

# INSTITUT D'ÉLECTRONIQUE ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS DE RENNES



**Utilisation des modulations spatiales  
avec une plateforme de radio  
logicielle Massive MIMO  
dans le contexte  
de la 5G et de l'Internet des Objets**

**François Yven, Ali Mokh, Mohamad Alawieh,  
Maryline Helard, Matthieu Crussiere**

Ni day 04/10/2018

contact : [francois.yven@insa-rennes.fr](mailto:francois.yven@insa-rennes.fr)



INSA



CentraleSupélec



UNIVERSITÉ DE NANTES

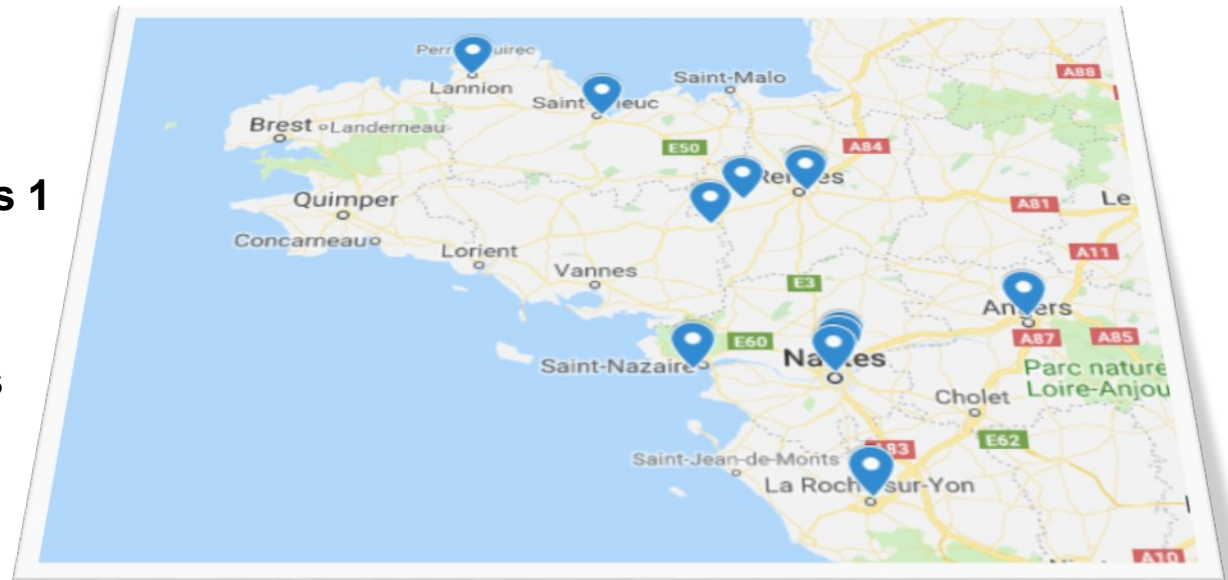
UNIVERSITÉ DE  
RENNES 1

- Laboratoire IETR, équipe SYSCOM
- Modulation Spatiale
- Le projet
- La Plateforme / Résultats
- Conclusion / Perspectives
- Discussion

- Laboratoire IETR, équipe SYSCOM
- Modulation Spatiale
- Le projet
- La Plateforme / Résultats
- Conclusion / Perspectives
- Discussion

- L'institut d'électronique et de télécommunication de Rennes est un laboratoire public qui regroupe des équipes de recherche venant de :

- **CNRS (INSIS)**
- **Université de Rennes 1**
- **INSA de Rennes**
- **CentraleSupélec**
- **Université de Nantes**



- **Site web :**

**<https://www.ietr.fr/>**

- **Sur le plan administratif**

- **Effectif** : 340 pers. (hors stagiaires), dont 155 doctorants et post-doctorants
- **2 sites principaux** : Rennes (75 %), Nantes (17 %)
- **Autres sites** : Angers, Lannion, La Roche-sur-Yon, Saint-Brieuc, Saint-Cyr Coëtquidan

- **Sur le plan organisationnel**

- **5 tutelles** : CNRS, CentraleSupélec, INSA Rennes, Univ. Nantes, Univ. Rennes 1
- **12 équipes de recherche**
- **7 Plates-formes (PF) :**
  - **5 PF recherche** (antennes, circuits microondes, CEM, BioEM et spectrométrie de masse, imagerie aéroportée, microélectronique et microcapteurs, prototypage mécanique),
  - **1 PF formation** (centre commun de microélectronique de l'Ouest),
  - **1 PF technologique** (mobilité et bâtiments intelligents)
- **PF en projet** : cybersécurité matérielle, traitement images, IoT

- **Sur le plan scientifique**

- **En 2017 :**
  - 42 soutenances de thèse
  - 219 publications dans des revues internationales
  - 277 présentations dans des conférences internationales
  - Ressources propres (hors salaires) : 7,8 M€ (incluant CPER) – H2020, ANR, FUI...
  - Création de 4 start-ups (Arcotenn, C'notre air, Immersive therapy, Cognimap) depuis 2017

## Les principaux défis sociétaux (applications duales)



Télécommunications, IoT,  
Sciences et technologies du  
numérique, Electronique



Mobilités intelligentes



Environnement, Energie



Santé, Bien-être



Confiance numérique,  
Cybersécurité

## Les principaux domaines de recherche



Des micro-ondes au THz : modélisation EM,  
antennes, circuits, CEM, BioEM, Imagerie,  
Métrologie, Champ proche, Diagnostic EM



Systèmes de communication numérique,  
Systèmes embarqués, Radio-logicielle, Eco-  
radio, Radio intelligente, 5G, CPL



Propagation, Localisation, Systèmes radars,  
Téledétection, Caractérisation canal



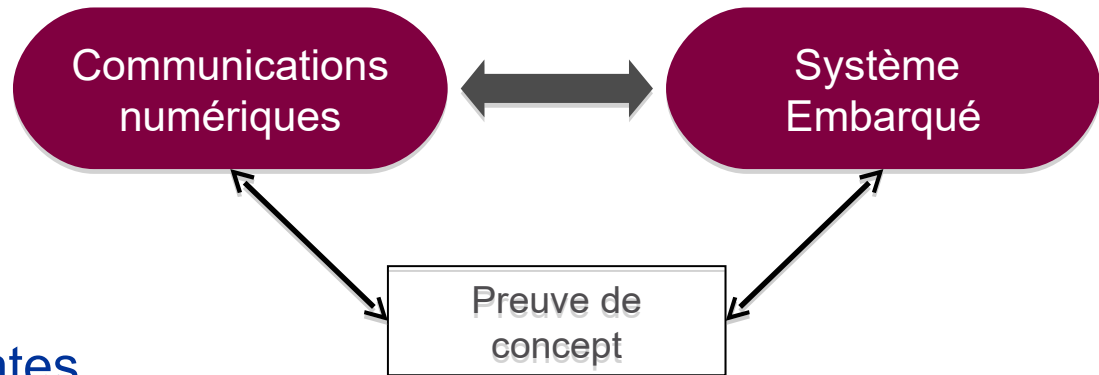
Micro-électronique, Capteurs, Electronique  
organique, Couches minces, Matériaux  
multifonctionnels, Reconfigurabilité,  
Récupération et stockage d'énergie



