

Projet de renouvellement de la chaire

« Systèmes de Télécommunications »

Intitulé proposé : Chaire Systèmes de Télécommunications

Cette chaire est proposée par l'EPN03 qui sollicite la reconduction de la Chaire Systèmes de Télécommunications dans la perspective du départ à la retraite, en Septembre 2022, du professeur Daniel Roviras, actuel titulaire de la Chaire. Cette chaire concerne principalement les couches dites « physique » et « d'accès (Media Acces Control ou MAC) » des réseaux de télécommunications. La couche physique regroupe les technologies permettant le transport de l'information d'un ou plusieurs émetteurs vers un ou plusieurs récepteurs. La couche MAC concerne les technologies permettant l'accès au réseau. Cette chaire ne concerne pas les couches supérieures des réseaux qui sont traitées au sein de l'EPN05 (ex chaire réseaux, chaire cybersécurité..).

EPN : 03 (Electronique Electrotechnique Automatique Mesure)

Laboratoire : CEDRIC (Equipe LAETITIA)

Domaines d'expertises, mots-clés :

Télécommunications, Radiocommunications, Traitement du signal, Couche physique et couche d'accès des réseaux, Réseaux sans fil, Réseaux mobiles, Réseaux cellulaires post-5G et 6G, Couche physique de l'Internet des Objets (IOT, IIOT), Industrie 4.0, Liaisons optiques, Liaisons millimétriques, Liaisons Térhertz, Modèles de propagation, Efficacité énergétique et Maîtrise de l'empreinte carbone, Récolte d'énergie, Sécurité de la couche physique, Intelligence Artificielle pour les communications et pour l'allocation dynamique des ressources, Techniques Multi-Antennes (SIMO/MISO/MIMO/MIMO massif), Lutte anti-interférences, Surfaces intelligentes reconfigurables, Electronique numérique, Electronique embarquée.

Etat de l'art au CNAM, à Hesam, en France, à l'international :

CNAM : Diplôme d'Ingénieur Télécoms et Réseaux (HTT), Diplôme d'Ingénieur en Systèmes Electroniques, Télécommunications et Informatique (SETI – FIP), Master Systèmes de Télécommunications Mobiles (HTT), Master International Télécommunications et Réseaux (TO), Master Systèmes de Télécommunications hautes fréquences (TO avec l'université de Marne-La-Vallée), Mastère Techniques de Radiocommunications (HTT)

Hesam : RAS

France : Diplômes d'Ingénieurs de Grandes Ecoles (Telecom Paris, IMT Atlantique, EURECOM, CentraleSupélec, ISEN, ISEP, INSA Rennes, ENSERB, ENSEEIHT..) ou d'universités (Université de Troyes...), Master 2 Réseaux et Télécoms (Université Paris-Saclay), Master Réseaux et Télécommunications (Université de Reims), Master Télécommunications et Réseaux Informatiques (Université Savoie Mont-Blanc), Master 2 Réseaux et Télécommunications (Université Aix-Marseille), Master Ingénierie des Réseaux de Communications Mobiles et Sécurité (Université de Valenciennes)..

International : Une cinquantaine d'universités américaines (Pittsburgh, Virginia, California, Colorado, Florida etc..), une dizaine d'universités anglaises (London, Newcastle, Leeds, York, Surrey etc..), 6 universités suédoises (Chalmers, KTH Royal Institute of Technology etc..), des universités Belges (Université Catholique de Louvain etc ...), Italiennes (Gênes, Bologne, Sienne, Milan etc..), allemandes (Ilmenau, Munich, Erlangen ..) etc... proposent des formations en Télécommunications.

Résumé, incluant enjeux et impact économique et sociétal :

Dans le contexte d'un marché mondial du numérique en pleine croissance (orchestré par les américains et les asiatiques), et en dépit de la stagnation du numérique en Europe, la France est le pays européen qui investit le plus dans le secteur des télécommunications. A titre indicatif, sur les dix dernières années, le montant des investissements de l'ensemble des opérateurs de services de télécommunications en France s'élève à 89.2 Milliards d'Euros, dont 7.2 Milliards d'Euros pour l'achat des fréquences.

