



**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**TAF 10B**

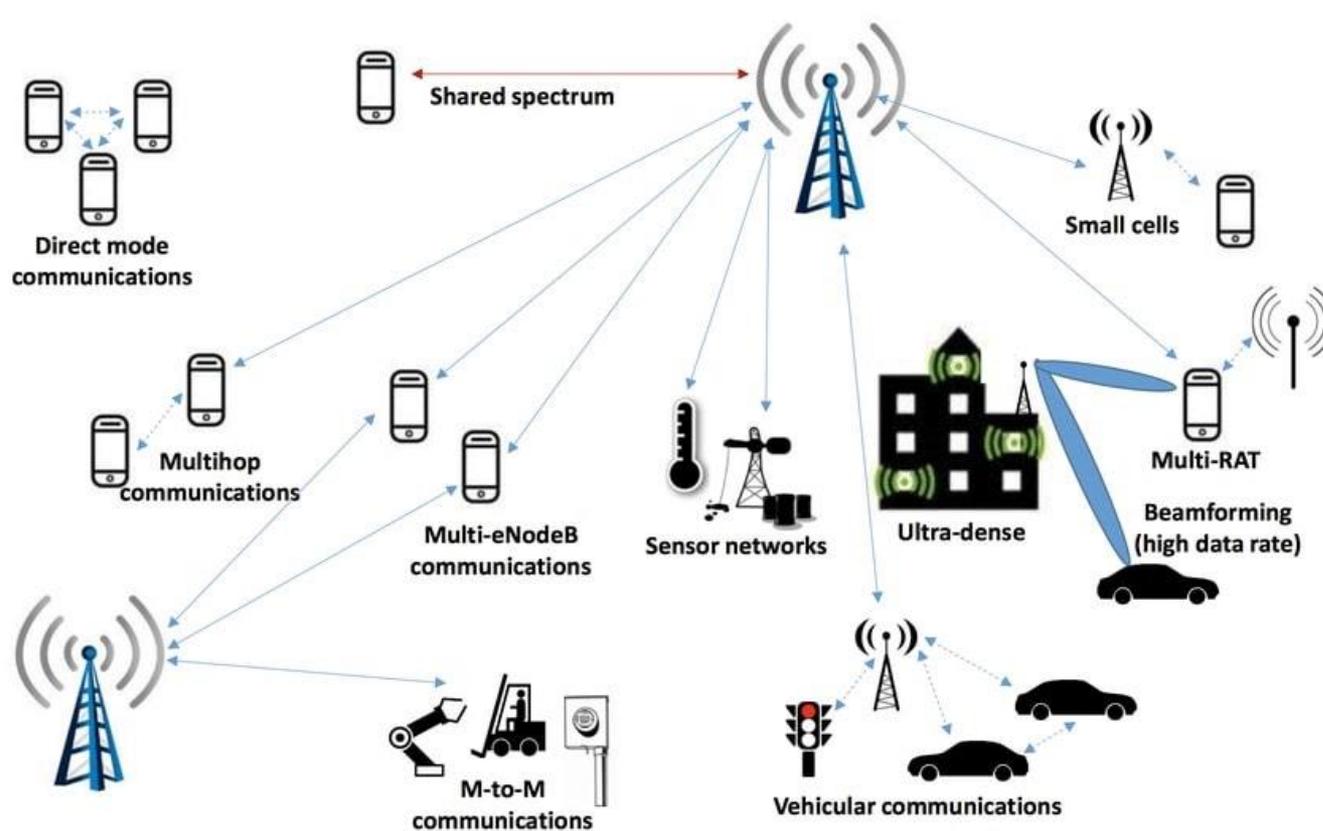
**SYSTÈMES DE  
TRANSMISSION,  
ARCHITECTURES ET  
RÉSEAUX  
(ex-ISC)**

*Karine Amis, Michel Morvan,  
Sébastien Houcke*

# ENJEUX ET DÉFIS

Dans un monde toujours plus connecté

2

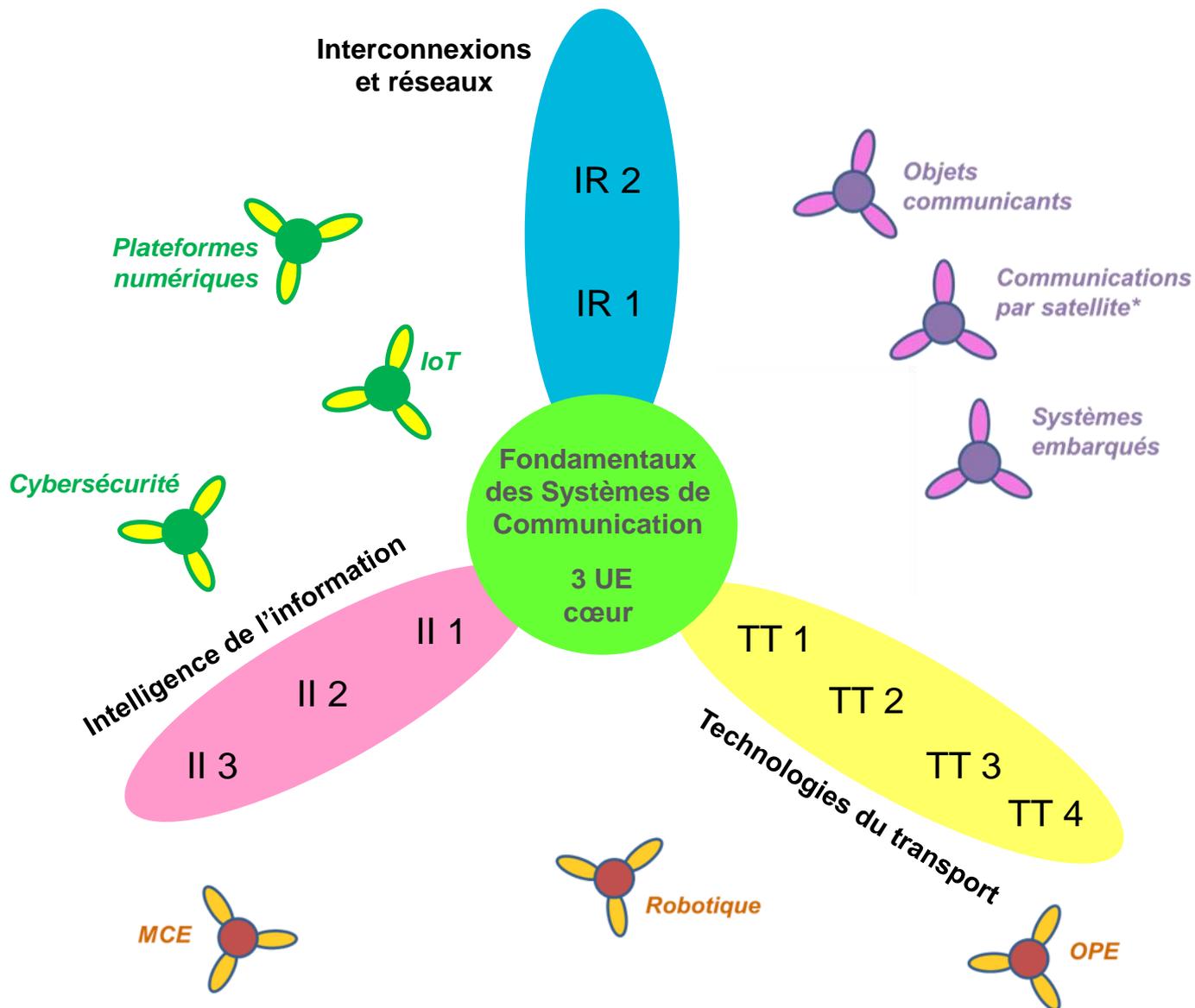


(© <https://trustmyscience.com/future-technologie-6-pourrait-etre-8000-fois-plus-rapide-que-5g/>)

## Former un ingénieur :

- Qui anticipe les besoins en communications et les défis technologiques des systèmes de communication,
- Qui intègre les enjeux socio-économiques et énergétiques des systèmes de communications,
- Qui maîtrise les systèmes de communication numérique, de la conception au déploiement à grande échelle.

