

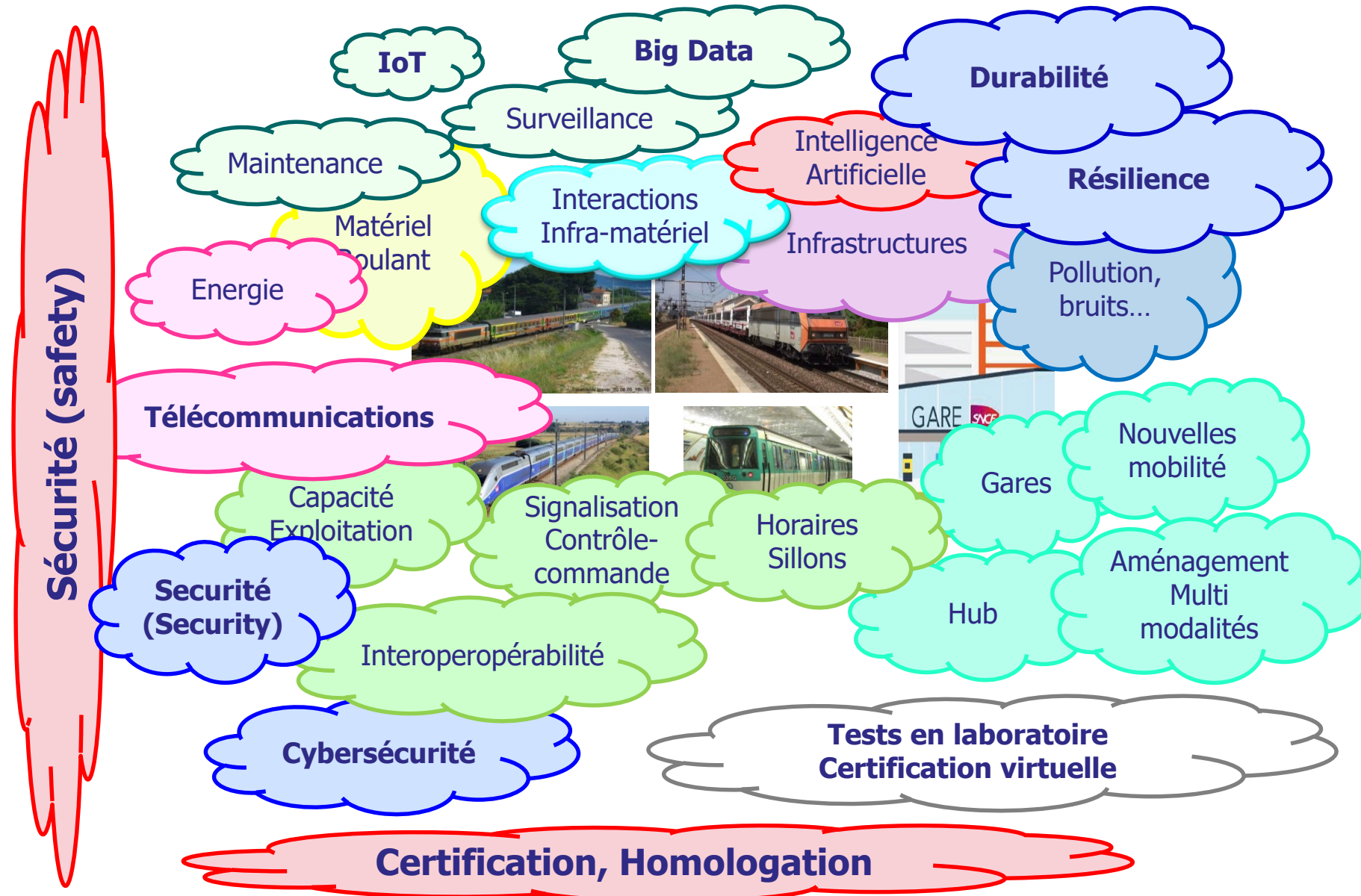
Le 29/09/2022

**Dr Marion Berbineau**  
Directrice de Recherches en  
télécommunications sans fil  
Chargée de la coordination des  
activités de R&I dans le  
ferroviaire

