

Fouzia Boukour Elbahhar

**Les nouveaux systèmes de communication et de perception
électromagnétique au service des applications ferroviaires**

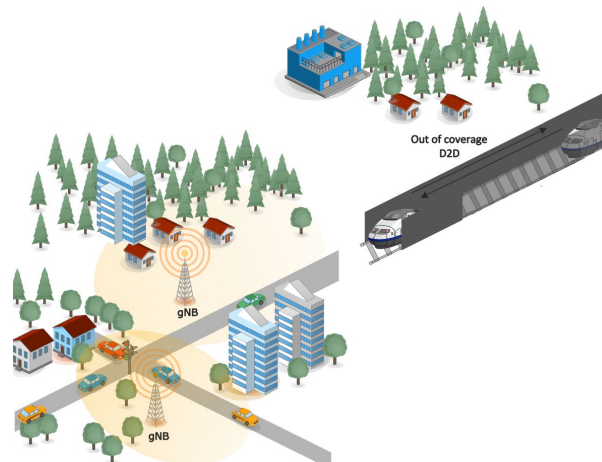


**Université
Gustave Eiffel**

Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire

Communication (IOT, 5G, beyond 5G...)

- Radio cognitive: gestion dynamique des ressources spectrale dans le contexte 5G/6G



Détection des signes vitaux du conducteur du train Vital signs detection

- Développement et implémentation des techniques de traitement du signal avancées pour l'extraction de la fréquence cardiaque et fréquence de respiration



Driver vital signs : (heart rate (HR) and respiratory rate (RR))

Contexte de l'étude

Application visée

❖ Les solutions techniques existantes

- **Capteurs proprioceptifs** : localisation et mesure de la vitesse d'un véhicule par rapport au sol :
 - ✓ localisation des rames par radar Doppler et par roues phoniques ;
 - ✓ Systèmes de contrôles de vitesse par **balises KVB**.



Balise KVB

Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire

❖ Situation actuelle: Contraintes et défaillances :

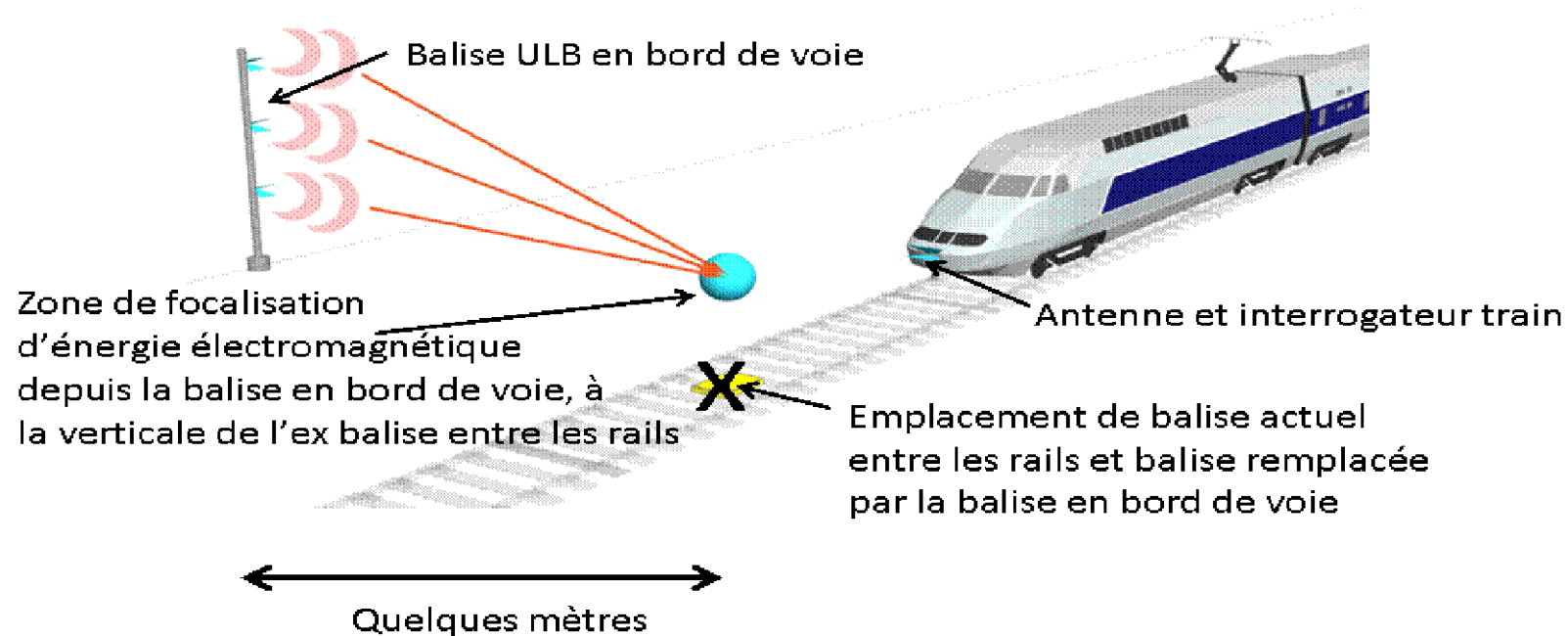
- **Erreurs de mesure** (*imprécision, dérives des capteurs*) dues à l'usure des roues ;
- **Limites** pour les lignes à fort débit et/ou vitesses de circulation élevées ;
- **Contraintes** lors des opérations de maintenances dues aux balises KVB disposées à la voie ;
- **Conditions difficiles** liées à l'exploitation en tunnel et dans d'autres endroits où les signaux radio sont fortement atténués ou perturbés.