# Au cœur du numérique et des transitions énergétiques 4



# TAF STAR : Les UE et règles de choix

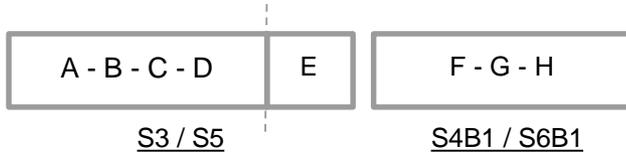
5

## Parcours

3 UE Cœur imposées (créneaux A – B – C)

3 UE Electives parmi les 10 proposées dans la TAF

2 UE Libres (dans la TAF ou en dehors)



## Contraintes/propriétés :

Choix d'une unique UE sur un créneau (D - E - F - G - H)

1 UE = 40h00 programmées EDT

Evaluation par compétences

Pédagogie par la pratique (TP logiciel/matériel, projet)

## Et aussi :

M2 Recherche : I-MARS, Photonique

Prérequis d'une 3A en substitution ISAE-SupAéro

## UEs Cœur

UE A – Canaux physiques de communication

UE B – Communications Numériques

UE C – Architectures et ingénierie des systèmes de transmission

## UE électives

IR1 – Réseaux mobiles (G)

IR2 – Architectures et réseaux optiques (H)

II1 – Codage correcteur d'erreur (D)

II2 – Sécurité de la couche physique (F)

II3 – Compression des données : du codage de source à la réalité virtuelle (G)

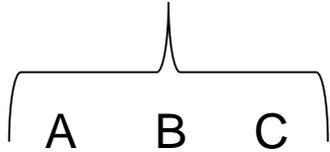
TT1 – Technologies et dispositifs radio-fréquences (D)

TT2 – Technologies optiques (E)

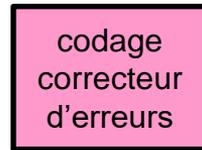
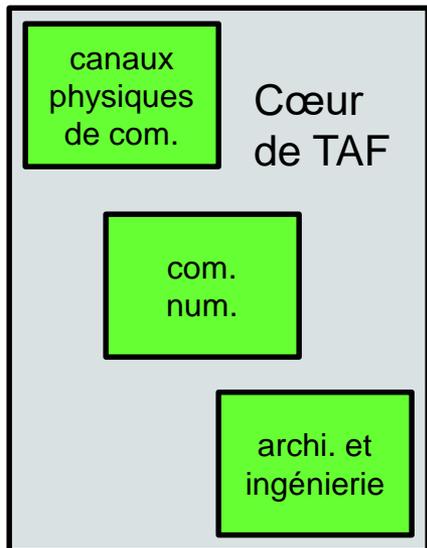
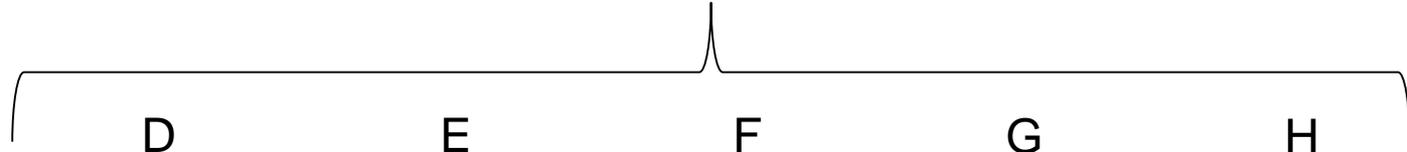
TT3 – Récepteurs avancés pour les communications numériques (E)

TT4 – Intégration électronique : de l'algorithme au prototype (F)

## Cœur



## Electives



II 1



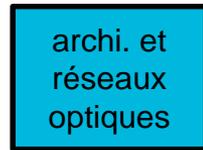
TT 3



TT 4



IR 1



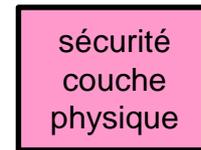
IR 2



TT 1



TT 2



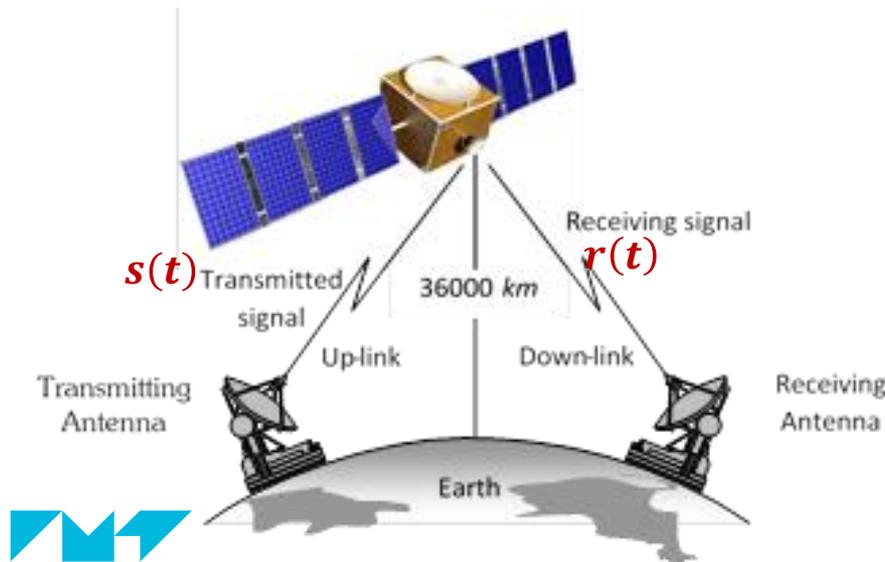
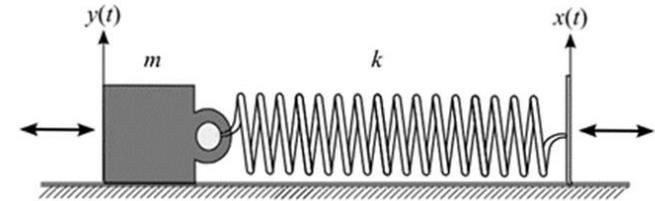
II 2



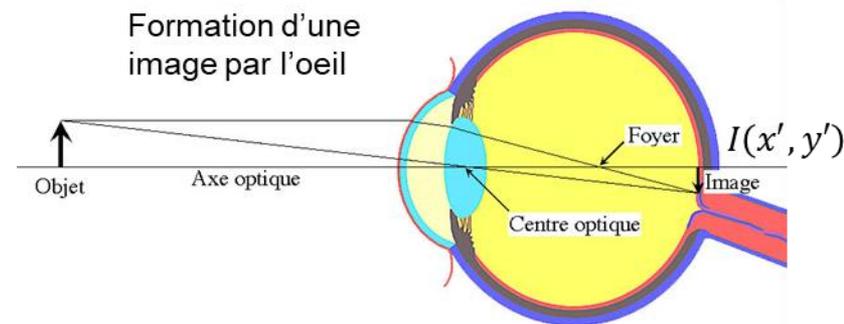
II 3

Contact : B. Fracasso

- Description et analyse des **caractéristiques physiques des canaux de propagation** (radio, optique, acoustique)
- Définition d'un **modèle mathématique** pour concevoir, valider et évaluer un **système physique de transmission ou de traitement de l'information**