Université Gustave Eiffel

# Etat des lieux des systèmes de communication ferroviaire (train-sol, intra-train, inter-trains)

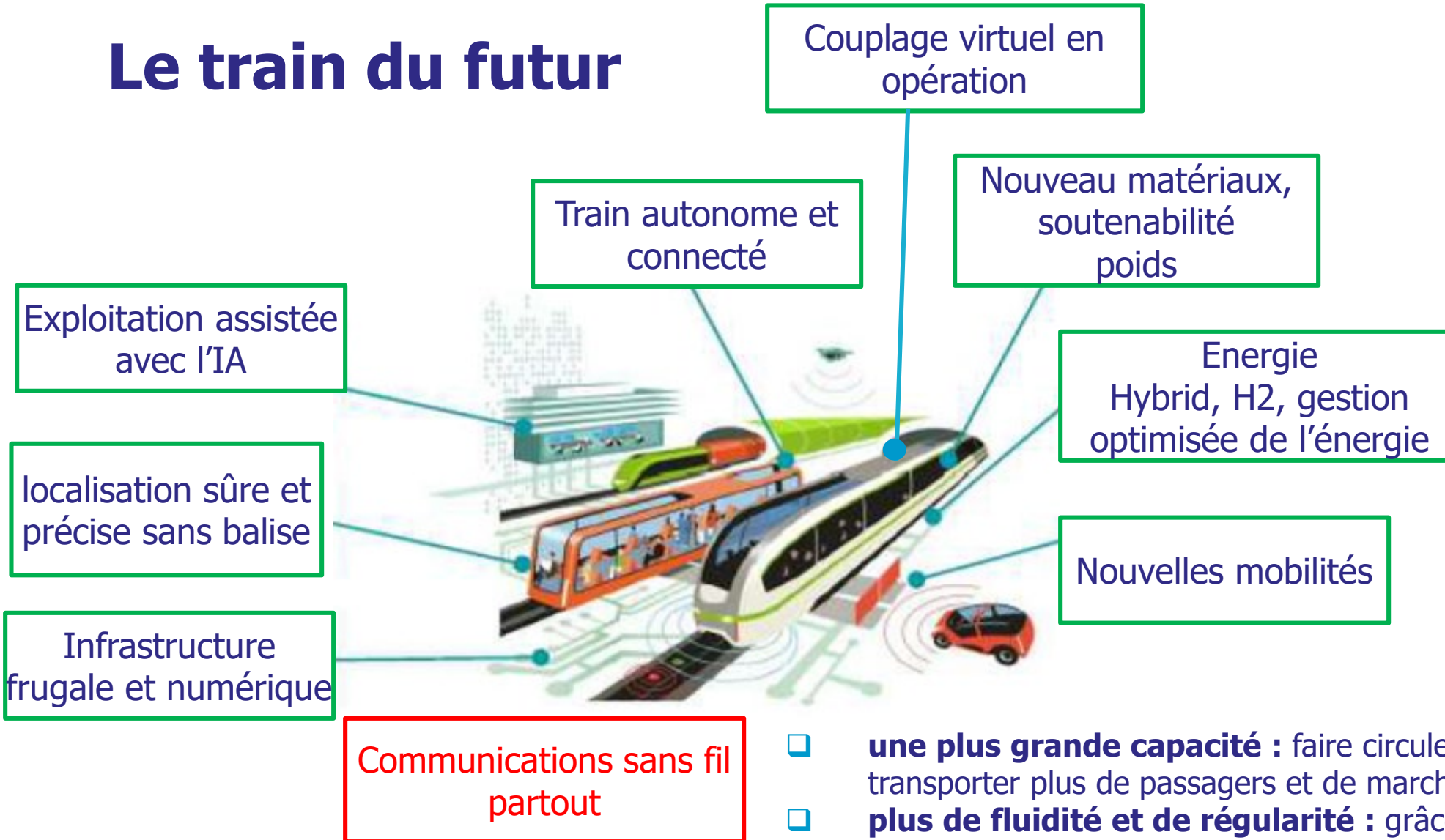
# Qu'est ce que le système ferroviaire ?