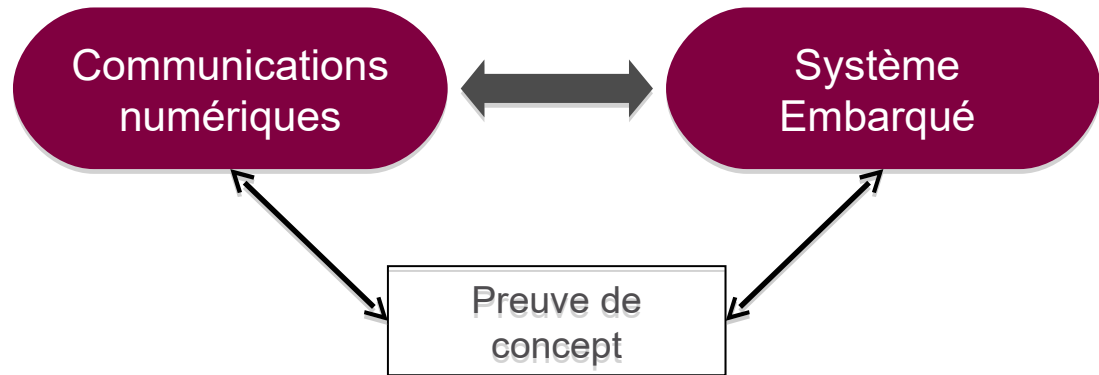
Analyse et protection d'images, Vision,  
Compression vidéo, Prototypage rapide,  
Systèmes embarqués, Architectures multi-  
processeurs. Sécurité des objets connectés



Commande prédictive, Commande adaptative,  
Sûreté



- **2 sites** : Rennes et Nantes
- **Vaste panel de compétences**
  - De la modélisation à l'expérimentation matérielle
  - De la couche physique aux protocoles de communications
- **Expertise technique et points de recherche principaux**
  - MIMO, technique de précodage, massive MIMO, techniques hybrides, retournement temporel
  - Techniques de réception itératives
  - Techniques coopératives et de relayage
  - Réseaux hétérogènes
  - Communications vertes, efficacité énergétiques des systèmes
  - Radio logicielle et cognitive (preuve de concept, partition HW/SW)



## • Champs d'application

- 5G, PLC, mobile TV, WLAN et WPAN
- UWB xDSL, fibre optique, VLC

## • Tendances autour de la 5G

- Cross-Layer
- Augmentation de l'échelle (IoT, Massive MIMO)
- Hétérogénéité des réseaux et des systèmes (HetNet)
- Évolution des critères de performance (efficacité énergétique, fiabilité, latence)

## • L'équipe à l'INSA

- 2 professeurs
- 7 maîtres de conférences
- 1 chercheur CNRS
- 3 ingénieurs
- 3 post-docs, 13 doctorants



- Laboratoire IETR, équipe SYSCOM
- **Modulation Spatiale**
- Le projet
- La Plateforme / résultats
- Conclusion / Perspectives
- Discussion

## Les modulations spatiales

- Premières publications dans les années 2000
  - En forte évolution depuis quelques années
- On distingue 2 modes de fonctionnement
  - Modulation spatiale à l'émission (mode SM Tx)
  - Modulation spatiale à la réception (mode SM Rx)
  - Information spatiale (bits et symboles spatiaux) en complément éventuel des modulations classiques (symboles IQ)

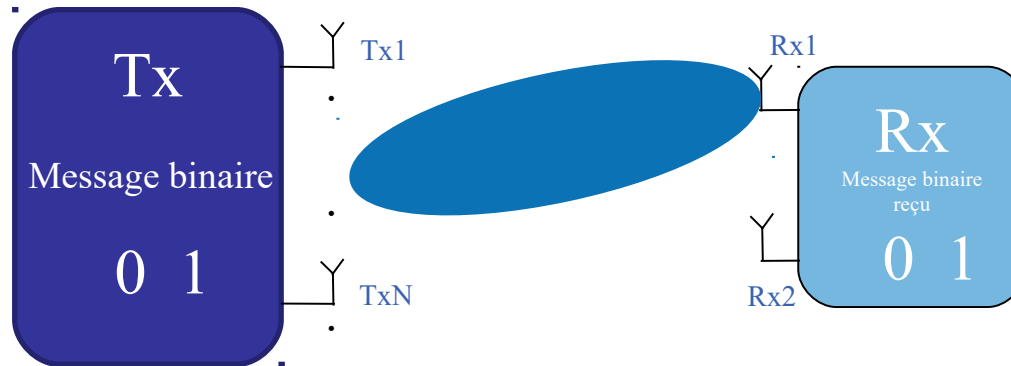
## Principe de la modulation spatiale à l'émission Tx

- L'information est transportée par l'index de l'antenne qui transmet le signal
- Le transmetteur émet un signal d'une des antennes Tx en fonction de l'information utile
- Le récepteur doit détecter quelle antenne Tx a été utilisée

## Principe de la modulation spatiale en réception Rx

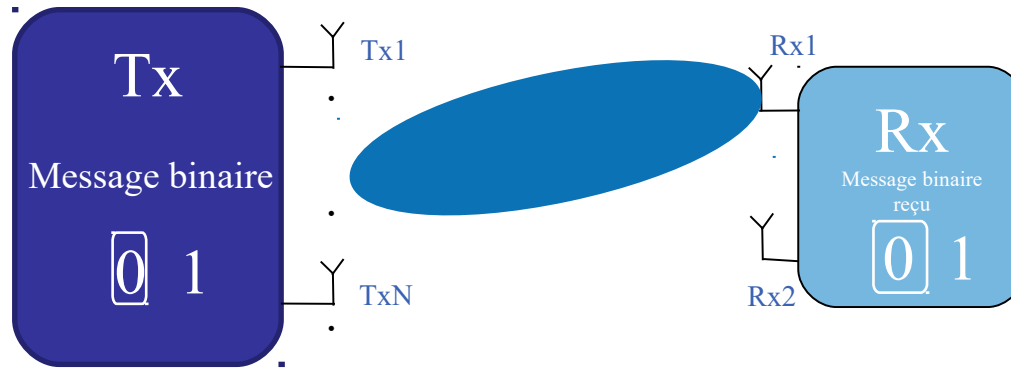
- L'information est transportée par l'index de l'antenne qui reçoit le signal
- Le transmetteur focalise le signal vers l'une des antennes Rx
- Le récepteur détecte simplement quelle antenne Rx reçoit le signal