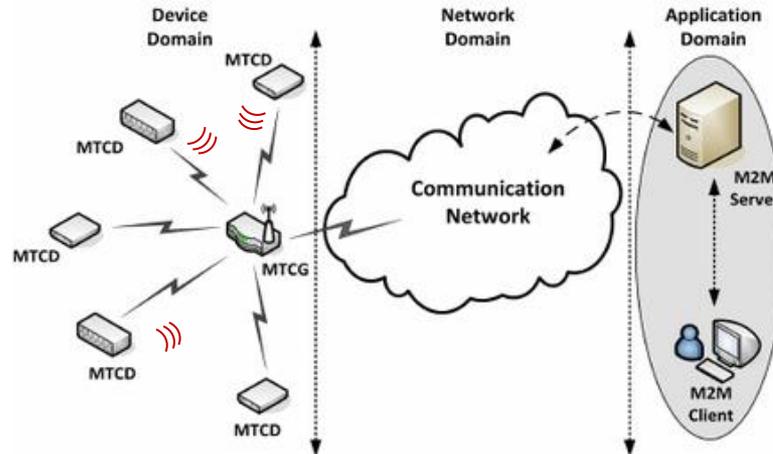
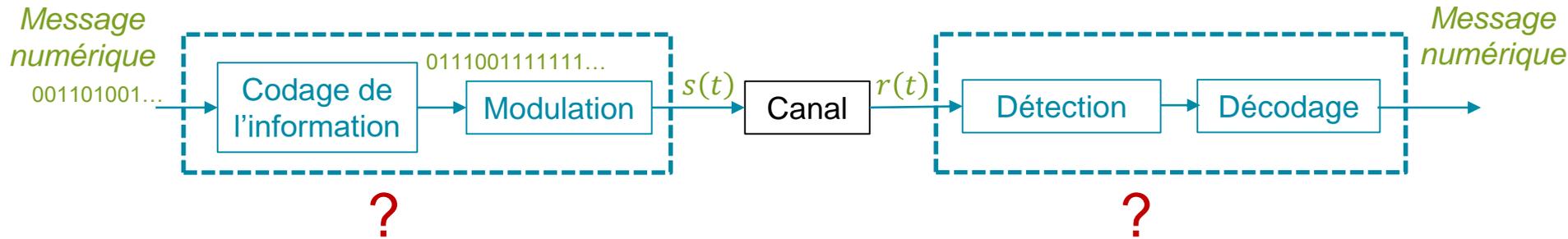


TAF STAR



28/02/2023

Méthodes de conception d'un système de transmission ou de stockage d'un message numérique satisfaisant des contraintes de qualité de service, de technologie ou de réglementation

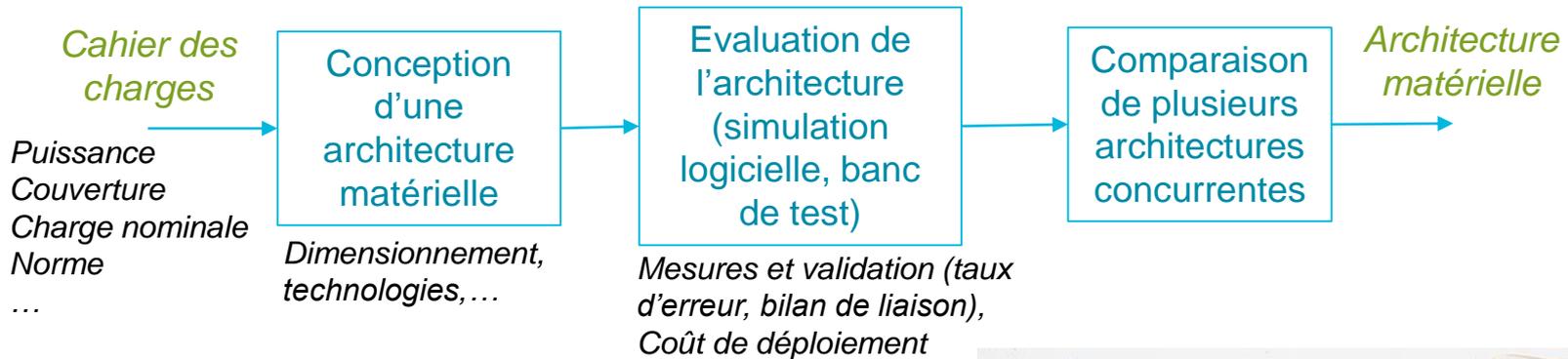


Exemple des communications M2M  
 Déploiement massif d'émetteurs bas coût,  
 autonomes en énergie  
 Communications sporadiques,  
 Messages très courts  
 Fiabilité élevée

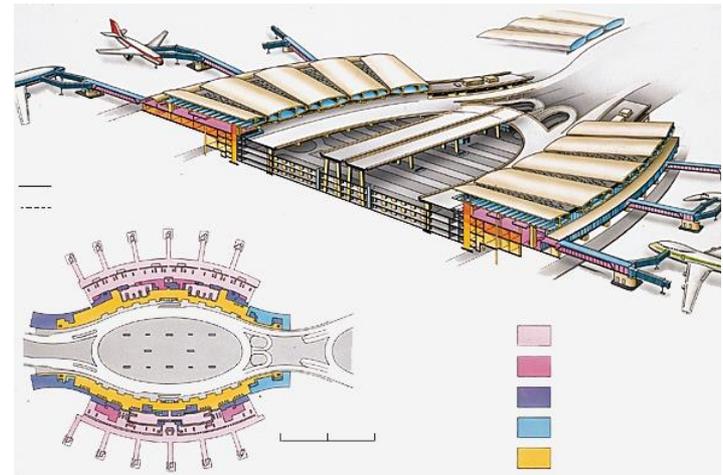
# UE C - ARCHITECTURES ET INGÉNIERIE DES SYSTÈMES DE COMMUNICATION 9

Contacts : M. Morvan, A. Péden

*Savoir définir l'architecture matérielle et dimensionner les systèmes de transmission, filaires ou sans fil, en réponse au cahier des charges imposé par le client ou fixé par une norme.*



déploiement d'un système de communication par satellites (LEO, MEO, GEO)



déploiement du WiFi dans une aéroport

Secteurs, métiers, carrières

Secteurs dynamiques :

- Télécoms, Energie, Santé, Défense, Aéronautique, Espace, Transports, ...

Recruteurs :

- Grands groupes, PME, TPE, Start-up
- Laboratoires de recherche académiques et centres de R&D
- Organismes gouvernementaux (ARCEP, ANFR, Office européen des brevets)

Diversité des métiers :

- architecte systèmes et réseaux, Intégration, R&D, qualité, valorisation, chef de projet, avant-vente, commercial, normalisation,

*Cf. offres APEC (<https://cadres.apec.fr/>)*





Etude de la technique « probabilistic shaping » dans la perspective d'une implémentation temps réel (Traitement du signal avancé pour la 5G)