# Quels sont les principaux défis pour le rail?

- ✓ le transfert d'une partie substantielle des 75 % de fret intérieur transporté par la route vers le rail et les voies navigables intérieures,
  - ✓ les voyages collectifs réguliers de moins de 500 km devraient être neutres en carbone d'ici 2030 dans l'UE.
  - ✓ le trafic sur les trains à grande vitesse doublera d'ici 2030 et triplera d'ici 2050.
  - ✓ le trafic ferroviaire de marchandises augmentera de 50 % d'ici à 2030 et doublera d'ici à 2050.
  - ✓ un réseau transeuropéen de transport (RTE-T) multimodal et pleinement opérationnel pour un transport durable et intelligent avec une connectivité à grande vitesse d'ici 2050.
  - ✓ améliorer la compétitivité du rail
- ➔ Tout en maintenant le même niveau de sécurité et en réduisant le temps de mise sur le marché (certification, homologation plus efficaces)
- ➔ Le système ferroviaire entre dans l'ère de **l'automatisation totale** grâce aux capteurs sans fil et aux systèmes de communications, de localisation et de perception évolués qui transfèrent les fonctions de contrôle du conducteur humain à des ordinateurs

# Le train du futur



- ❑ **une plus grande capacité** : faire circuler plus de trains permet de transporter plus de passagers et de marchandises
- ❑ **plus de fluidité et de régularité** : grâce à un trafic harmonisé et une vitesse optimisée, il est plus facile de faire face à des événements imprévus
- ❑ **un transport plus écologique** : grâce à la réduction de la consommation d'énergie et au transfert de la route vers le rail.

# Un système de systèmes complexes

La complexité des systèmes demande de satisfaire 3 fonctions vitales pour le train autonome et connecté:

- **Communiquer,**
- **Localiser/ Naviguer**
- **Surveiller**

Les informations doivent être partagées entre les différents acteurs du système: gestionnaire d'infrastructure, gestionnaire des trains, gestionnaire de la maintenance, des horaires, des clients...



# CNS pour le train autonome et connecté

## Communiquer

**Besoin de disponibilité, continuité de service, débit, robustesse, mobilité, interopérabilité**

- Radio Intelligente
- Intégration d'antennes, blindage, gestion des interférences
- Sécurité-sûreté (intégrité, confidentialité, sûreté de fonctionnement)
- Réseaux de capteurs
- Résilience, cybersécurité du système

## Naviguer

**QoS et applications satellitaires (GNSS)**

améliorer et quantifier la qualité de service en environnements contraints

- Disponibilité, précision, intégrité
- Sûreté de fonctionnement
- Standardisation / Certification
- Couplage avec des cartes numériques, d'autres systèmes (inertiel bas coût, radio...)

## Surveiller

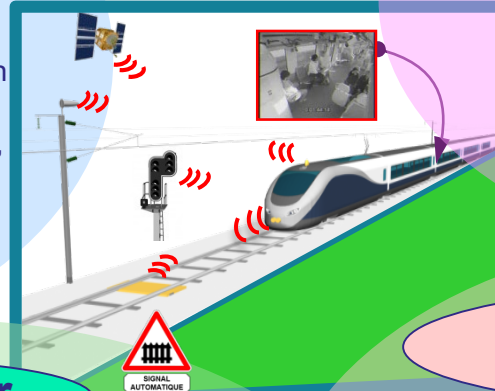
**Détecter, alerter**

- Détection des situations potentiellement dangereuses le long des voies, intersections, passages à niveau, intérieur des véhicules
- Détection de la signalisation latérale
- Détection des attaques (cybersécurité)
- Diagnostic et maintenance, prévention
- Alerte
- Facteurs humains

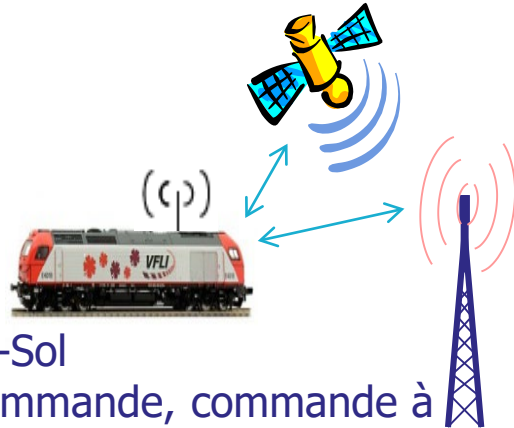
## Gestion du trafic, contrôle-commande

**Prédiction et connaissance en temps réel du trafic pour optimiser les flux, réduire la consommation d'énergie, informer les clients, contrôle-commande**