Exemple : modulation spatiale à la réception, sans symbole IQ



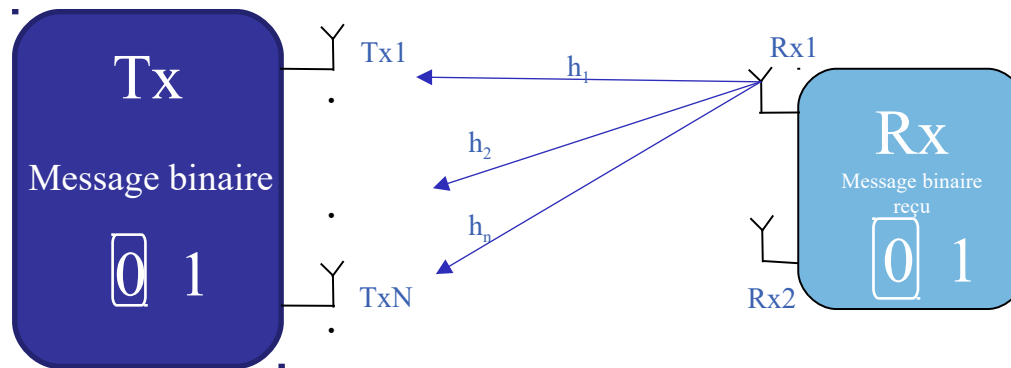
Binaire (Tx)	Antenne focalisée (Rx)
0	Rx1
1	Rx2

Exemple : modulation spatiale à la réception, sans symbole IQ



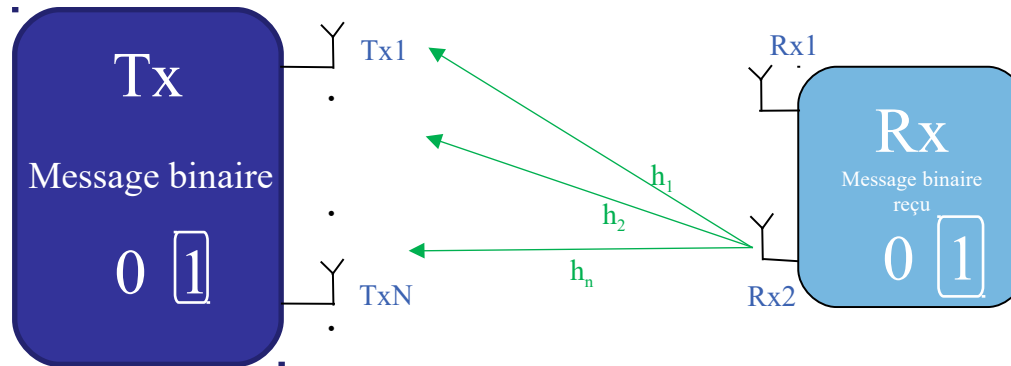
Binaire (Tx)	Antenne focalisée (Rx)
0	Rx1
1	Rx2

Exemple : modulation spatiale à l'émission, sans symbole IQ



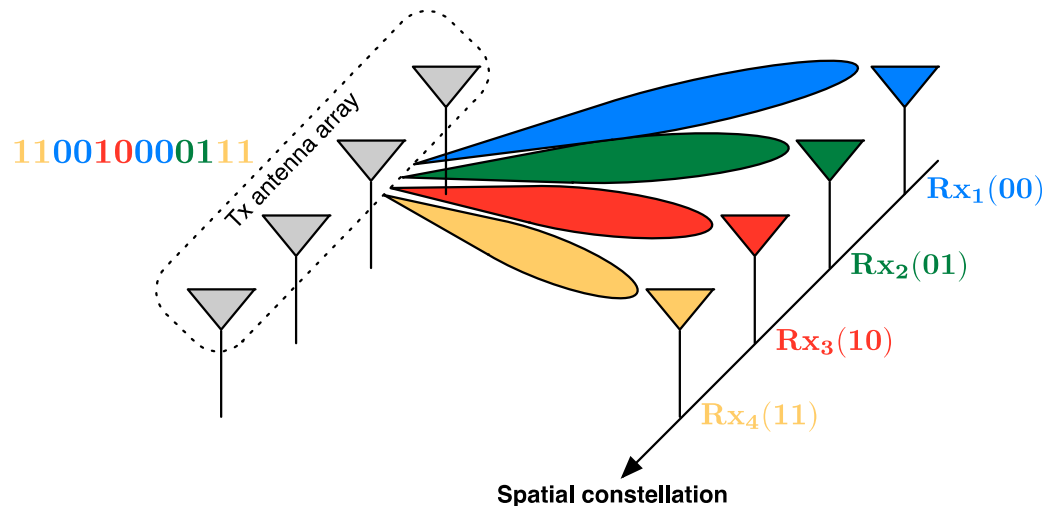
Binaire (Tx)	Antenne active (Rx)
0	Rx1
1	Rx2

Exemple : modulation spatiale à l'émission, sans symbole IQ



Binaire (Tx)	Antenne active (Rx)
0	Rx1
1	Rx2

- Évolution à un système à 4 antennes en Réception










- Le principe de la modulation spatiale peut facilement s'incrémenter aussi bien sur la station de base (Tx) qu'au niveau du récepteur (Rx)



## Variante proposée par l'équipe : Modulation E-RASK

- Cette version permet de limiter le nombre d'antennes en réception tout conservant un débit

00 01 10 11	Symbol 1	Symbol 2	Symbol 3	Symbol 4
1) Segmentation	00	01	10	11
2) Mapping	(0,0)	(0,R2)	(R1,0)	(R1,R2)
3) Preprocessing (focalisation)	<b>X</b> 	 	 	 
4) Detection	(0,0)	(0,R2)	(R1,0)	(R1,R2)
5) Demapping	00	01	10	11

La non réception devient source d'information

[1] A. Mokh, et al. "Theoretical Performance of Coherent and Incoherent Detection for Zero-Forcing Receive Antenna Shift Keying." IEEE access 6 (2018): 39907-39916.

## Systeme complet :

### SM Rx en downlink et SM Tx en uplink

- Toute la complexité est au niveau de la station de base (Tx)
  - Estimation de canal pour précodage en SM Rx
  - Détection à partir de la connaissance du canal
  - Synchronisation (MIMO)
- Au niveau de l'objet
  - La réception (Rx) est extrêmement simple : détecteur à seuil
  - Basse consommation pour le récepteur (adapté pour IoT)
  - Émission de l'information par simple émission d'un signal par activation d'une antenne parmi N
- Multi-utilisateurs possible
- Possibilité d'émettre simultanément des symboles IQ (QAM, PSK)

[2] A. Mokh, M. Helard, and M. Crussiere. "Space Shift Keying Modulations for Low Complexity Internet-of-Things Devices." *GLOBECOM 2017-2017*

## Références:

- [1] A. Mokh, et al. "Theoretical Performance of Coherent and Incoherent Detection for Zero-Forcing Receive Antenna Shift Keying." *IEEE access* 6 (2018): 39907-39916.
- [2] A. Mokh, M. Helard, and M. Crussiere. "Space Shift Keying Modulations for Low Complexity Internet-of-Things Devices." *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*. IEEE, 2017.
- [3] A. Mokh, M.Hélard, and Matthieu Crussiere. "Extended Receive Spatial Modulation MIMO scheme for Higher Spectral Efficiency." *2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference*. 2018.
- [4] A. Mokh, M. Crussière, and M. Héland. "Performance analysis of extended RASK under imperfect channel estimation and antenna correlation." *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2018 IEEE*. IEEE, 2018.
- [5] A. Mokh, M. Héland, and M. Crussière. "Extended receive antenna shift keying." *International Conference on Telecommunications*. 2017.
- [6] A. Mokh, M. Crussière, and M. Héland. "Performance analysis of the maximum ratio transmission preprocessing for extended receive antenna shift keying." *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2017 20th International Symposium on*. IEEE, 2017.
- [7] A. Mokh, Y. Kokar, M. Héland et M. Crussière, *Time reversal receive antenna shift keying on MIMO LOS channel*, Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET), 2017.