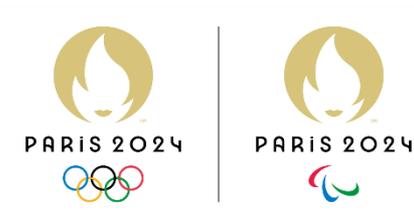


Automatisation d'un banc de caractérisation de transpondeurs optiques cohérents

Développement logiciel pour une maquette de réseau optique dynamique



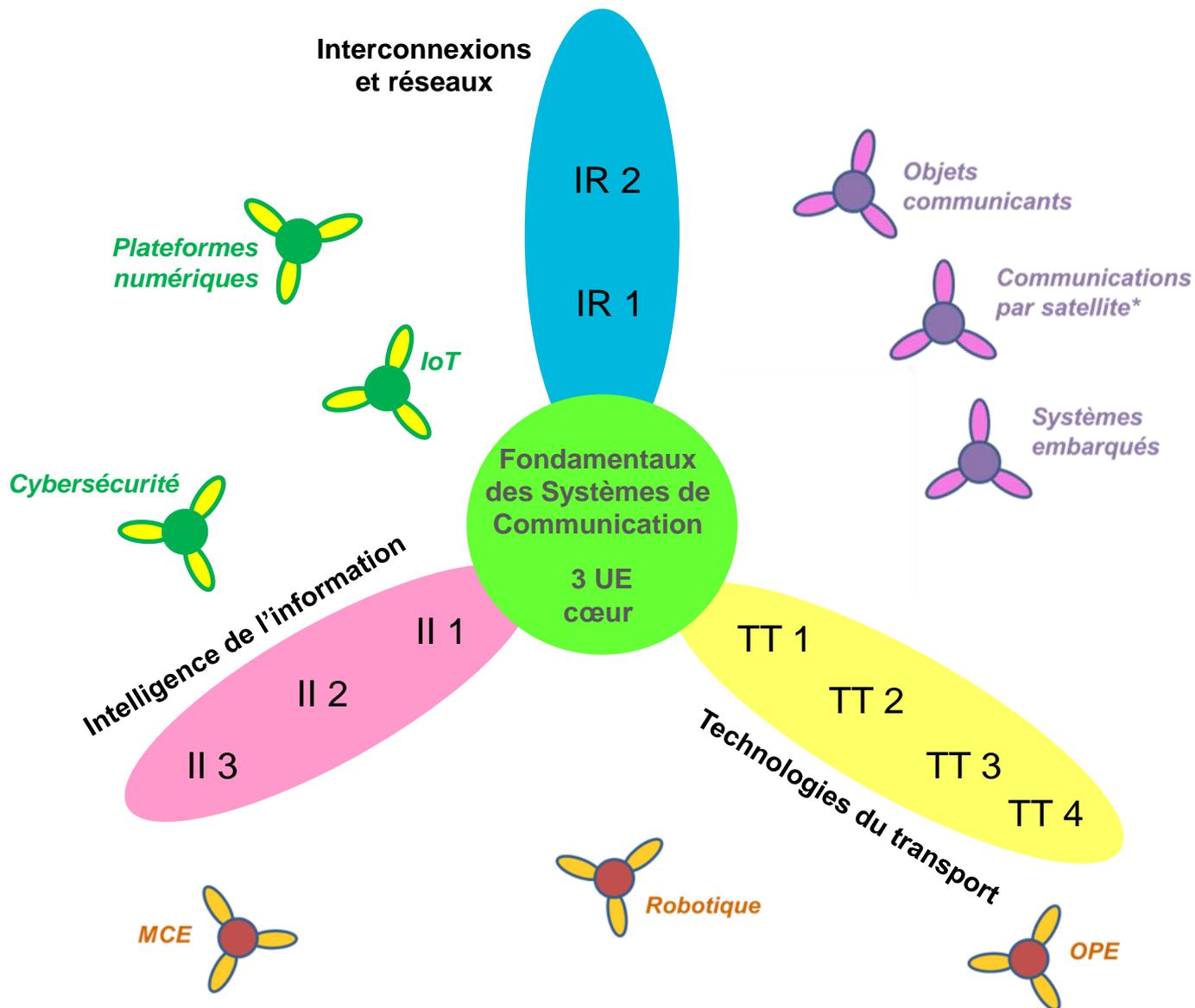
Qualification fonctionnelle d'une offre Internet « triple play »



Gestion du spectre électromagnétique et réseau 5G pour Paris 2024 (Comité d'Organisation des Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024)



Télémesure des méga-constellations de satellites





**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**POSSIBLES : MASTERS  
RECHERCHE**

**ANNEXE  
PARCOURS  
PARALLÈLES**

# LE MASTER I-MARS (POUR LES ÉLÈVES DE 3A)

Contacts : **Catherine Douillard** - dpt MEE / **François Gallée** - dpt MO

- Diplôme National
- Enseigné dans 29 établissements en France (Universités et écoles d'ingénieur)

## Parcours I-MARS:

Microtechnologies, architecture, réseaux et systèmes de communications (i-MARS)



CentraleSupélec, IMT Atlantique, INSA Rennes, UBS

## Les objectifs

- approfondissement dans des thématiques de pointe en **électronique analogique et numérique, radiofréquence, en architecture et systèmes de communications et d'observation**
- formation méthodologique aux métiers de la **recherche et du développement** (travail en équipe, gestion de projet, autonomie et prise d'initiative)
- maîtrise des techniques de communication et d'**expression scientifique en langue anglaise** (étude bibliographique, écriture d'articles, présentation orale).

Proposé dans 3 TAF

TAF OPE

TAF SEH

TAF STAR

**Spécialisation dans le domaine des technologies radio-fréquences et de l'électronique numérique**

Travail basé à 80% sur les UEs des TAF

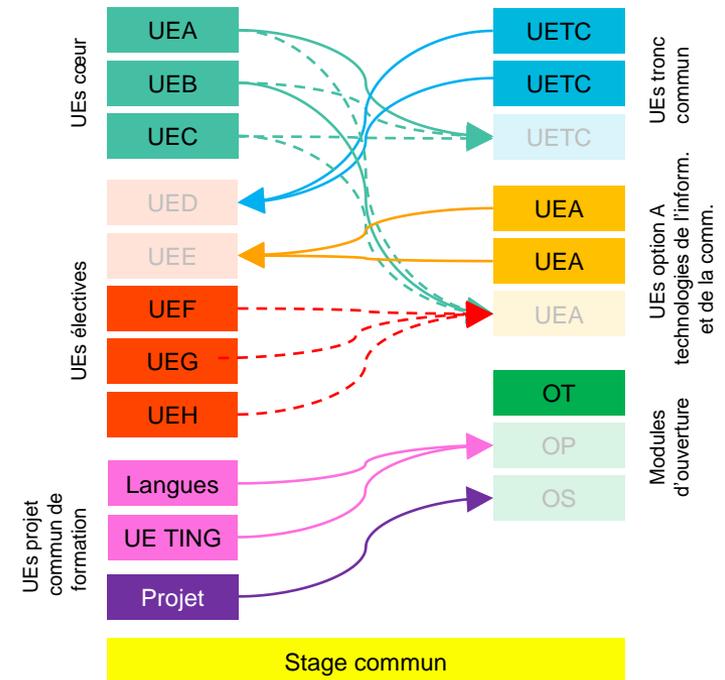
3 villes, 6 établissements, 4 laboratoires de recherche



- Débouchés
  - Doctorat, Ing. R&D
  - Centres R&D et industrie
  - Comms. optiques, biomédical, électronique, énergie, industries, recherche fondamentale
- Double diplôme

TAF STAR

Master Photonique  
Sept – Févr.