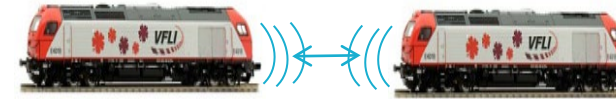
- Modèles de Trafic, gestion du trafic
- ERTMS-ETCS, CBTC pour les métro, tram, bus
- Interopérabilité, convergence ERTMS-CBTC
- Sécurité et sûreté, sûreté de fonctionnement
- Information passagers, intermodalité



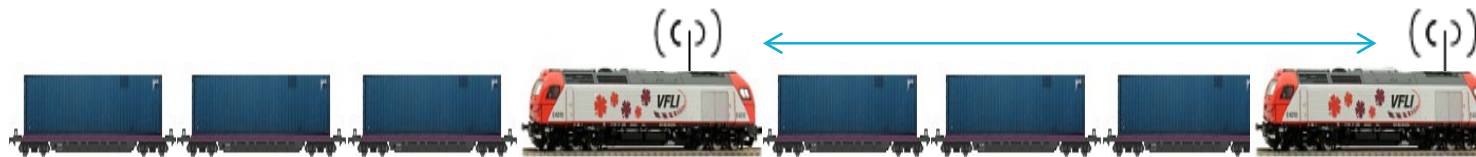
# Les types de communications



**T2G:** Train-Sol  
contrôle-commande, commande à distance, maintenance, info passagers, internet à bord



**T2T**  
Couplage Virtuel  
Connexion réseaux embarqués

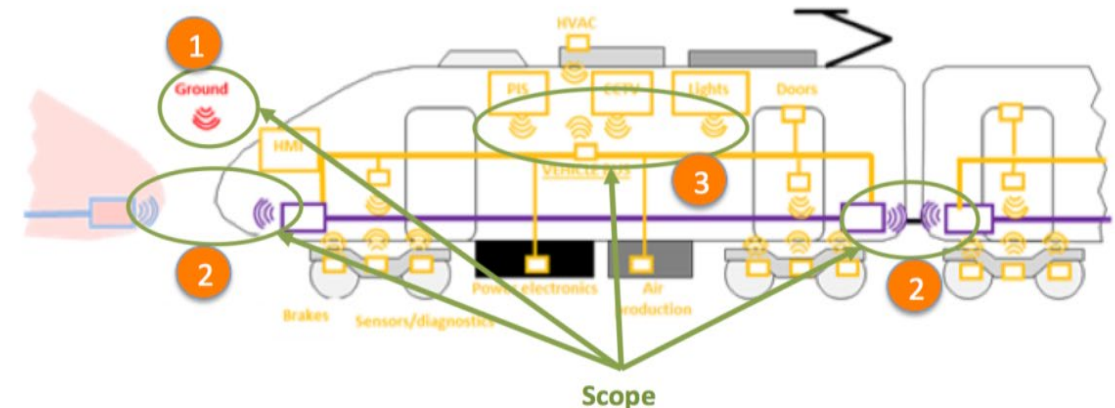


**T2T**  
Télécommande des locomotives



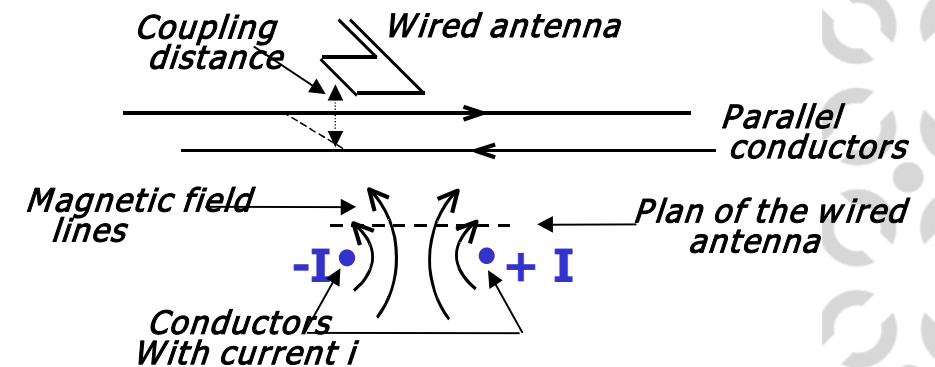
Intérieur du train

Capteurs embarqués  
Réseau embarqué



# Les principales technologies existantes

- Communications ponctuelles ou balises
- Communications par induction (ligne bifilaire)
- Communications filaires embarquées
- Communications CPL
- Fibre optique



## → Evolution massive vers la radio

- ✓ GSM-R pour le contrôle-commande des trains
- ✓ Communication Based Train Control dans les métros basé sur des technologies proches du Wi-Fi
- ✓ Internet des Objets (Wi-Fi, ZigBee, LORA, SigFox, LTE direct...)
- ✓ Déploiement Wi-Fi généralisé
- ✓ Radio Privées pour la transmission de données



# Quelques problèmes liés à la radio dans le ferroviaire

- ❑ Cohabitation des systèmes sans fil, intégration dans le matériel roulant ou à la voie
- ❑ Interopérabilité des systèmes
- ❑ Interférences volontaires ou non
- ❑ Continuité de service (couverture radio des systèmes, gestion de la mobilité, passage des frontières...)
- ❑ Intégrité de l'information
- ❑ Pérennité des systèmes et des composants de télécommunication au regard de la durée de vie du matériel roulant
- ❑ Disponibilité des fréquences, largeur de bandes
- ❑ Débits – temps de traitement des informations
- ❑ Temps d'établissement d'une connexion, temps de détection des pertes de connexion

# Quelques difficultés pour le déploiement des systèmes sans fil « sur étagère » dans le ferroviaire

- Les standards sont conçus pour l'accès internet (liens dissymétriques – pas de haut débit dans le sens montant)
