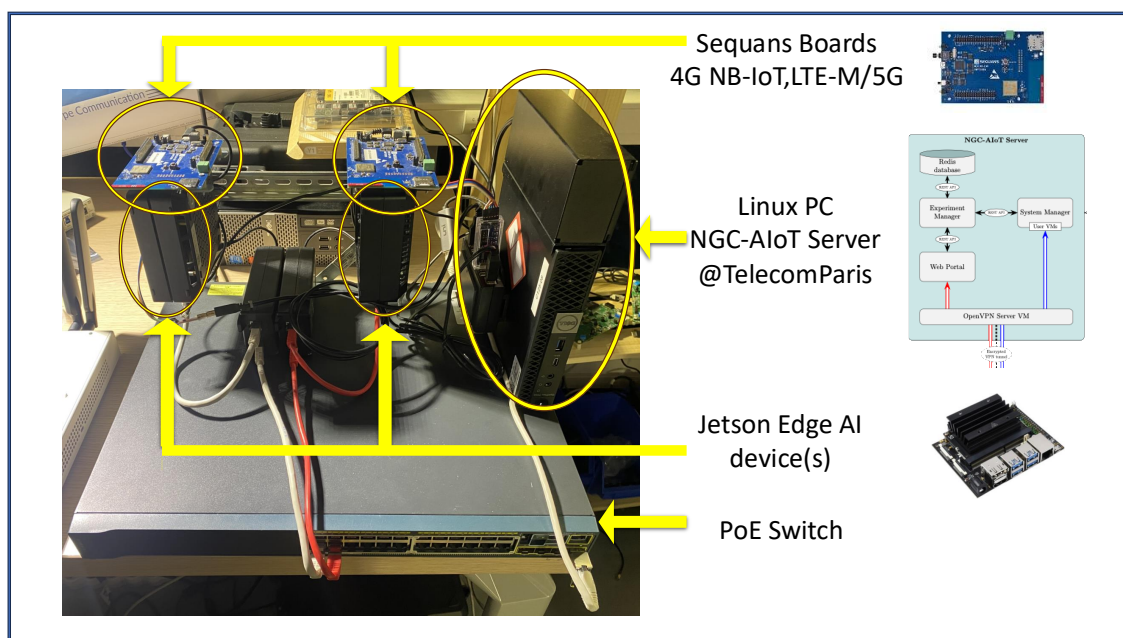


Figure 11: Prototype de plateforme complete NGC-AIoT déployée à Télécom Paris (Mai 2025).

- Deux Jetsons (système Linux) avec chacune un chip radio Sequans NB-IoT/LTE-M qui se connecte aux stations de base de Telecom Paris, leur donnant une (seconde) connectivité Internet par le biais de cette connexion cellulaire (à des fins d'expérimentation).
- Un switch Ethernet PoE pour permettre aussi le redémarrage des Jetsons.

Il est accessible après autorisation (VPN de TélécomParis puis VPN de NGC-AIoT@TélécomParis)

3.3.4 Expérimentations, et démonstrations

Plusieurs démonstrations ont été déjà réalisés, soit des briques de bases, soit de l'ensemble, notamment :

- Lors de la semaine scientifique commune aux PEPR Electronique et Réseaux du futur en [mars 2024](#).
- À la conférence European Microwave Week, EuMW 2024 en [septembre 2024](#).
- Des démonstrations sont prévues pour les journées annuelles du PEPR Réseaux du Futur en 2-4 juin 2025.

Une démonstration des plateformes à la fois à Télécom Paris et à Inria Saclay est prévue en particulier pour les journées PEPR-RdF en juin 2025. Elle reprend les éléments des démonstrations passées avec d'une part l'aspect plateforme, et d'autre part un cas d'usage d'IA embarquée avec de l'inférence distribuée, voir figure 12.