En 2019, la France est le pays d'Europe qui a le plus investi par habitant dans les télécommunications. Cet investissement concerne principalement les infrastructures de télécommunications, hors achat de fréquences, pour un montant qui s'élève à 10.4 Milliards d'euros dont 2.4 Milliards pour les réseaux mobiles. Les principales tendances concernent le déploiement du très haut débit (4.8 millions de locaux ont été raccordés à la fibre optique en 2019), le raccordement des territoires (multiplication par 3 en 3 ans du déploiement de la fibre dans les zones moins denses), le déploiement des réseaux mobiles (4G et 5G : avec près de 84 millions d'antennes 4G et 18 millions d'antennes 5G déployées au 31/12/20), l'essor de la donnée mobile (avec plus de 10 Go consommés par mois par utilisateur 4G au 31/12/20, soit 375 h de streaming de musique ou 10 h de streaming video).

Ce développement s'effectue avec un impact environnemental maîtrisé (les gaz à effets de serre (GES) des réseaux des opérateurs français représentent 0.4% des émissions de GES totales en France) et avec une efficacité énergétique croissante (les réseaux de télécommunications absorbent 0.8% de la consommation d'électricité en France en 2020). Ainsi les télécommunications sont l'une des solutions aux défis environnementaux actuels et futurs.

Par ailleurs, la transition des usages du numérique, qui a été très fortement accélérée par la crise sanitaire avec le développement du télé-travail, du télé-enseignement, de la télé-médecine, du e-commerce et du divertissement en flux continu, est fortement dépendante de la qualité, de la fiabilité et de la disponibilité des artères de communication. Ces dernières doivent privilégier, selon les usages, soit un très haut débit, soit un très faible temps de réponse, soit enfin une très faible consommation électrique.

Parallèlement, les systèmes de télécommunications mobiles évoluent en permanence, en particulier depuis la fin des années 1980 avec l'avènement de la deuxième génération (2G) de téléphonie mobile. On déploie actuellement la cinquième génération (5G) et les premières études sur la sixième génération (6G) ont commencé. Selon le président de la FIEEC, la 5G et la fibre constituent le système nerveux de l'industrie et des services en France pour les 15 prochaines années. Selon le livre blanc sur la 5G : celle-ci est une priorité pour la France par les enjeux économiques, sociétaux et environnementaux qu'elle représente mais aussi parce qu'elle peut redonner un souffle nouveau à la compétitivité de l'industrie française.

D'un point de vue industriel ces évolutions de génération de réseaux se traduisent par des besoins d'investissements très importants et la guerre commerciale est particulièrement intense dans ce domaine. Elle est même politisée (relations Sino-Américaine autour du cas de l'industriel Huawei) car l'accès à l'information et aux données est un enjeu de souveraineté et d'indépendance majeur.

Dans cette guerre économique l'industrie européenne a subi plusieurs évolutions. Les équipementiers grand public ont eu du mal à suivre les offensives commerciales portées par les Etats Unis, la Chine et la Corée. La société française Alcatel a ainsi dû fusionner avec la société finlandaise Nokia. Mais parallèlement, des opérateurs européens de télécommunications, comme la société Orange, se sont développés et sont devenus des acteurs internationaux très importants. Dans le domaine de la Défense nationale, des sociétés comme Thales, leader européen dans le domaine des systèmes d'information et

de communications sécurisés, sont garantes d'une indépendance technologique et d'une souveraineté stratégique de la France dans le domaine des systèmes de Télécommunications militaires.

Si on adopte une démarche prospective on remarque qu'une question très importante dans l'avenir sera de résorber la fracture numérique et d'assurer, dans tous les territoires, un accès sûr au très haut débit. Ceci sera indispensable pour lutter contre le décrochage économique de ces territoires encore souvent mal desservis par les réseaux à très hauts débits.