**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**ANNEXE**



**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**CRÉNEAU D**

Contact : D. Bourreau

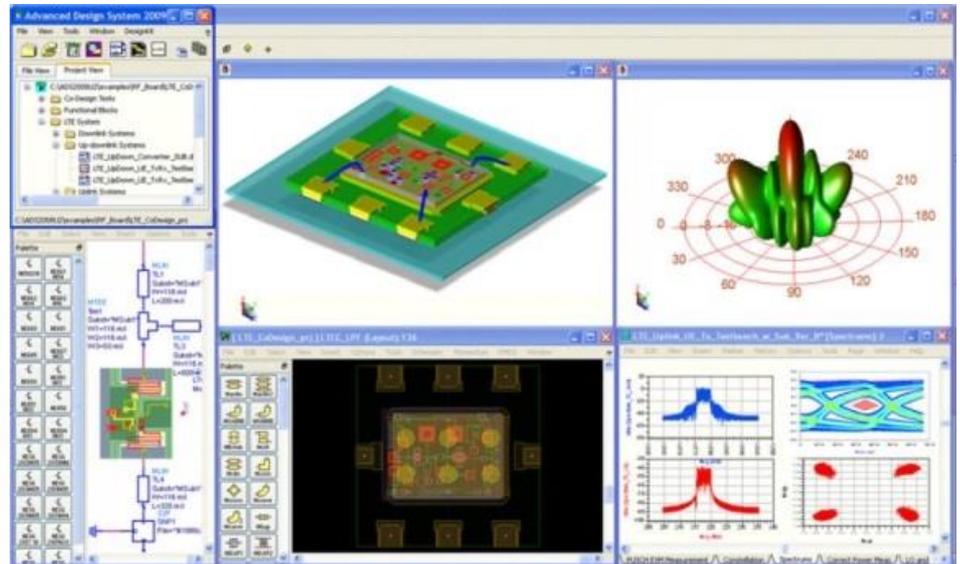
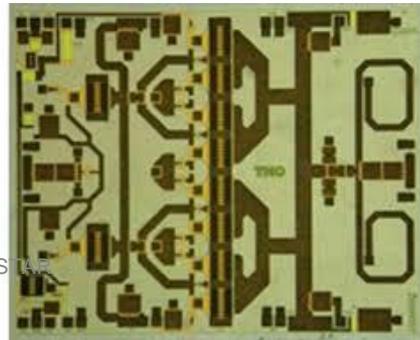
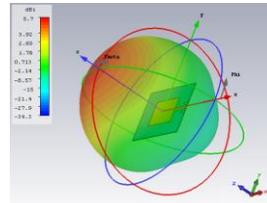
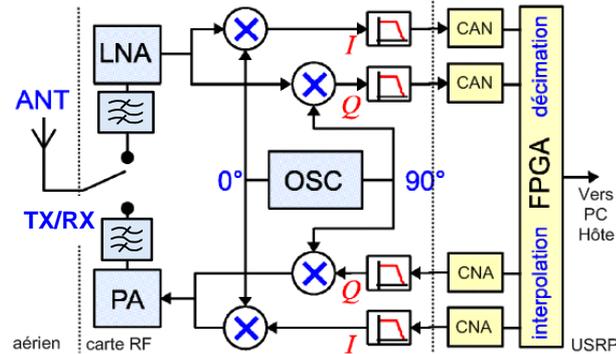
### Conception de dispositifs pour les front-ends RF

passifs : antennes, filtres, coupleurs (& applications), circulateurs

actifs : amplificateurs (LNA, PA), oscillateurs (PLL), mélangeurs

cours

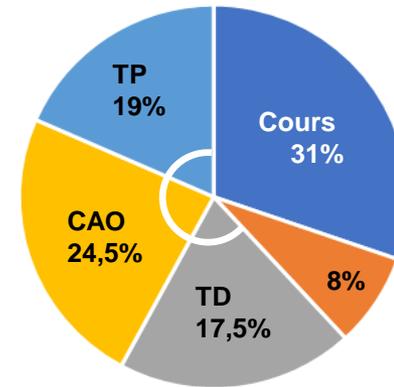
- ▶ Paramètres « système »
- ▶ Technologies d'intégration
- ▶ Outils CAO (circuits, EM)
- ▶ Mini-projets + EdT perso
  - CAO : Reverse engineering (MMIC)
  - Labo: Antenne patch
- ▶ TP exp & BE CAO
  - Amplificateur
  - Mélangeur
  - PLL



### Généralités

- ▶ Rappels ([S], théorie des lignes, ...)
- ▶ Technologies RF & intégration
- ▶ Technologies SC & composants

8%  
1 C  
1 C  
1 C



### Dispositifs

actifs	▶ Oscillateurs & PLL	2 C	1 PC	1 BE CAO	1 TP
	▶ Amplificateurs	2 C	1 PC	1 BE CAO + MP	1 TP
	▶ Mélangeurs	1 C	1 PC	1 BE CAO	1 TP
passifs	▶ Antennes	1 C	1 PC	1 BE CAO (& labo)	
	▶ Filtres	2 C	1 PC	1 BE CAO (MP & démo)	
	▶ Dispositifs non-réciproques	2 C	1 PC		
	▶ Coupleurs & applications	1.5 C	0.5 PC	⊗⊕ (1, -1, j, -j)	

Equipe pédagogique : Alain Peden, Jean-Philippe Coupez, François Gallée, Camilla Kärnfelt, François Le Pennek, Vincent Vlaminck, Daniel Bourreau,

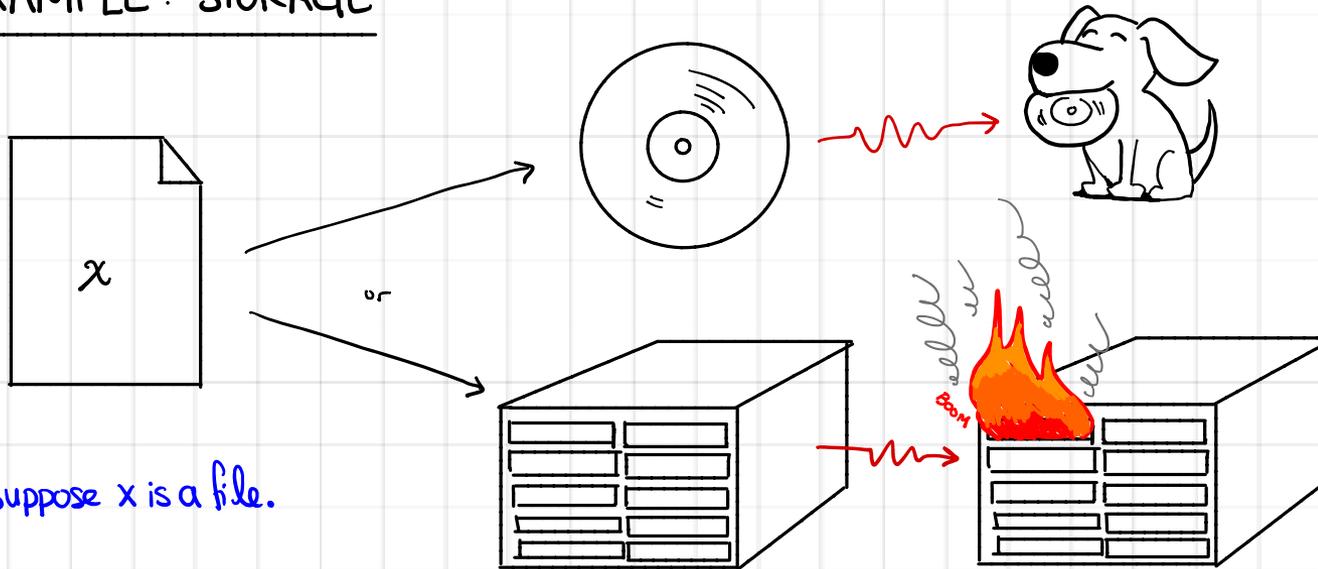
# UEE CODAGE CORRECTEUR D'ERREUR

Error-control coding for digital communication systems and storage

Contact : R. Le Bidan

20

## EXAMPLE : STORAGE



1. Suppose  $x$  is a file.

2.  $x$  is stored; say on a CD  
or in a RAID array.