Proposition des nouvelles approches de communication et de localisation pour les transports guidés (ferroviaire)

Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire

- ❖ Proposition : utilisation d'une balise installée latéralement le long de la voie.
 - Utilisation de la communication radio ultra-large (ULB) combinée à la technologie de retournement du temps (RT) (KVB).



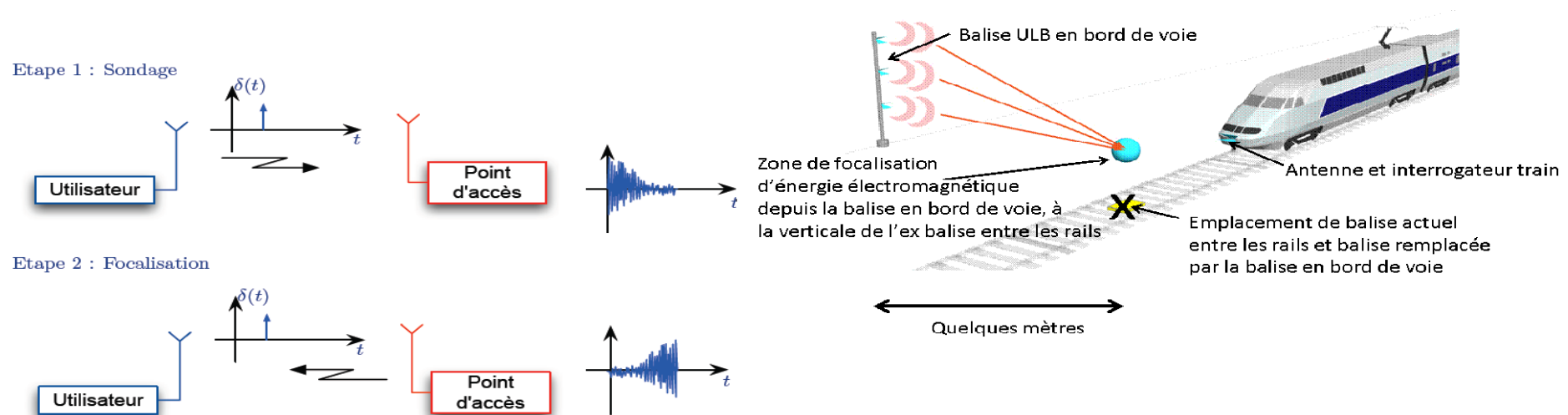
Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire

- **Exploitation d'une balise latérale**

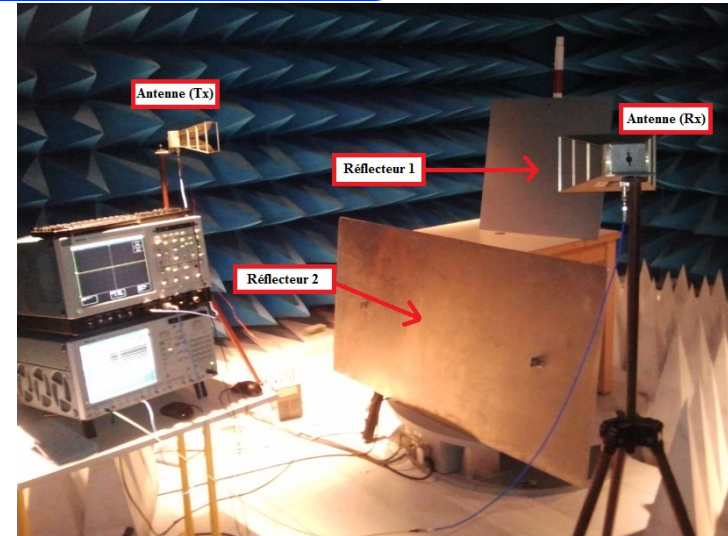
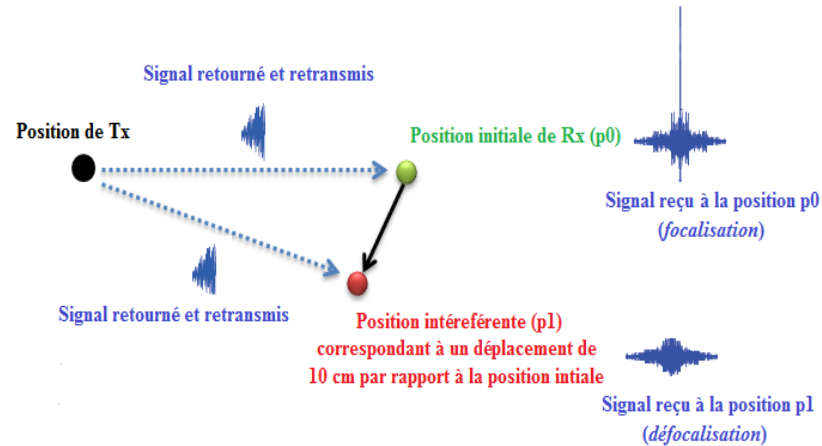
Association d'une technologie radio ultra large bande (ULB) et d'une technique de retournement temporel (RT).

- **Principe du retournement temporel :**

- RT repose sur l'invariance de l'équation de propagation d'ondes par renversement du temps.
- Cette invariance autorise une onde à se rétro propager de telle sorte qu'elle peut rejouer la scène « aller » de sa propagation mais à rebours.
- \Rightarrow Focalisation **temporelle** et **spatiale**



Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire



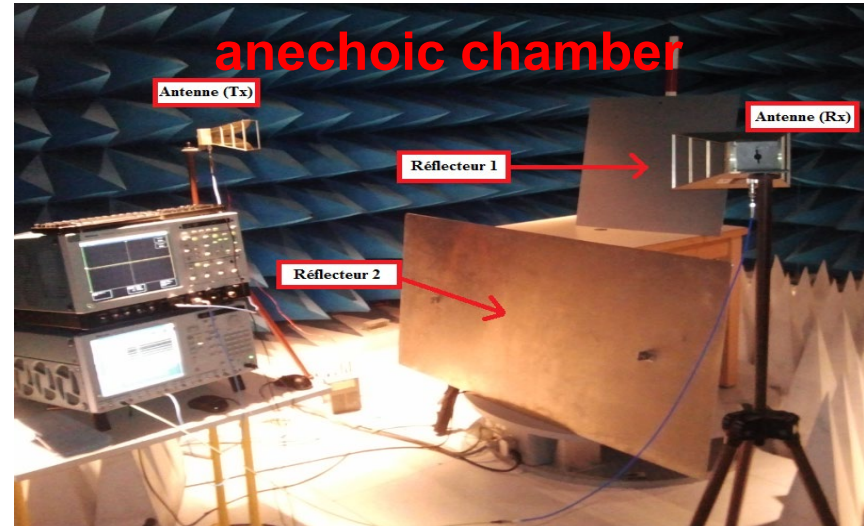
$$heq(t) = h * (-t) \otimes h(t)$$

Modèle à rayons	GF [dB]	Erreur ULB-RT [cm]
2 trajets	2.97	0.15
6 trajets	6.27	1.07
10 trajets	6.30	1.38

ULB et RT: Augmenter la portée, réduire la complexité au niveau du récepteur, assurer une localisation plus précise et une communication focalisée vers le train

Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire

Tests et validation



indoor environment (laboratory)





Balise virtuelle pour le contrôle commande ferroviaire

Limitation des Eurobalises

Le débit (564,48 Kbit/s, jusqu'à 480 Mbit/s)