Des études récentes montrent qu'actuellement 15% de la population mondiale vit dans 30 immenses villes sur Terre. L'ensemble des villes de la planète concentre aujourd'hui 80% des émissions à effet de serre sur 2% de la surface du globe. Ce modèle de concentration urbaine atteint actuellement des limites et de nombreuses études préconisent un ralentissement de l'urbanisation et un retour vers les territoires. Mais ceci ne pourra se faire qu'au prix d'une réorganisation des réseaux de télécommunications, qui devront cesser de privilégier systématiquement des « hot spots » urbains ultra denses, pour adresser la question des nouvelles solutions pour des réseaux à hauts débits sur de grandes couvertures géographiques.

Il faudra pour cela agréger tout un ensemble de technologies. Il faudra développer de nouvelles ramifications des réseaux de télécommunications optiques, étudier l'interopérabilité des systèmes, proposer de nouvelles solutions d'accès radio et de nouvelles manières de gérer dynamiquement les réseaux, à base d'intelligence artificielle le cas échéant, pour les derniers kilomètres entre les réseaux et les usagers.

L'emploi dans le secteur des télécommunications restera donc toujours très important en France et en Europe. Les prévisions indiquent qu'en 2030, 50% de l'activité économique se fera dans le numérique alors que 85% des métiers qui seront exercés n'existent pas encore (rapport de Dell et de l'institut pour le futur).

Les besoins de formation et de recherche seront nombreux, comme en témoigne la signature, en 2019, d'une convention de partenariat stratégique entre l'UIMM, Orange et le CNAM. Cette convention vise à relever le défi des compétences et construire ou enrichir une cartographie d'offres de formations certifiantes de qualité et pouvant s'adapter à tout public (salariés des partenaires, alternants, créateurs de start-up, sans emploi etc..) dans le domaine du numérique et plus particulièrement dans les domaines de la cybersécurité, des datas, de l'intelligence artificielle et de la 5G. Il est ainsi vital pour le Cnam d'afficher une chaire dans le domaine des systèmes de télécommunications.

Les emplois liés à ce secteur d'activité commenceront dès le niveau Bac+1 (avec un fort besoin de techniciens d'installation et de maintenance) et seront répartis sur tout le territoire. La chaire de systèmes de télécommunications pourrait donc coordonner une offre complète de formations de niveau Bac+1 (FSS), Bac+3 (LP ou Bachelor), Bac+5 (Ingénieur et Master 2), Bac+6 (Mastère Spécialisé) en allant jusqu'au doctorat.

Il existe de nombreux établissements qui abordent la question des télécommunications en France, l'Institut Mines Télécoms (IMT) est sans aucun doute le plus connu. Cependant le Cnam, par sa présence dans tous les territoires, par sa capacité à former à tous les niveaux de qualification, par ses liens historiques avec le secteur des télécommunications et par sa proximité avec le monde industriel doit rester un acteur majeur de ce secteur.

Les activités de recherche de la chaire devront s'inscrire dans la continuité des travaux menés au sein de l'équipe LAETITIA du CEDRIC depuis deux décennies et concerneront en particulier la couche physique des réseaux civils cellulaires post 5G et 6G, des réseaux industriels (IOT, aéronautiques), des réseaux individuels (sécurité des véhicules autonomes) et des réseaux militaires sécurisés de nouvelle génération. Parmi les thématiques de recherche privilégiées au sein de l'équipe on peut citer : les formes d'onde de nouvelle génération (Post5G et 6G), les techniques permettant l'optimisation de

l'efficacité énergétique et la maîtrise de l'empreinte carbone des systèmes de Télécommunications, les systèmes multi-antennes (MIMO massifs), les liaisons millimétriques, Térabertz et optiques, la densification des réseaux via de nouvelles solutions d'accès radio dont les techniques d'accès non orthogonal, la sécurisation de la couche physique des réseaux industriels (IOT), individuels (conduite autonome ou à distance), cellulaires (6G) et militaires, la lutte anti-interférences, l'apport de l'intelligence artificielle pour les communications et pour l'optimisation dynamique de ressources en particulier, l'optimisation de l'implémentation des algorithmes sur machines...