- Laboratoire IETR, équipe SYSCOM
- Modulation Spatiale
- **Le projet**
- La Plateforme /résultats
- Conclusion / Perspectives
- Discussion

- **Le projet :**

- ANR Spatial Modulation
- Objectifs : concevoir une nouvelle interface air pour l'internet des objets mobiles, à intégrer dans les interfaces air futures pour les réseaux mobiles

- Consortium

- 2 sociétés, Orange et TRCOM



- INSA de Rennes, IMT Atlantique, CentraleSupélec



## Le projet à l'INSA de Rennes

- **Objectif** : réalisation d'un prototype en Modulation Spatiale, multi-utilisateurs, temps-réel
  - Station de base : au moins 8 antennes en Tx
  - Objets : 2 avec 2 antennes
- **Challenge** : trouver un système suffisamment modulable et temps-réel avec la contrainte que le système soit parfaitement synchronisé

- Laboratoire IETR, équipe SYSCOM
- Modulation Spatiale
- Le projet
- **La Plateforme /résultats**
- Conclusion / Perspectives
- Discussion

- Nouvelle plateforme expérimentale

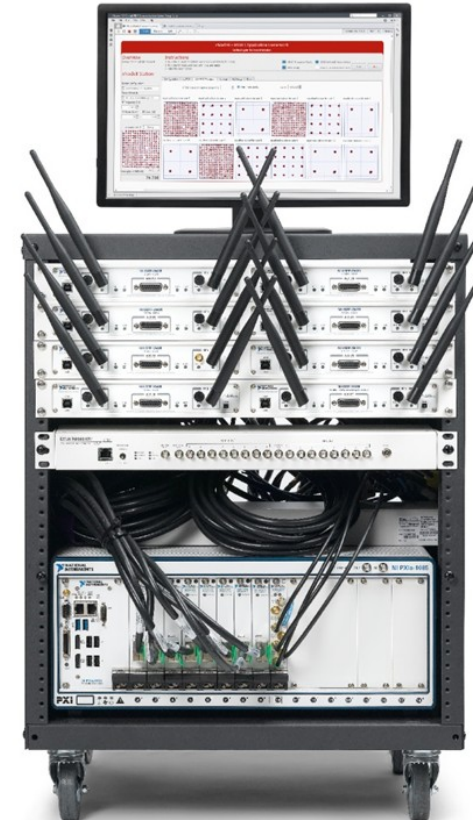
Projet EVEREST en  
collaboration avec  
National Instrument



ANR SpatialModulation  
Prototype

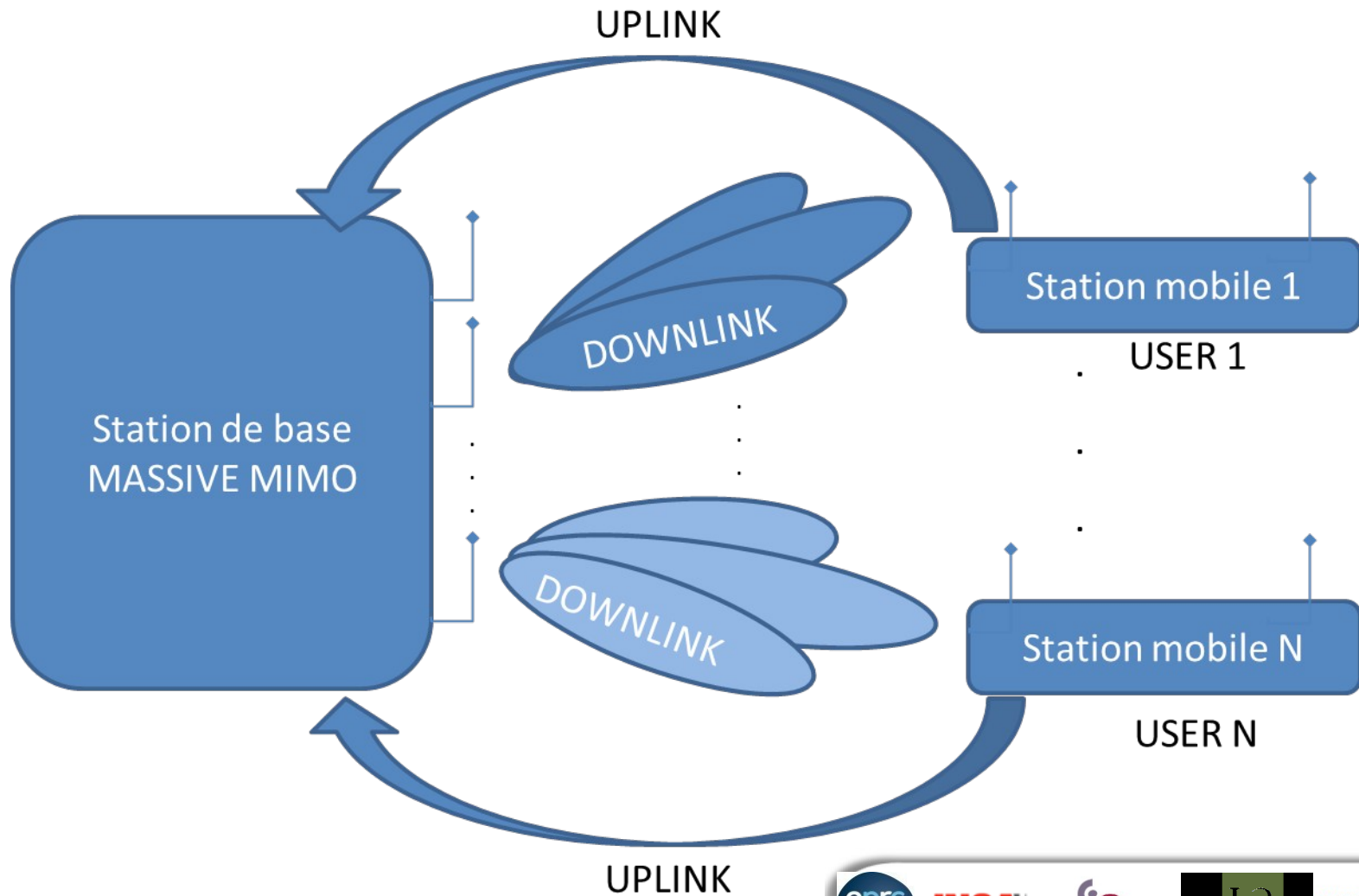


Recherche transversale axée  
à l'IETR "communications  
ondes millimétriques"