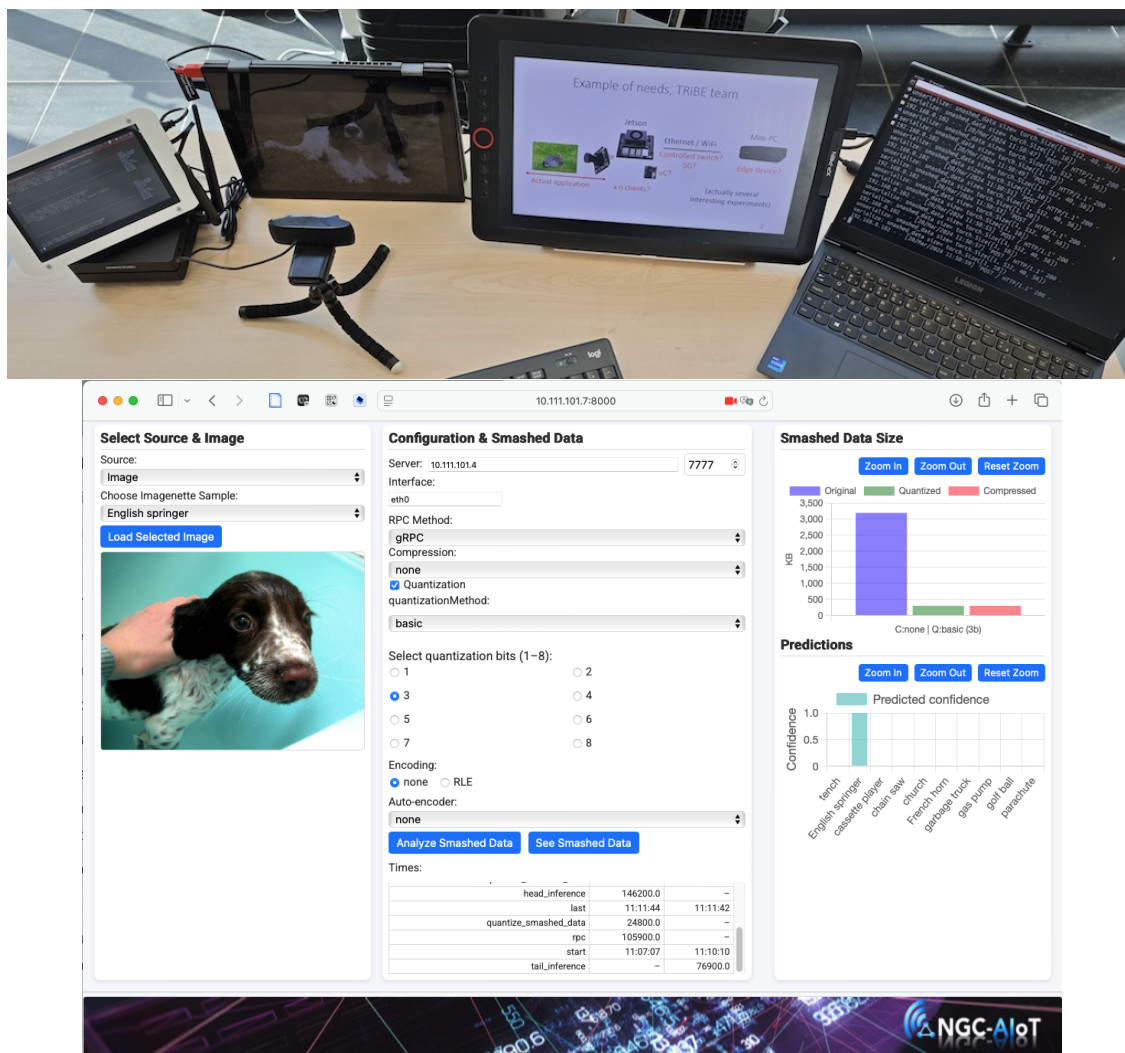


Figure 12: En haut, démo du cas d'usage inférence distribuée avec IA embarquée à la plénière de mars 2024. En bas, démonstration prévue pour celle de juin 2025 entièrement à distance : la même expérience d'inférence distribuée "split-computing", mais à distance, entre une Jetson de Saclay et un serveur IA

3.3.5 Mise à jour du planning de réalisations

Titre	Nov. 2023	01- mai- 24	01- nov- 24	mai- 25	01- nov- 25	mai- 26	mai- 27	Nov. 2027
T1 : Etude technique	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
T2 : Mise en oeuvre réseau d'accès en bande B38 indoor	10%	50%	70%	90%	100%	100%	100%	100%
T3 : Mise en oeuvre Plateforme IA et IA embarquée	5%	10%	20%	30%	40%	85%	PAP	PAP
T4 : Intégration dans portail d'accès	PAP	PAP	10%	20%	40%	100%	100%	100%
T5 : Interconnexion à SLICES-FR	PAP	PAP	PAP	PAP	10%	60%	PAP	PAP

PAP : Période d'activité prévue (non encore commencée)

La construction de la plateforme est en bonne voie, comme indiqué dans les parties précédentes : des premiers prototypes de l'ensemble des éléments, à la fois la partie embarquée, et la partie cellulaire, ont été démontrés, et ont fourni de solides bases pour la construction des versions futures et finales de la plateforme.

Différentes évolutions techniques et technologiques peuvent influencer sur le contenu et les détails des noeuds qui seront offerts ; par exemple, la popularité des LLMs, ou encore de la robotique, a poussé l'intérêt vers des noeuds Edge-AI plus puissants (Linux/Android), peut-être au détriment de la partie microcontrôleur (TinyML). Ceci est vrai aussi pour les téléphones.

Une partie aussi importante, sera d'itérer les fonctionnalités finales, offertes aux utilisateurs.