Enfin les nouvelles formes du travail seront fortement impliquées par les possibilités offertes par les réseaux de télécommunications. Le développement de la formation à distance doit être poursuivi de manière à permettre un accès permanent aux différentes formations sur tout le territoire. Ainsi, c'est au Cnam qu'il sera possible de développer une offre de formation et de recherche adaptée en s'appuyant sur l'EPN Informatique mais aussi sur les EPN liées aux nouvelles formes du travail, au développement des territoires et à l'innovation.

Description éventuelle, dès ce stade, des missions attendues à la chaire :

(Conformément aux articles 7 et 2 du Décret n° 2019-1122 du 31 octobre 2019)

Enseignement : Diplôme d'Ingénieur Télécoms et Réseaux (HTT), Diplôme d'Ingénieur en Systèmes Electroniques, Télécommunications et Informatique (SETI – FIP), Master Système de Télécommunications Mobiles (HTT), Master International Télécommunications et Réseaux (TO), Master Systèmes de Télécommunications hautes fréquences (TO avec l'université de Marne-La-Vallée), Mastère Techniques de Radiocommunications (HTT)

· **Élaboration, développement et animation de projets et d'outils pédagogiques :** Création d'une formation supérieure de spécialisation (FSS – Bac +1) pour l'installation et la maintenance des systèmes de télécommunications (Fibre optique), Création d'une Licence Professionnelle en Télécommunications (encadrement d'équipes techniques, techniciens de l'IOT), Création potentielle d'une filière d'ingénieur en alternance en Télécommunications, Développement de nouvelles UEs en lien avec le développement de la 5G et des systèmes post 5G et 6G (Industrial IOT, Deep Learning pour les communications etc..), Formations HTT à distance, Blocs de compétences optimisés susceptibles de faciliter une reconversion via des micro-certifications, MOOCs

· **Appui au déploiement des formations du conservatoire :** Formations en HTT (Diplôme d'Ingénieur Télécoms et Réseaux) et en Alternance (Diplôme d'Ingénieur en Systèmes Electroniques, Télécommunications et Informatique (SETI)). Poursuite du développement de la formation à distance

· **Recherche scientifique ou innovation :** Formes d'onde de nouvelle génération, Accroissement de l'efficacité énergétique (Récolte d'énergie, Diminution du PAPR, Prédistorsion des amplificateurs de puissance, MIMO massif..), Techniques multi-antennes (SIMO, MIMO, MIMO massifs), Liaisons millimétriques, optiques, Térabertz, Liaisons non filaires sécurisées et robustes aux interférences, Densification des réseaux, Accès multiple non orthogonal, Apport de l'intelligence artificielle en télécommunications et pour la gestion dynamique des réseaux, Communications quantiques, Sécurisation de la couche physique, lutte anti-interférences, Implémentations sur DSP, FPGA.

· **Diffusion de la culture et de l'information scientifique et technique :** Organisations de séminaires, Workshops, Conférences nationales et internationales

· **Développement de liens et de collaborations avec le monde socio-économique :** Collaborations renforcées avec les opérateurs de communications (Orange etc ..), avec les acteurs du monde industriel des Télécommunications (Sequans, Alcatel-Lucent, Huawei..), de la Défense (Thales, Airbus,..), de l'industrie automobile (Renault, PSA..)

· **Contribution à la vie collective du conservatoire :**

Participation aux instances

Auteur(e)s de la proposition :

Pascal Chevalier après consultations :

- internes à l'équipe EASY de l'EPN03 (C. Algani, D. Le Ruyet, T. Raissi, D. Roviras, M. Terre)
- des PRCMs de l'EPN03 (Marc Himbert, Mathieu Moze, Jean-Luc Thomas)
- internes à l'EPN05 (V. Legrand, S. Secci)
- internes au CNAM en régions (S. Bruyère (PACA), L. Buchon (Bretagne))
- externes au CNAM (B. Cardinael (Orange))