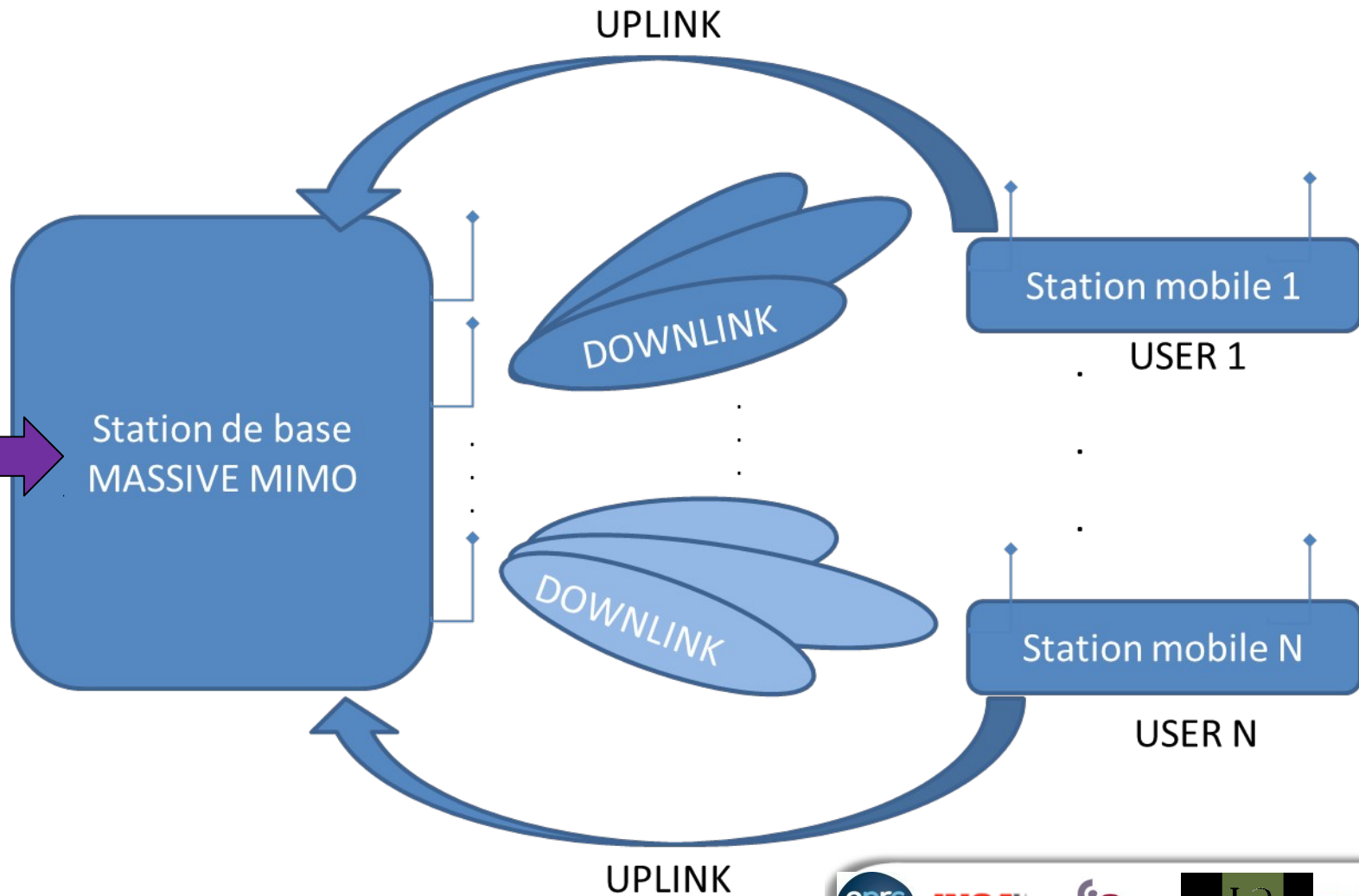




- Banc massive MIMO



- Banc massive MIMO

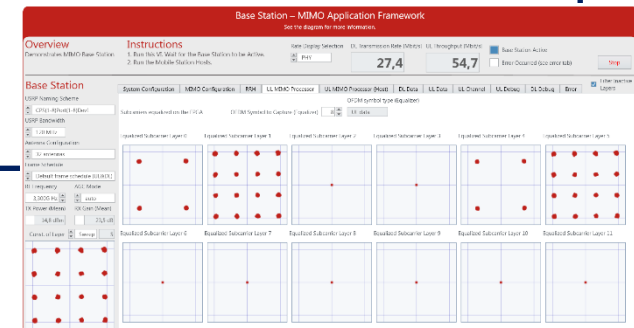


## • Caractéristiques techniques (Station base)

- 8 antennes TX/RX, ajustable jusqu'à 32 antennes
- 2 cartes FPGA pour pré-process MIMO + 4 FPGA RIO pour modulation OFDM
- Plage de fréquences : **1,2GHz - 6GHz**
- Bande passante : **20-40Mhz** en temps réel /120Mhz
- Synchronisation : horloge **OCXO** <5 ppb