L'intégration de NGC-AIoT dans l'infrastructure de SLICES-FR (de préférence avec intégration avec IoT-LAB, à côté de IoT-LAB), est la partie qui doit encore être définie, en partie aussi parce que l'infrastructure SLICES-FR est en construction. Par le choix d'utiliser pour la partie IoT/UE, les mêmes APIs que IoT-LAB, devrait faciliter grandement cette intégration.

3.4 Recensement des besoins du PEPR en vue de l'utilisation de l'ensemble des plateformes

3.4.1 Campagne de recensement des besoins

PC	Type d'expérimentation/caracté	Sous-catégorie d'expérimentation	Mini-descriptif de l'expérimentation (scénario / usage)	Nature de caractérisation RF-Net	Mini-descriptif de la caractérisation
PC3	Caractérisation : RF-Net			Caractérisation de matériaux sous conditions spécifiques d'environnement	Mesures du comportement des substrats biosourcés sous contrainte thermique due aux amplificateurs de puissance
PC8	Expérimentation SLICES-5G :	Autre (A préciser col. suivante)	Simulation d'attaques ciblant le plan de contrôle de la 5G à l'échelle d'un réseau complet. Exemple : Une attaque DoS visant le cœur 5G		
PC8	Autre	Autre (A préciser col. suivante)	Caractérisation du coût énergétique, de la latence et du débit en fonctions des différentes méthodes/politiques de chiffrement des flux dans le réseau		
PC3	Caractérisation : RF-Net	Autre (A préciser col. suivante)	Sondeur canal cell-free massive MIMO pour véhiculaire		
PC4	Caractérisation : RF-Net		Mesures paramètres S et diagrammes antennes en bande MM	Diagrammes de rayonnement (2D et/ou 3D)	

PC	Type d'expérimentation/caracté	Sous-catégorie d'expérimentation	Mini-descriptif de l'expérimentation (scénario / usage)	Nature de caractérisation RF-Net	Mini-descriptif de la caractérisation
PC4	Caractérisation : RF-Net	Autre (A préciser col. suivante)	Caractérisation d'un déphaseur actif à 26 GHz	Mesures grand signal	Mesure du déphasage généré par le déphaseur actif à 26 GHz
PC4	Caractérisation : RF-Net	Autre (A préciser col. suivante)	Caractérisation d'un déphaseur actif à 26 GHz	Mesure de Bruit	Mesure du bruit de phase du déphaseur actif
PC3	Expérimentation : SLICES-CouchePhy		Experimentation NOMA avec radio logicielle: plusieurs émetteurs simultanés sur des ressources temps-fréquence identiques. Un "planing" des transmissions est prédéfini; il suivi par les émetteurs, le résultat de l'expérience étant la bande de base enregistrée par le(s) récepteur(s)		
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisations d'amplificateurs de puissance en bande Ka et commutations rapides	Mesure de Paramètres S (circuit)	Mesure de Paramètres S sous pointes jusqu'à 50GHz
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisations d'amplificateurs de puissance en bande Ka et commutations rapides	Mesures grand signal	caractérisation de linéarité jusqu'à 40-50GHz

PC	Type d'expérimentation/caracté	Sous-catégorie d'expérimentation	Mini-descriptif de l'expérimentation (scénario / usage)	Nature de caractérisation RF-Net	Mini-descriptif de la caractérisation
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisations d'amplificateurs de puissance en bande Ka et commutations rapides	Mesures temporelles	Mesures de performances avec signaux complexes
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisations d'amplificateurs de puissance en bande Ka et commutations rapides	Mesures temporelles	Mesures de performances avec signaux complexes
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisation de Transistors et d'amplificateurs GaN	Mesure de Paramètres S (circuit)	
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisation de Transistors et d'amplificateurs GaN	Mesures grand signal	
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisation de Transistors et d'amplificateurs GaN	Mesures temporelles	
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisation de Transistors et d'amplificateurs GaN	Mesures spécifiques composants contrôlés en tension/courant	

PC	Type d'expérimentation/caracté	Sous-catégorie d'expérimentation	Mini-descriptif de l'expérimentation (scénario / usage)	Nature de caractérisation RF-Net	Mini-descriptif de la caractérisation
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisation de Transistors et d'amplificateurs GaN	Caractérisation de signaux numériques / logiques	
PC4	Caractérisation : RF-Net		Mesure permittivité complexe de PCB en fréquence	Caractérisation de matériaux diélectriques	Plusieurs campagne de caractérisation jusqu'à 50GHz
PC4	Caractérisation : RF-Net		Mesures 4 ports jusqu'à 40-50GHz	Mesure de Paramètres S (circuit)	Mesures connectées ou sous pointes 4 ports
PC4	Caractérisation : RF-Net		Mesures d'un bord piloté	Mesures grand signal	
PC5	Caractérisation : RF-Net		Mesure permittivité complexe de PCB en fréquence	Caractérisation de matériaux diélectriques	Plusieurs campagne de caractérisation jusqu'à 200GHz
PC5	Caractérisation : RF-Net		Mesures 2 ports sub millimétrique (200- >500GHz?)	Mesure de Paramètres S (circuit)	Mesures sous pointes 2 ports