3. Something bad  
happens...

4. I still want  $x$ !

© Mary Woorters

RAID redundant array of independent disks

In this course you will learn how to design **error-correcting codes** that can handle the **SOMETHING BAD** (whatever that means) and recover  $x$  **reliably** and **efficiently**

(minimum overhead, manageable ENC/DEC cost)



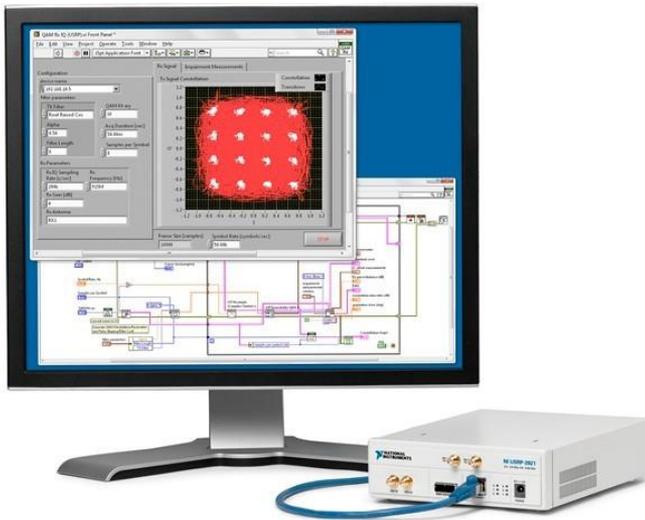
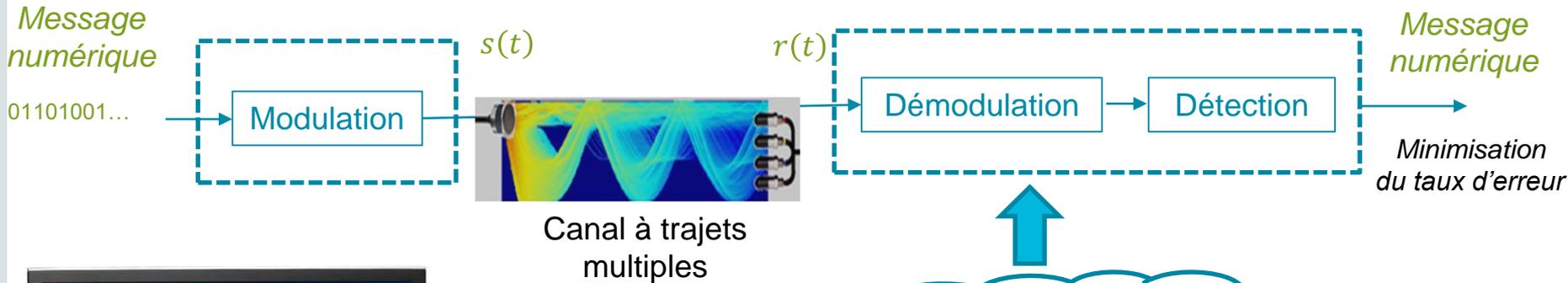
**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**CRÉNEAU E**

Contact : C. Laot

*Méthodologie de conception, de validation théorique et expérimentale de récepteurs pour communications numériques.*



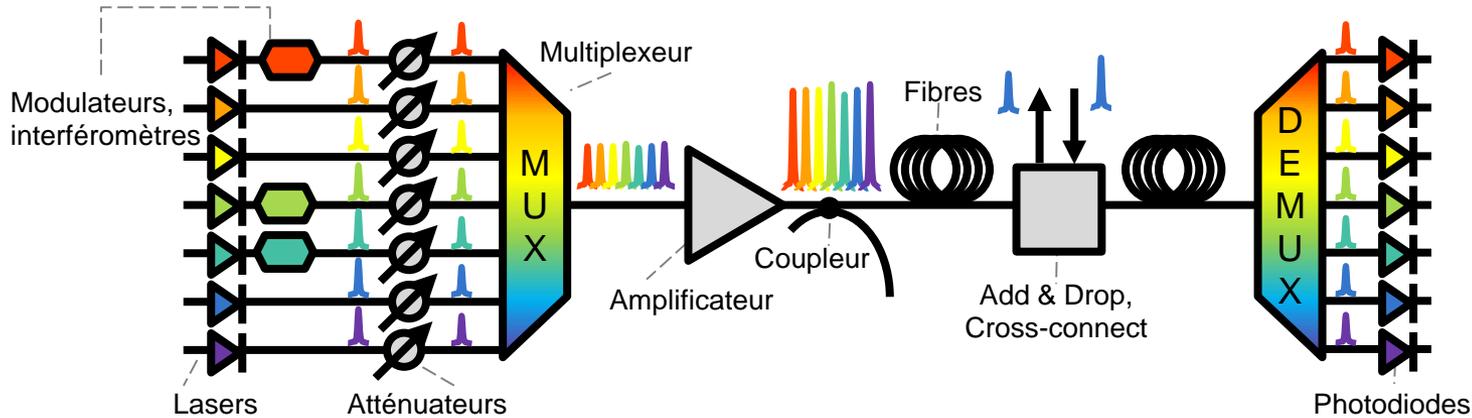
### Conception des récepteurs

- Synchronisation trame, phase et rythme
- Prise en compte de la sélectivité en temps et fréquences des canaux (égalisation)
- Estimation des canaux

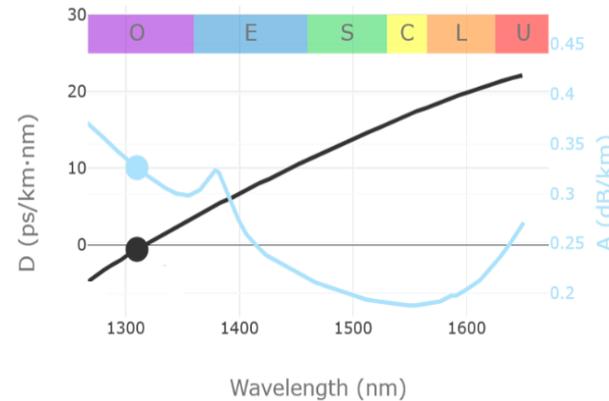
### Outils

- Matlab
- Radio logicielle (Software Defined Radio)

**Remarque : Non ouverte aux FIP 3A (équivalent en 2A)**



L. Anet Neto  
L. Dupont  
Br. Fracasso  
M. Morvan  
M.-L. Moulinard  
D. Stoenescu



- **Transmissions** sur fibre optique et ses contraintes
- **Blocs fonctionnels** (actifs/passifs) élémentaires pour la transmission sur fibre
- **Travaux pratiques**: soudures, réflectométrie, caractérisation de composants, simulations



**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**CRÉNEAU F**

Concrétisez vos idées !

Contact : M. Arzel

Une idée, un algorithme ?...

Comment **réaliser** ? **Concrétiser** ?

L'intégration numérique sur **FPGA** est LA solution de prototypage !