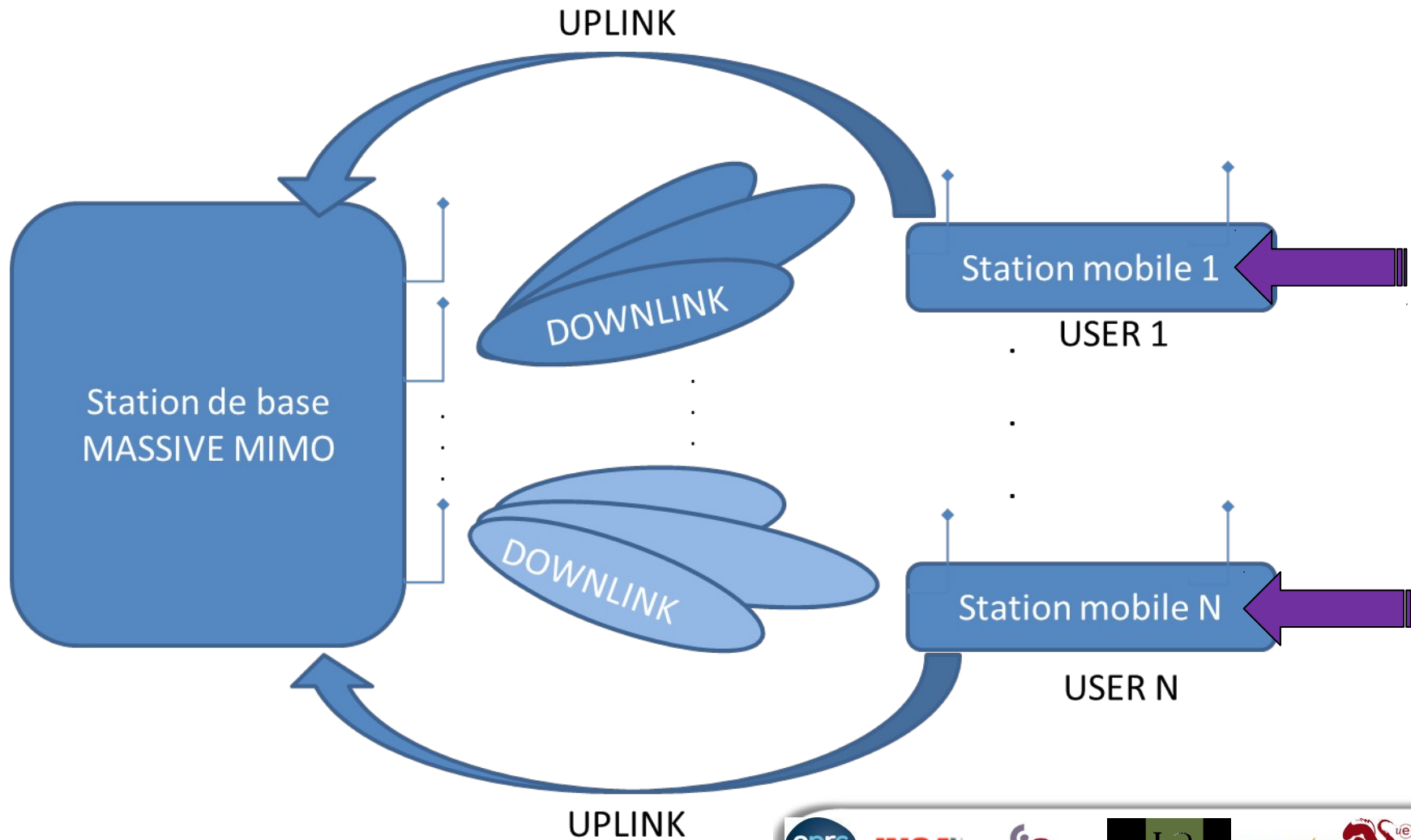
## • Théorie du signal disponible

- Estimation du canal TDD jusqu'à 12 utilisateurs
- MMSE, ZF, MRT beamforming
- LTE-like modulation OFDM (basée en RB)
- AGC
- Couche MAC basique / couche transporteuse UDP

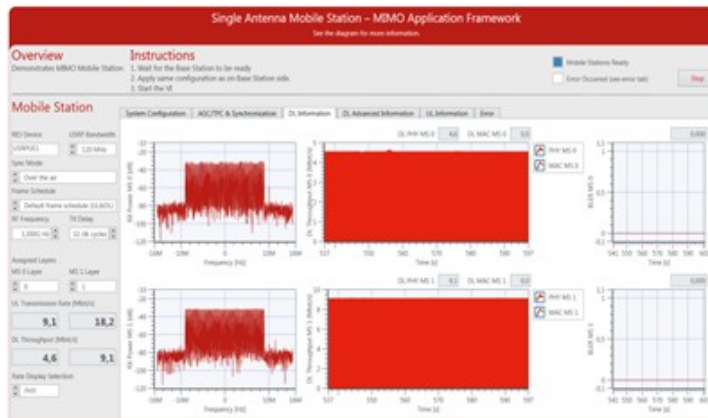


**National Instrument  
LabView Commun. 2  
+ MIMO Framework  
(128 antennes max)**

- Banc massive MIMO



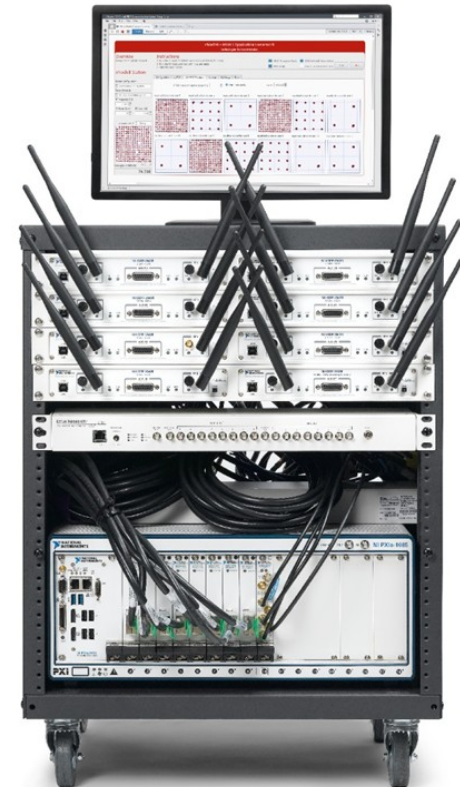
- **Caractéristiques techniques (Terminal mobile) USRP 2954R**
- 2 antennes TX/RX
- Carte FPGA pour mod/demod.
- Plage de fréquences : **1,2GHz - 6GHz**
- Bande passante : **20-40Mhz** en temps réel /160Mhz
- Synchronisation: **GPS**



**National Instrument  
LabView Commun. 2  
+ MIMO mobile station  
Framework**

## Evolutions attendues

- ✓ *De 8 à 32 connexions RF*
- ✓ *Rajout de beamformers analogiques*
- ✓ *Transposition RF à ondes millimétriques*