Le portée (20 cm, 10 m)

La durée de la communication (3 ms, 120 ms)

Problème de maintenance

Focalisation de l'énergie eu
dessous de l'emplacement de la
balise actuelle

Tableau comparatif

Communication	Spécifications eurobalise	Spécifications nouvelle balise
Fréquence	4,234 MHz	500 MHz entre 3,11 GHz et 4,8 GHz
Modulation	2-FSK	Choix de modulation adaptatif pour obtenir la plus faible consommation possible
Débit	564,48 Kbit/s	Quelques dizaines de Mbit/s
Portée	Portée très petite limitée à 0.2m (couplage magnétique)	Portée qui peut atteindre une dizaine de mètres
Consommation	Télé-alimenté grâce à un signal de 20 W	Le plus économique possible

Communication (IOT, 5G, beyond 5G...)

Verrous scientifiques:

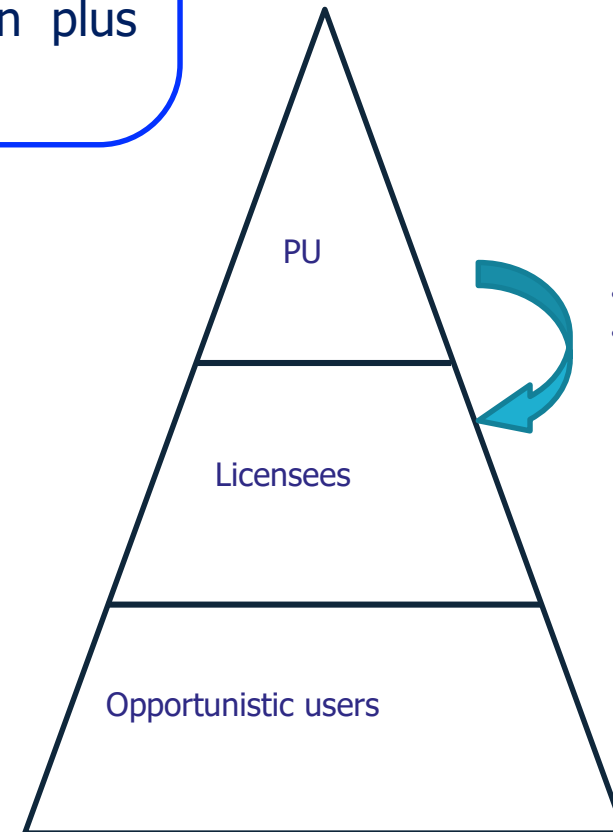
- Capacité d'avoir **une communication sécurisée**, fiable et en temps réel sans complexité ni **consommation énergétique excessive**.
- **Utilisation efficace des ressources spectrale** dans le contexte de ressources de plus en plus rares.

Utilisateurs principaux (PU) (primary Utilisateur) : droits sur l'utilisation du spectre

Utilisateur avec une licence Licensees: être titulaire d'une "sous-licence" d'une PU