- Capacité et débit sont inversement proportionnels à la taille de la zone de couverture et à la vitesse
- Les systèmes de communication haut débit sont souvent non disponibles en dehors des zones urbaines denses
- La gestion de la mobilité n'est pas nécessairement prévue de façon simple dans le standard ( ex : WIFI)
- Les allocations de fréquences sont différentes dans les différents pays d'Europe et dans le monde
- Les milieux de propagation sont spécifiques (tranchées, tunnels, canyons urbains, intérieur des trains...)

# Les nouveaux besoins en communications sans fil



Téléconduite  
des trains  
Vidéo temps  
réel HD

Télé  
maintenance

Internet  
Des  
Objets



Train  
autonome

Confort  
passager



Couplage  
virtuel



Surveillance  
embarquée  
Vidéo temps réel  
HD



Réseau sans fil  
embarqué

**Obsolescence  
du GSM-R en  
2030**

# L'intérêt de la 5G pour le ferroviaire

- Très hauts débits: ~ Gbps
- Grandes bandes de fréquences: ~ GHz
- Très faible Latence: ~ Ultra Low Latency
- Virtualisation des fonctions du réseau
- Multiplexage de réseaux logiques virtualisés et indépendants sur la même infrastructure de réseau physique (en théorie, 2 opérateurs de téléphonie peuvent partager une même infrastructure physique)

➔ **Comment remplacer le GSM-R par le Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) basé sur la 5G**



# Quels défis pour le FRMCS?

- FRMCS remplacera GSM-R sur 250.000 km de lignes dans le monde et sera installé sur 200.000 locomotives.
- GSM-R et FRMCS devront coexister de façon transparente dans les mêmes bandes durant la phase de transition
- La question du modèle économique pour les opérateurs de télécommunications sans fil par rapport aux exigences de couverture radio, de sécurité, de résilience est à construire
- Quels sont les services sur le FRMCS devra porter? GSM-R, ETCS niveau 2, train autonome, téléconduite, ETCS niveau 3, contrôle à distance, surveillance embarquée, IoT....?
- Comment répondre à tous les besoins dans de bandes si étroites?
- Comment garantir le niveau de disponibilité exigé pour les communications critiques
- Comment garantir la cybersécurité