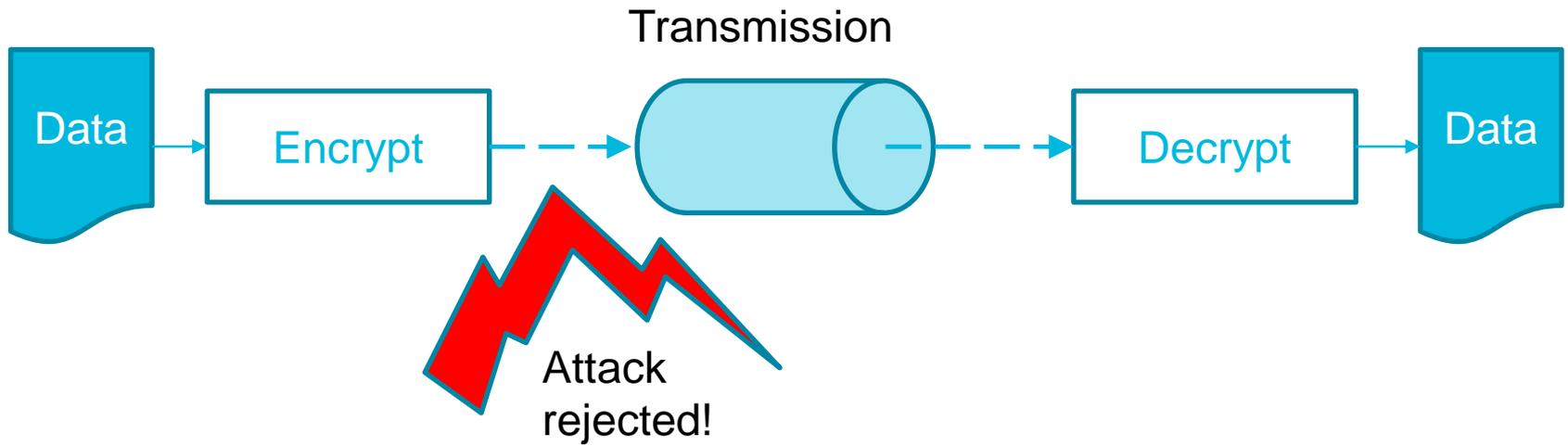
- ✓ performance
- ✓ rapidité de mise en oeuvre
- ✓ basse consommation
- ✓ faible coût

A condition de savoir manipuler un langage comme **VHDL** et les **notions de conversion analogique/numérique** et d'architecture de **traitement numérique**

- ✓ enseignées dans l'UE
- ✓ appliquées dans un **mini-projet en rapport avec votre TAF et/ou vos centres d'intérêts**
- ✓ Acquisées par la **pratique, plus de la moitié de l'emploi du temps !**



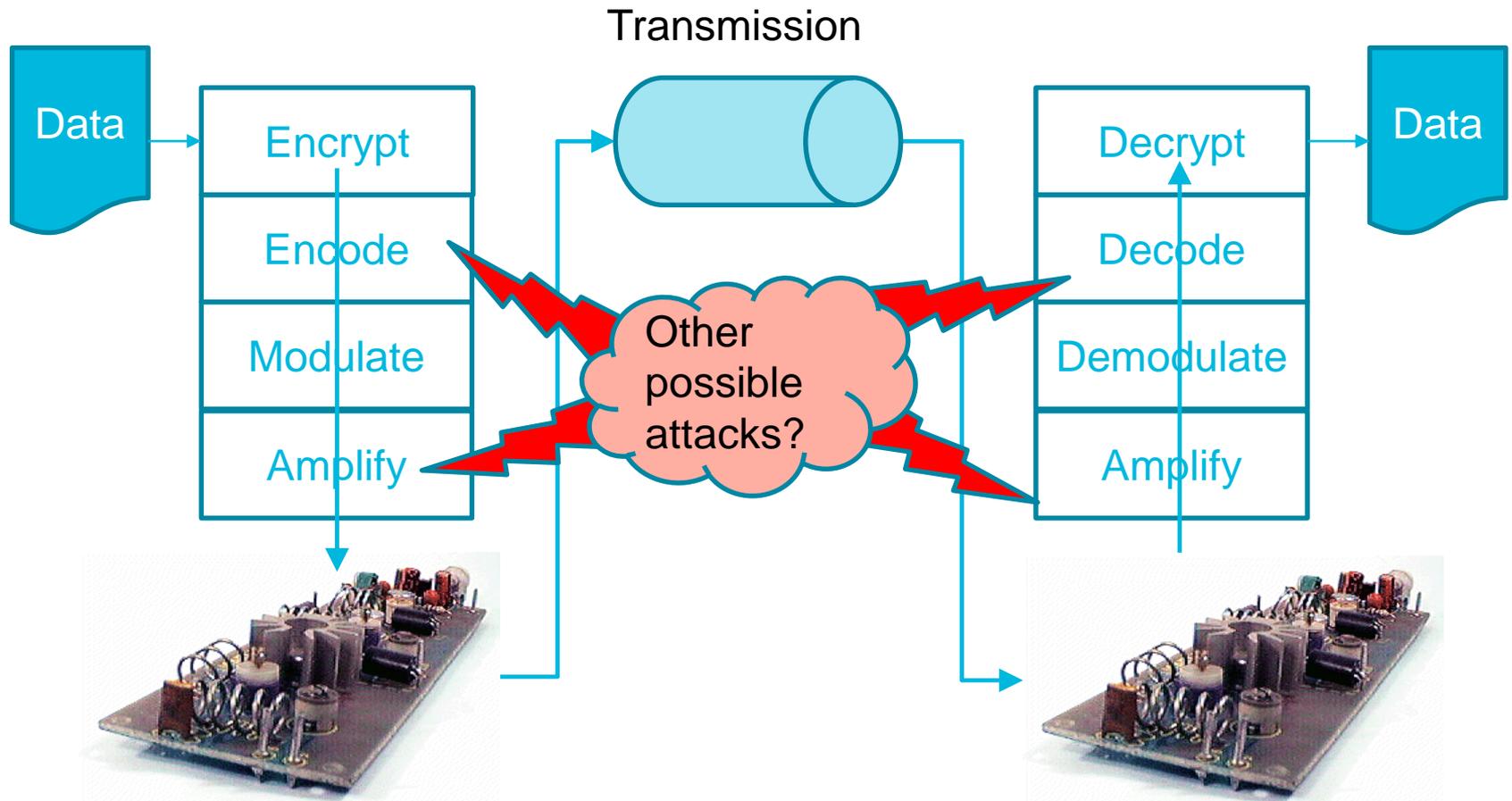
SECURITY: an upper layer issue?



# UEE PHYSICAL LAYER SECURITY

SECURITY: an upper layer issue?

Not only...



# UEE PHYSICAL LAYER SECURITY

## SIDE CHANNEL ATTACK EXAMPLE: ELECTROMAGNETIC ECDSA KEY EXTRACTION

28



**From:** Daniel Genkin, Lev Pachmanov, Itamar Pipman, Eran Tromer, and Yuval Yarom. 2016. « *ECDSA Key Extraction from Mobile Devices via Nonintrusive Physical Side Channels* ». In Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1626–1638. Downloaded from <https://www.tau.ac.il/~tromer/mobilesc/mobilesc.pdf>

## Contents (weight):

- Introduction to cryptology (2)
- Side channel attacks (2)
- Demonstration of a WIFI attack (Denial of service) (1)
- Introduction to Digital Communications (4)
- Blind analysis of Digital Communication Signals (4)
- Information Theory and Security (6)