Utilisateurs secondaires (U) : utilisation opportuniste du spectre

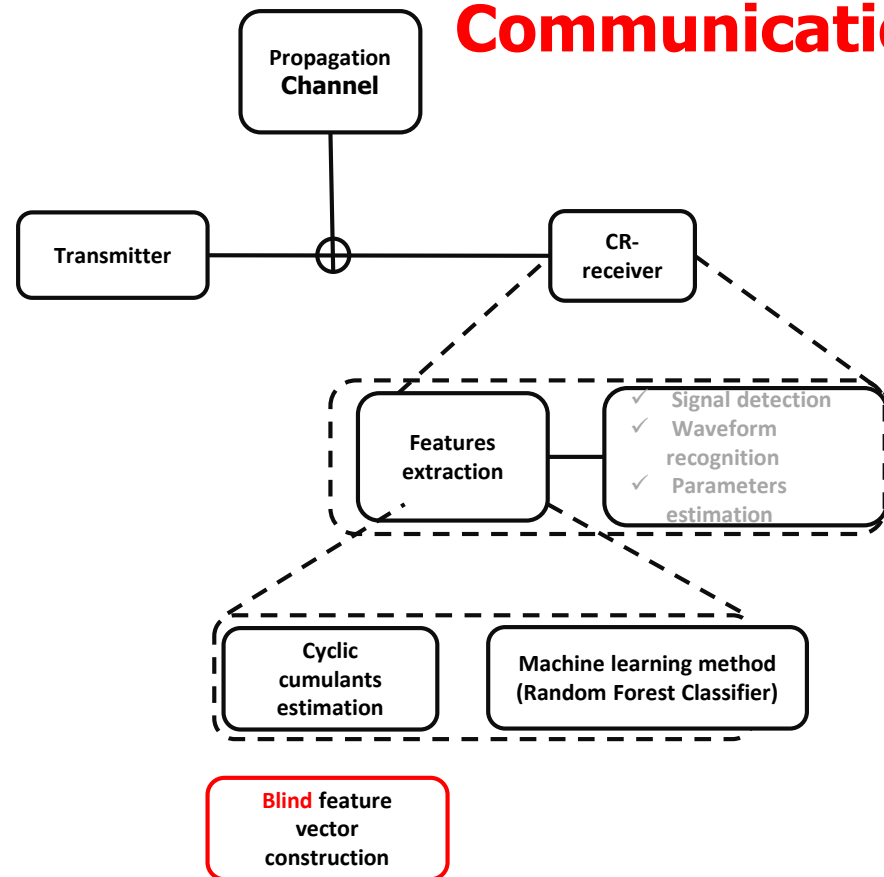
Radio cognitive : radio intelligente capable d'apprendre de son environnement radio et de s'y adapter.



- Utilisation prioritaire
- QOS garantie

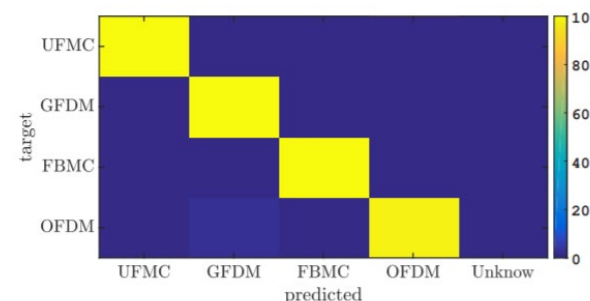
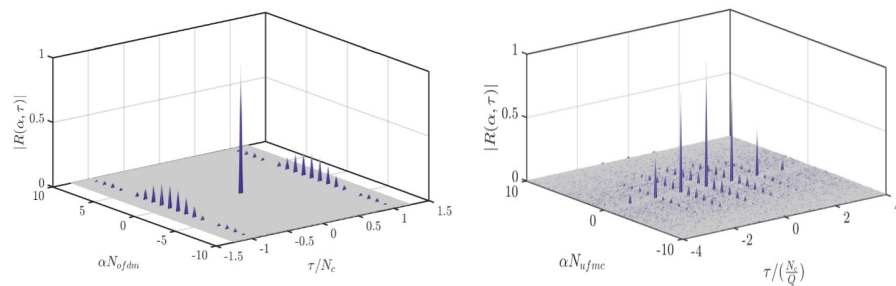
- Pas d'interférence

Communication (IOT, 5G, beyond 5G...)



- **Utilisation intelligente et dynamique de spectre:**
- Possibilité d'une utilisation opportuniste du spectre
- intégrer des capacités d'apprentissage afin de pouvoir "improviser" face à une situation nouvelle.
- Possibilité de transmettre sur d'autres bandes (indisponibilité volontaire ou involontaire)

- **Notre contribution:**
- Techniques de traitement du signal avancées : Cyclostationairité, Algorithmes de Machine Learning



(B) SNR=-4 dB

Real signal	Predicted signal		
	ITS-G5	LTE-V2X	NR-V2X
ITS-G5	1.00	0.00	0.00
LTE-V2X	0.00	0.99	0.01
NR-V2X	0.00	0.01	0.99

Détection des signes vitaux

❖ Mesure des fréquences (cardiaque et respiratoire)



Oxymètre



Electrocardiogramme

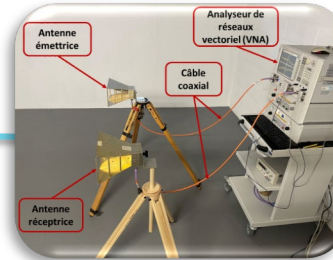


Phonocardiogramme



Stéthoscope

Instruments
de mesure



RADAR

Verrous scientifiques:

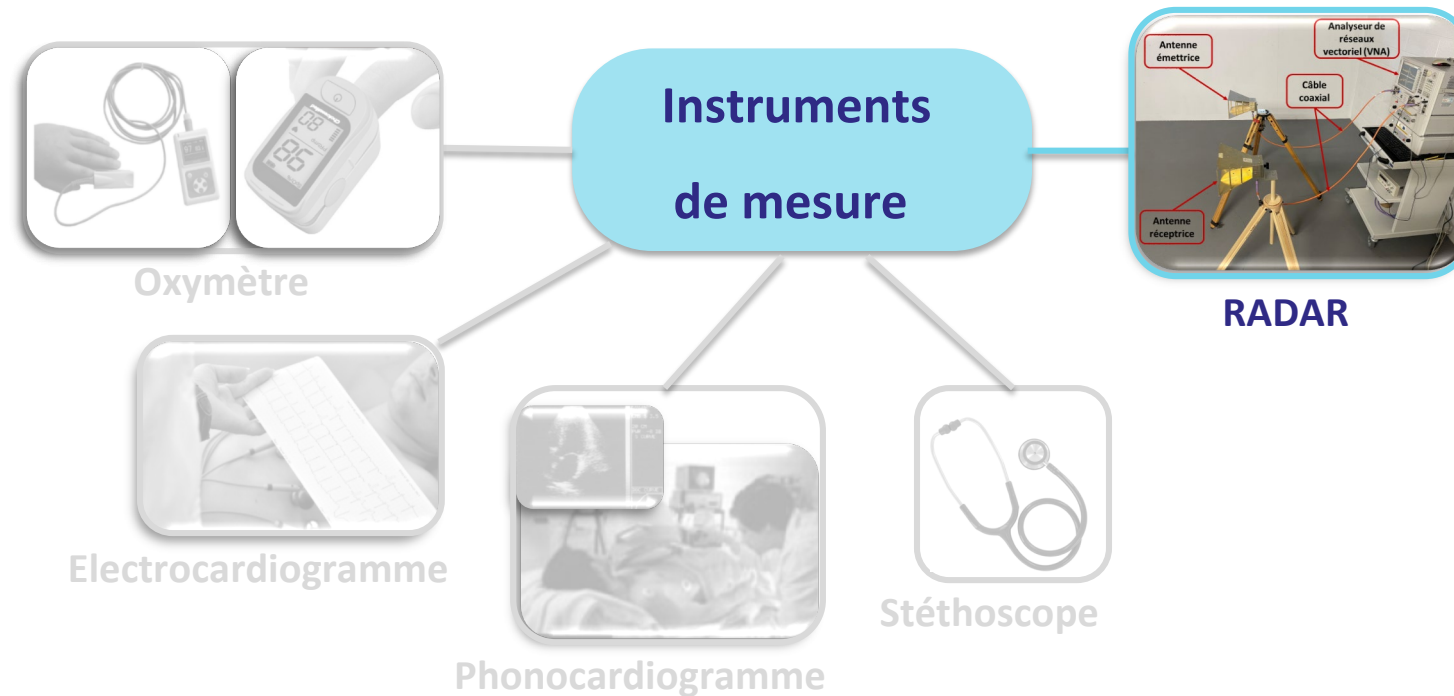
-Extraction des fréquences cardiaque et respiration

Contrainte:

- environnement à Faible rapport signal sur bruit
- Harmoniques de la respiration >> Fondamentale cardiaque
- Faible nombre d'échantillons: faible temps de réponse

Détection des signes vitaux

❖ Mesure des fréquences (cardiaque et respiratoire)