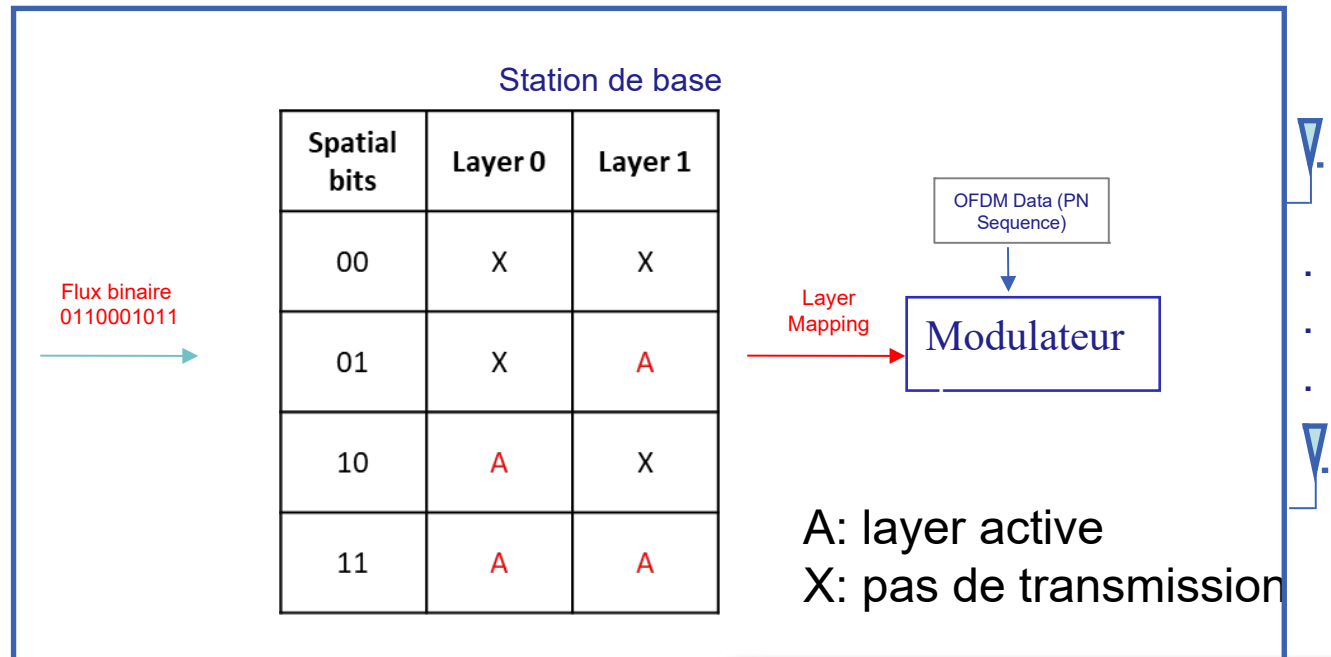


## Utilisation du MIMO Framework dans le projet

### Modifications apportées au Framework

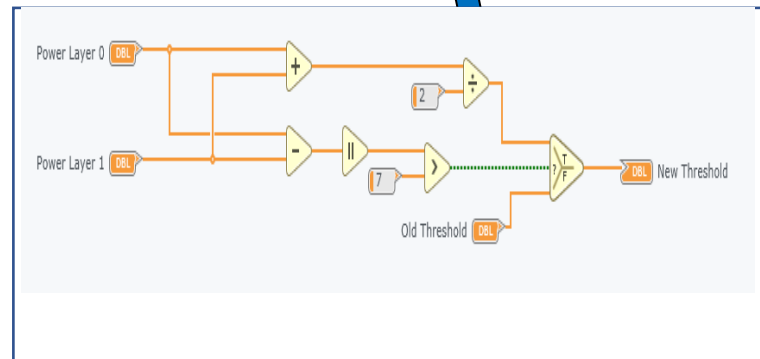
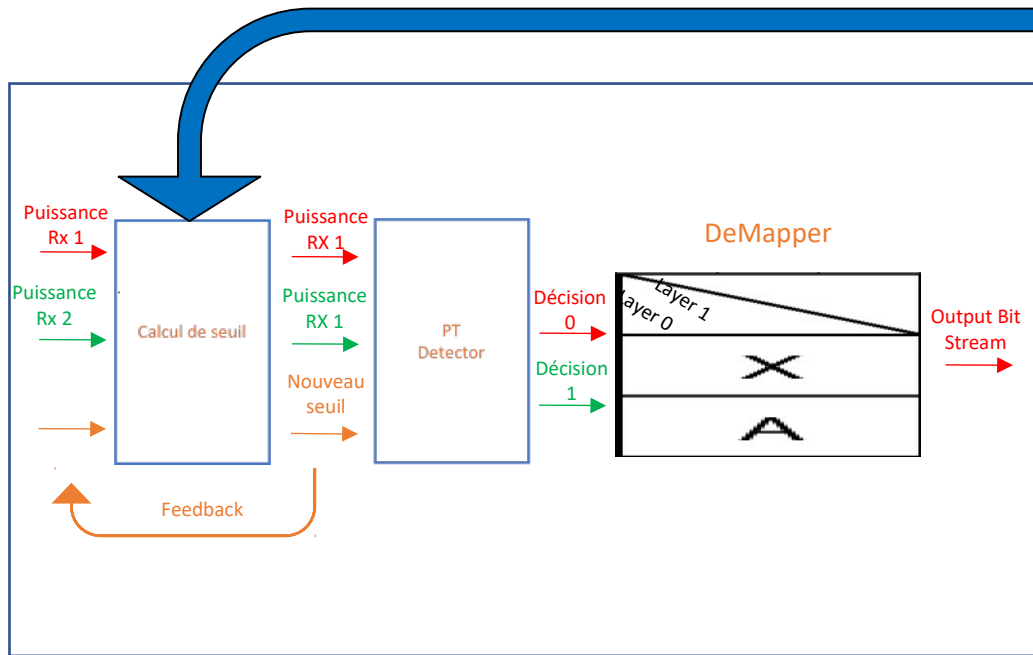
- Pour la **station de base**
  - Réutilisation possible de certaines ressources déjà présentes
    - Synchronisation système
    - Gestion multi-users
    - Algorithme de beamforming(ZF)
    - Estimation de canal
  - Choix de la conservation de la forme d'onde OFDM présente sur le framework
- Pour la **station mobile (users)**
  - Implémentation d'un algorithme de détection
  - Conservation des fonctions d'uplink indispensables à l'estimation du canal sur la station de base

- Pour la station de base :
  - Adaptation des couches Layers
    - Les couches Layer initialement correspondaient aux différents users
    - Transformation des layers en identifiants d'antennes
  - Solution envisagée pour gagner du temps sur le premier prototype



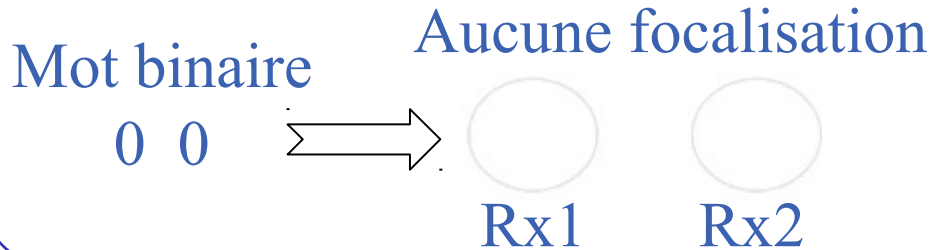


- Pour la station mobile (users):

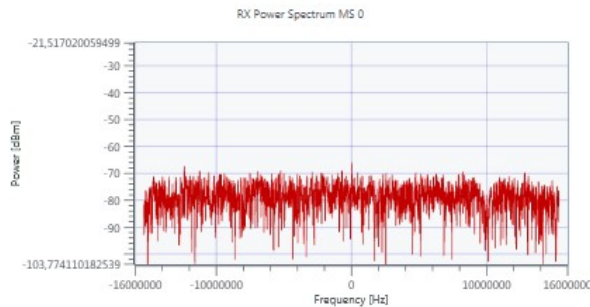


- Implémentation d'un algorithme de détection et de calcul de seuil, modification du framework couche host

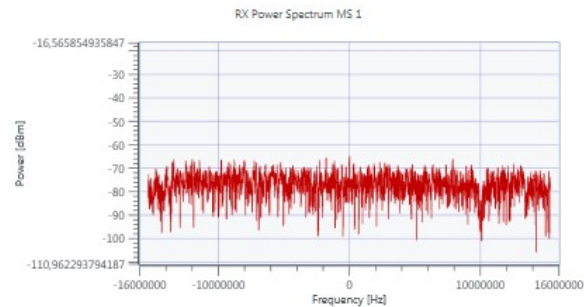
## Station de base



## Station mobile

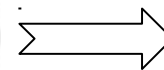
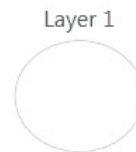
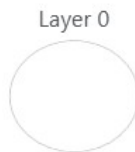