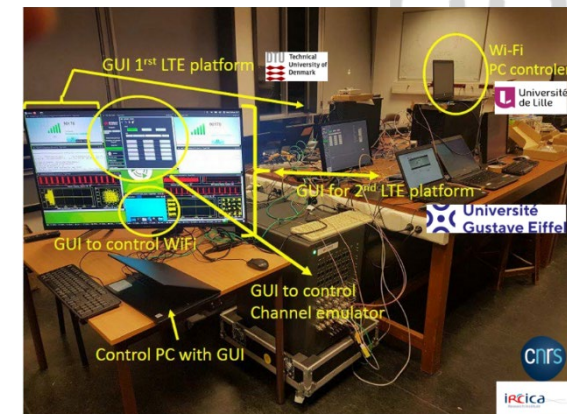
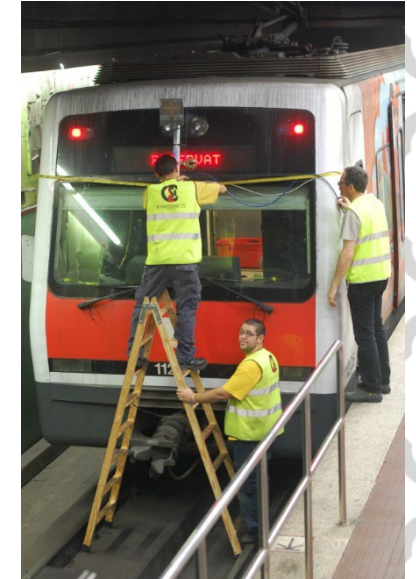
# Quelques contributions récentes de l'Université Gustave Eiffel sur le thème de la radio pour le ferroviaire

- **Anticiper la 5G et ses évolutions dans le ferroviaire**
  - ✓ Nouvelles formes d'ondes et optimisation du traitement des signaux en émission et en réception, exploitation des capacités cognitives de la 5G,
  - ✓ Prise en compte de l'efficacité énergétique et spectrale dans les traitements
  - ✓ Techniques multi-utilisateurs non orthogonales
  - ✓ Caractérisation / modélisation / émulation des canaux de propagation radio ferroviaire
  - ✓ Explorer les hautes fréquences (30 GHz, 60 GHz) pour des applications ciblées
- Hybridation des systèmes 5G avec d'autres systèmes
- Protocoles de communication optimisés pour les réseaux véhiculaires et pour les réseaux de capteurs
- Intégration des antennes
- Caractérisation du niveau d'exposition électromagnétique, résilience aux attaques

# Quelques exemples de projets

- **Safe4Rail (H2020):** Développement d'un réseau de communication embarqué TCMS
- **TC-RAIL (ANR-Railenium):** Téléconduite des locomotives, démonstration de l'intérêt de la 5G
- **X2RAIL-1, 3, 5 (Shift2Rail):** Développement du FRMCS et d'une solution multi technologies
- **Emulradio4Rail (Shift2Rail):** banc de tests multi technologies pour le FRMCS
- **X2RAIL-3 (Shift2Rail):** contribution à la spécification du couplage virtuel, analyse technologies radio candidates, développement d'une méthodologie d'analyse de la sûreté de fonctionnement pour un système sans fil
- **X2RAIL-4 (Shift2Rail):** Développement et démonstration d'une nouvelle génération de réseau de capteurs reconfigurables pour le ferroviaire (NEWNECTAR)
- **mmW4Rail (ANR):** Exploration de la gamme millimétrique pour le ferroviaire, caractérisation et modélisation des canaux, développement de solutions pour optimiser les transmissions
- **5GRAIL (ICT H2020):** 5G for future RAILway mobile communication system, valider en laboratoire et sur site d'essais les premières spécifications FRMCS, imaginer des solutions de coexistence entre les systèmes route et rail
- **5GRACOM (BPI):** Projet Franco allemand pour définir et valider des solutions de coexistence GSM-R et FRMCS dans les mêmes bandes, développer des modèles de déploiement, étudier des solutions de partage du spectre

Et tous les projets à venir au sein de EUROPE's Rail



**Marion Berbineau**

marion.berbineau@univ-eiffel.fr

06 84 58 00 64