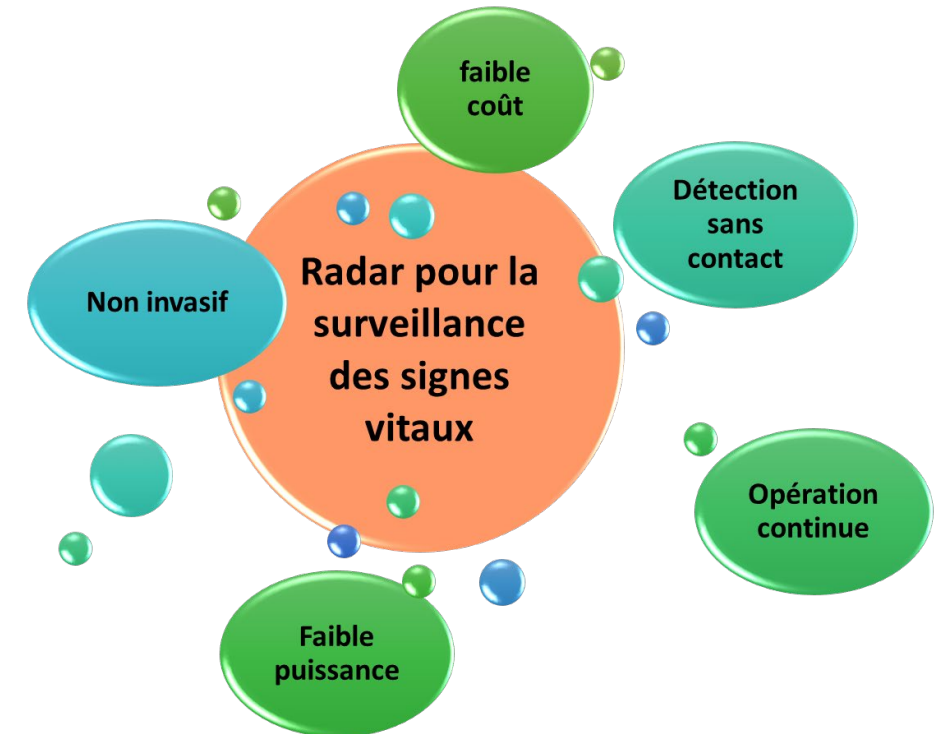


Inconvénients:

- Réactions avec les électrodes/gel d'électrode => Allergies
- Difficile à placer correctement
- Mauvaise organisation d'espace

Intérêt du Radar

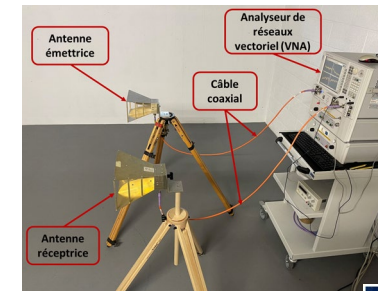
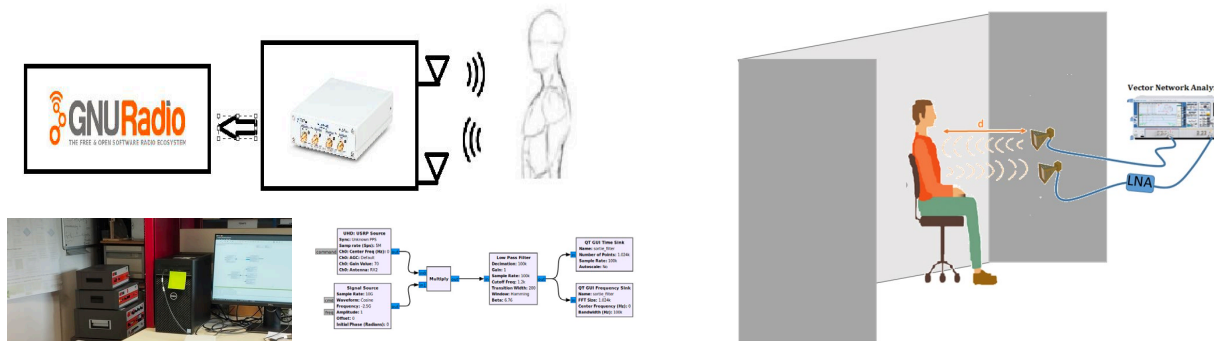
- Simplification de l'organisation de l'espace
- Sensibilité aux paramètres physique (les matériaux) et géométriques (la distance)
- Bonne résolution dans les hautes fréquences:



Détection des signes vitaux

- **Le choix du système adéquat:** le choix du radar et Les techniques de traitement du signal les plus adaptées
- **Etude paramétrique et validation (matériel du laboratoire, SDR) de l'approche proposée:**
 - Paramètres de l'environnement de mesure (Différents scénario du sujet)
 - Paramètres du radar (la Fréquence adéquate, Nombre d'échantillon nécessaire)

Scénario 1



Scénario 1		MySignal		Cyclostationnarité	
		f_r (Hz)	f_h (Hz)	f_r (Hz)	f_h (Hz)
Scénario 1	50 cm	0.2	1.08	0.197	1.060
	1 m	0.18	1.07	0.174	1.06

Contact: fouzia.boukour@univ-eiffel.fr