DSP Rx1



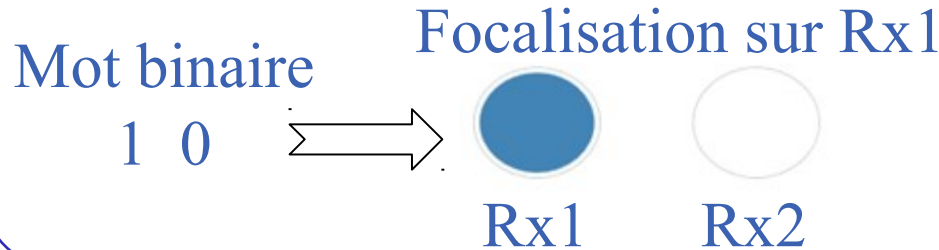
DSP Rx2

Détection

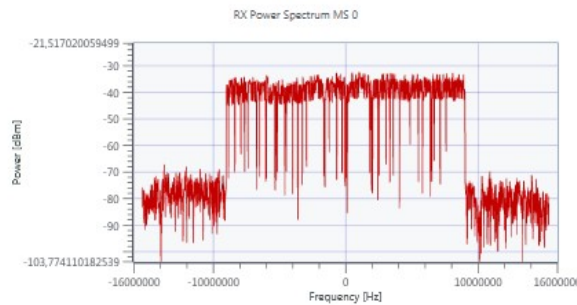


Mot binaire  
0 0

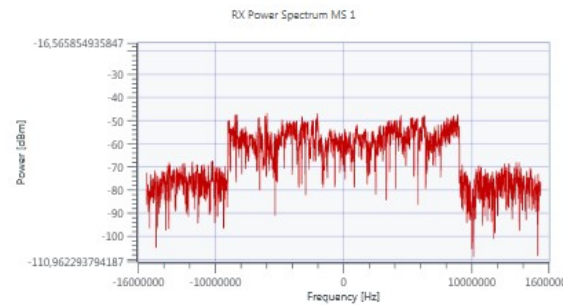
## Station de base



## Station mobile

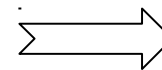
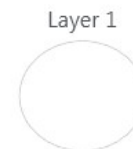


DSP Rx1



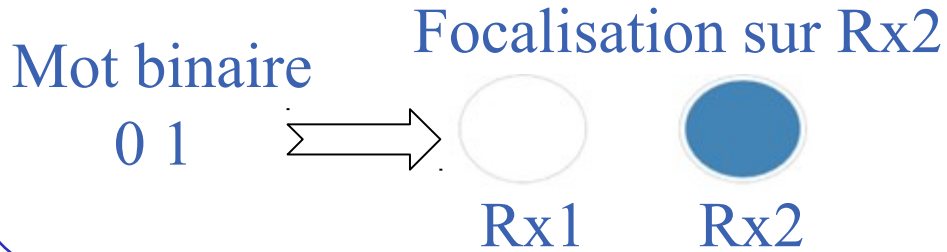
DSP Rx2

Détection

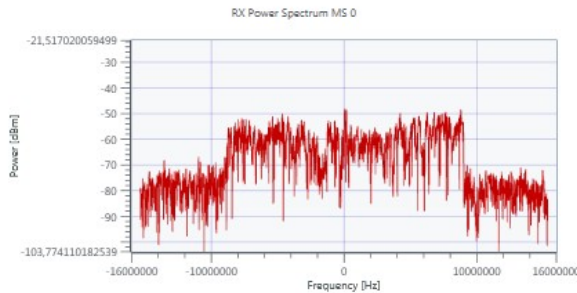


Mot binaire  
1 0

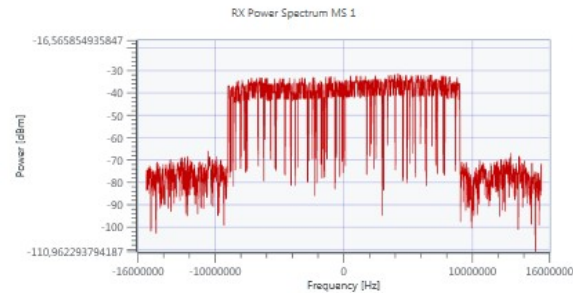
## Station de base



## Station mobile



DSP Rx1



DSP Rx2

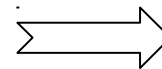
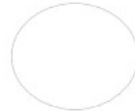
Détection

Layer 0

Layer 1

Mot binaire

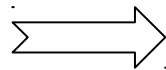
0 1



## Station de base

Mot binaire

1 1



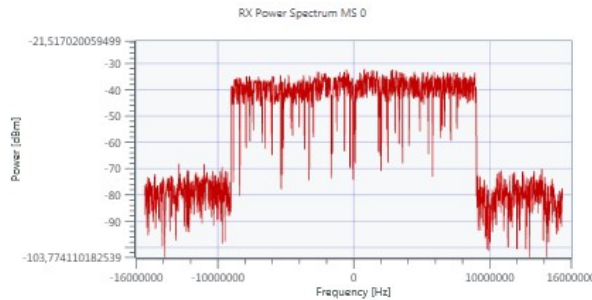
Focalisation sur Rx1 et Rx2



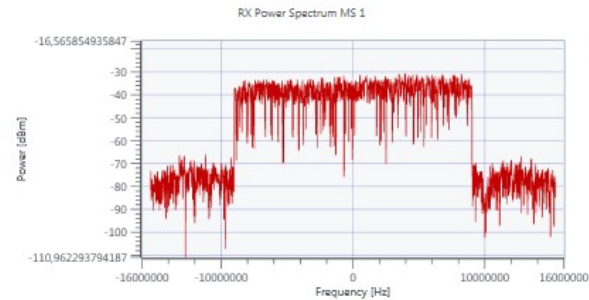
Rx1

Rx2

## Station mobile



DSP Rx1



DSP Rx2

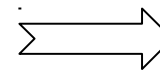
Détection



Layer 0



Layer 1



Mot binaire

1 1

- Premiers résultats concluants
  - Facilité par le framework
  - Après une phase de prise en charge du système
- Pour la suite
  - Rajout d'objets
  - Modification importante sur le framework a prévoir
    - Simplification de la couche PHY
  - Développement de nouveaux protocoles autour des modulations spatiales
  - Modes temps réel et temps différé

- Laboratoire IETR, équipe SYSCOM
- Modulation Spatiale
- Le projet
- La Plateforme /résultats
- **Conclusion / Perspectives**
- Discussion

- En conclusion
  - Projet vraiment intéressant
    - Sur le plan technique
    - De l'innovation
  - Preuve de concept simplifiée
  - Grand potentiel de la plateforme



# QUESTIONS ?

Contact : [francois.yven@insa-rennes.fr](mailto:francois.yven@insa-rennes.fr)  
<https://www.ietr.fr>  
<https://www.insa-rennes.fr/>