PC	Type d'expérimentation/caracté	Sous-catégorie d'expérimentation	Mini-descriptif de l'expérimentation (scénario / usage)	Nature de carac si carac RF-Net	Mini-descriptif de la caractérisation
PC1	Expérimentation mixte : SLICES-Cloud-Edge / RF-Net	Autre (A préciser col. suivante)	Expérimentation pour connectivité et services de bout en bout. Hébergement de services, applications, codes, conteneurs, microservices avec partenaires agissant en tant que tenant et fournisseurs et manageurs de Slices as a Service. Hébergement de slice avec possibilité de collecte de métriques et de données de monitoring venant des plateformes elle mêmes? Quels sont les services de monitoring disponibles et quel est la nature du middleware de communication et de collecte de ces métriques (KPIs, KQIs ?). Remontées de métriques de consommation énergétique souhaitées.		
PC1	Expérimentation : SLICES-5G	Autre (A préciser col. suivante)	Idem- Identique à ligne du dessus. Mais pour la partie RAN et réseau coeur (quelles sont les technologies transport pour le coeur ?).		

PC	Type d'expérimentation/caracté	Sous-catégorie d'expérimentation	Mini-descriptif de l'expérimentation (scénario / usage)	Nature de caracté si caract RF-Net	Mini-descriptif de la caractérisation
PC1	Expérimentation mixte : SLICES-Cloud-Edge / RF-Net	Autre (A préciser col. suivante)	Accès à la suite OAI demandé par certains partenaires. Nature de l'interface OAI nord. Nature des templates pour exprimer des requêtes d'accès aux ressources et services OAI.		
PC4	Caractérisation : RF-Net			Caractérisation de matériaux magnétiques	Mesure de la largeur de raie à mi-hauteur (DeltaH / pertes magnétiques) de ferrites
PC4	Caractérisation : RF-Net		Caractérisation en puissance de circulateurs sur 3 ports	Mesures grand signal	Mesure en puissance en bande Ka
PC5	Caractérisation : RF-Net	Autre (A préciser col. suivante)	Caractérisation de matériaux en bande sub-THz et THz en transmission et réflexion, résolues en angles, polarisation, en conditions atmosphériques variables (température et humidité)	Caractérisation de matériaux sous conditions spécifiques d'environnement	Mesure de la permittivité diélectrique (parties réelle et imaginaire)

4 Conclusion

L'activité du volet plateformes du PEPR RdF évolue de façon nominale depuis la notification du contrat attributif d'aide, avec un léger retard dans le planning de quelques mois tout au plus, en raison des procédures de marché public et des délais de recrutement. Les plateformes SLICES-Fr et NGC-AIoT ont réalisé des investissements importants (à poursuivre). L'ouverture en pré-opération du SophiaNode en novembre 2024, comme pilote pour SLICES-FR, a permis d'acquérir les compétences suffisantes pour une entrée en production à l'été 2026. À ce jour, 145 chercheurs et étudiants ont déjà utilisé la plateforme SophiaNode et produit plus de 800 artéfacts de recherche.

Les interactions avec l'ensemble des projets ciblés ont permis d'affiner les stratégies des différentes plateformes, tant en ce qui concerne les équipements acquis ou à acquérir qu'en matière de développement. L'analyse des besoins réalisée a joué un rôle clé à ce titre.

Concernant NGC-AIoT, les objectifs opérationnels ont été atteints. NGC-AIoT a produit le démonstrateur final, qui constitue la preuve de concept attendue. L'intégration dans SLICES-FR, qui ne faisait pas partie des objectifs de NGC-AIoT, va être étudiée (verrous techniques de passage à l'échelle, verrous budgétaires) en vue d'un déploiement opérationnel.

De son côté, le réseau RF-Net s'est structuré afin d'offrir à la communauté radiofréquence des services de caractérisation qui seront indispensables lors des phases de validation (preuves de concept) des briques technologiques associées aux différents projets du PEPR. À ce titre, l'analyse des besoins a conduit le réseau à bâtir un projet d'investissements (à réaliser en 2026) pour faire face aux différentes évolutions technologiques en cours et aux besoins de caractérisation associés, notamment dans le contexte de la montée en fréquence (millimétrique, sub-THz) pour la caractérisation de matériaux, de circuits actifs, de tests de surfaces reconfigurables intelligentes et de canaux de propagation en configuration "cell-free".