Physical Layer as a security weakness

Physical Layer as a security enhancement



**IMT Atlantique**  
Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

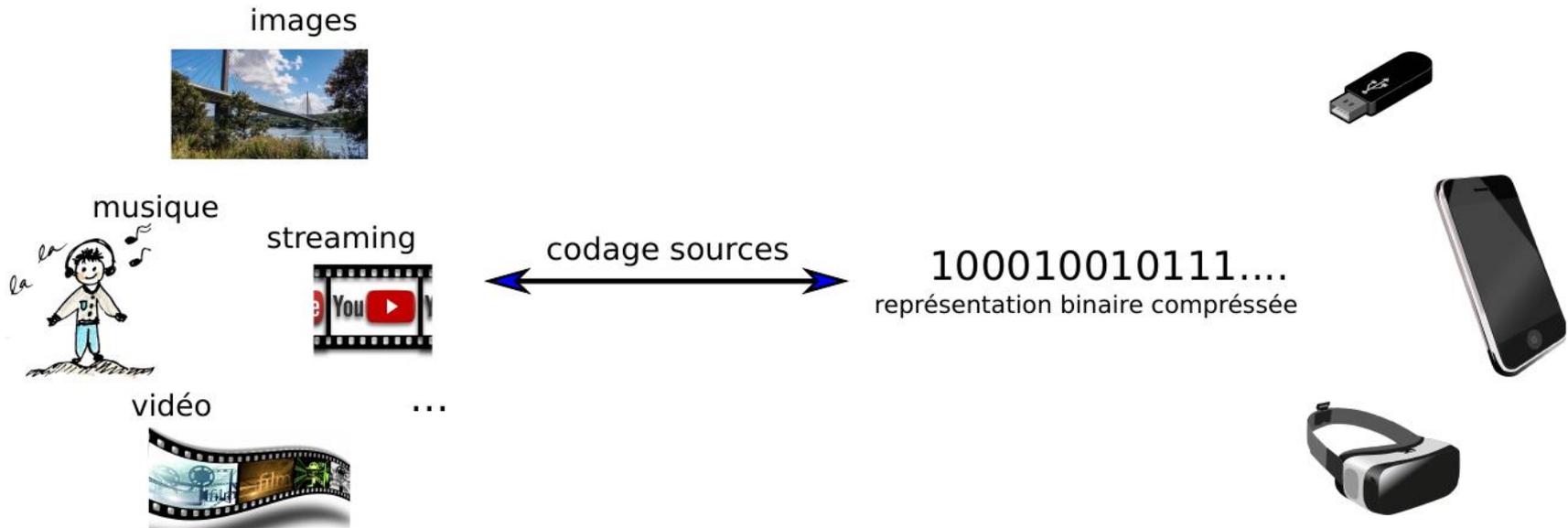
**CRÉNEAU G**

# UEE COMPRESSION DE DONNÉES :

du codage de source à la réalité virtuelle

Contact : E. Dupraz

31



## Contenu de l'UE

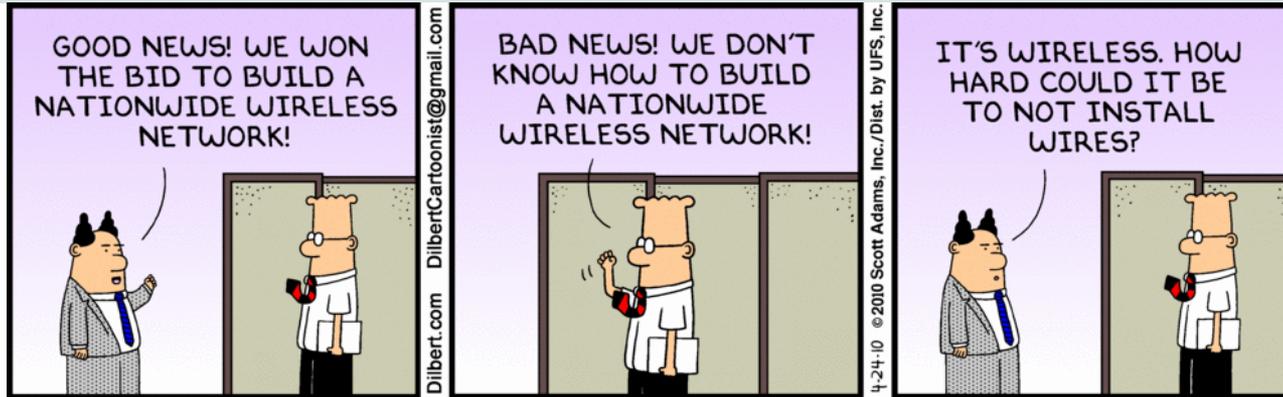
Mécanismes fondamentaux du codage sans pertes et avec pertes

Standards de compression multimédia : JPEG, H264, HEVC, etc.

Applications récentes : Télévision interactive, Vidéo 360°, etc.

# UEE RÉSEAUX MOBILES

Contacts : L. Nuaymi, R. Le Bidan



Dans cette UE, le but est de répondre à la question posée, selon les axes suivants :

- ① Comprendre le fonctionnement des industries de réseaux sans fil, caractériser les acteurs et leurs interactions
- ② Caractéristiques, modélisation et défis du canal radio
- ③ Transmission efficace sur le canal radio
- ④ Découvertes des cadres des réseaux WiFi, 4G et 5G
- ⑤ Dimensionnement et planification des réseaux d'accès sans fil



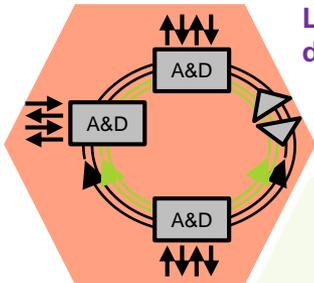
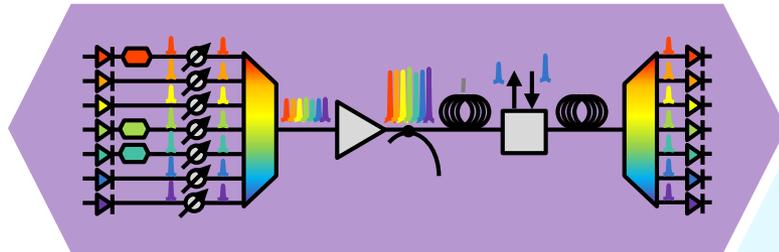
**IMT Atlantique**

Bretagne-Pays de la Loire  
École Mines-Télécom

**CRÉNEAU H**

**Remarque : Non ouverte aux FIP 3A (équivalent en 2A)**

L. Anet Neto  
M. Morvan  
J.-F. Huguet

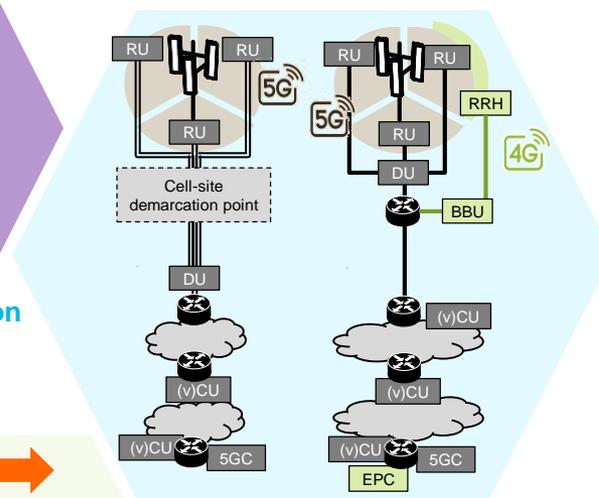
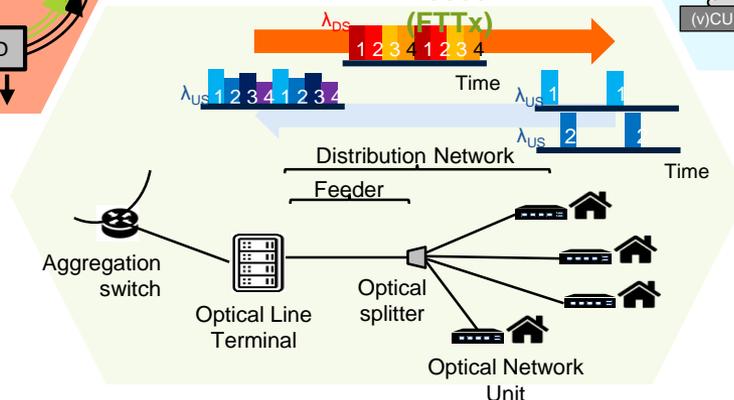


Longue distance, datacenters

Agrégation, Métropolitain

Interconnexion du réseau mobile

Accès (FTTx)



- **Infra** optique: différents **segments** du réseau composant l'ossature de l'Internet; des datacenters aux domiciles/antennes
- **Technique, économique et réglementaire**
- Mini-projets et ateliers : **dimensionnement** des réseaux, **tech-éco**, **conception d'une offre**