



**HAL**  
open science

# Développement d'un noeud ultrason synchronisé par GPS sur base PEGASE 3 : application au monitoring de rail

Bastien Chapuis, Vincent Le Cam, Maxime Darbois

► **To cite this version:**

Bastien Chapuis, Vincent Le Cam, Maxime Darbois. Développement d'un noeud ultrason synchronisé par GPS sur base PEGASE 3 : application au monitoring de rail. 3ième Journée nationale SHM de la Cofrend, COFREND, Dec 2020, Paris, France. hal-04483980

**HAL Id: hal-04483980**

**<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04483980>**

Submitted on 29 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**list**  
cea tech

 **Université  
Gustave Eiffel**



3ème journée annuelle  
**SHM@COFREND**

10 DÉCEMBRE 2020  
WebConférence

contact : [shm@cofrend.com](mailto:shm@cofrend.com)

**COFREND**  
Observatoire Français pour les Ferrés Non Destructifs

## DÉVELOPPEMENT D'UN NŒUD ULTRASON SYNCHRONISÉ PAR GPS SUR BASE PEGASE 3 : APPLICATION AU MONITORING DE RAIL

Journée SHM@COFREND 10 décembre 2020 | Bastien CHAPUIS, Vincent LE CAM et Maxime DARBOIS

**ALSTOM**

 **INSTITUT  
CARNOT**  
CEA LIST

 **université  
PARIS-SACLAY**



- **Besoin et solutions existantes**
- **Système de monitoring de rail par ondes élastiques guidées**
- **Mise au point d'un prototype et essais sur site**
- **Industrialisation et perspectives**

# Market Situation Assessment – Broken Rail Statistics

## NUMBER OF BROKEN RAILS PER KM PER YEAR

Europe Mainlines & freight



Passenger lines < 145 km/h  
Europe + US



Europe & US freight



Passenger lines > 145 km/h  
Europe + US



## BROKEN RAILS IN METRO



**United Kingdom**

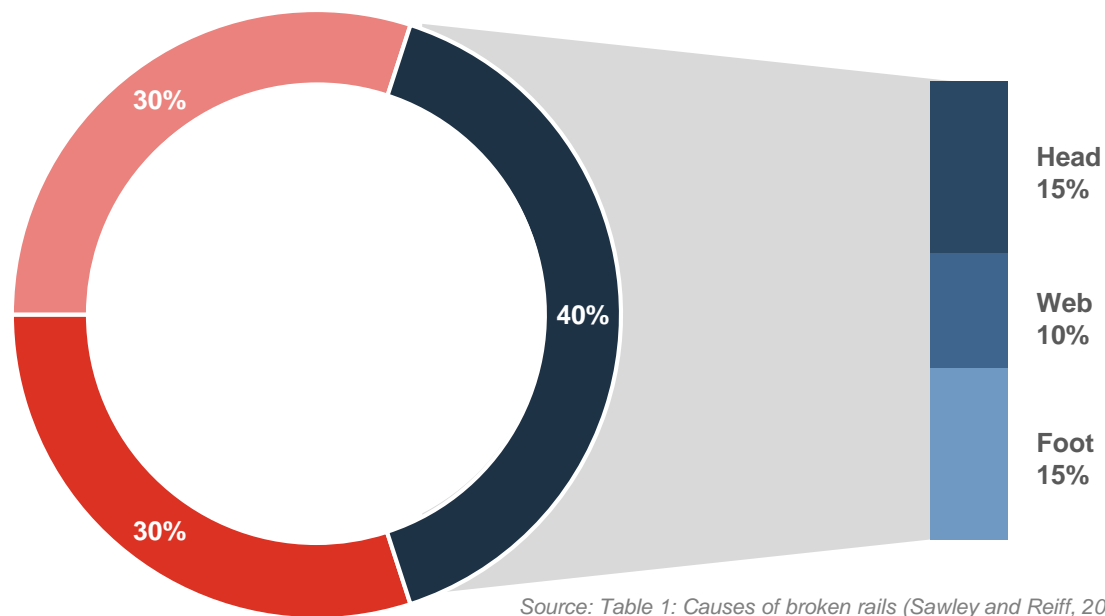
2,2 < breaking rail / line / year < 4,2  
0,03 < BR / km / year < 0,06



**FRANCE**

3,8 breaking rail / line / year  
0,13 breaking rail / km / year

# Market Situation Assessment – Average broken rail origin



Fatigue, transverse and vertical cracks

COVERED BY RAIL SHM

Welding or Joints

COVERED BY RAIL SHM

Head rolling contact fatigue

PARTIALLY COVERED BY RAIL SHM



# Existing solutions

## Track circuit for detection

Today: Track Circuit use for detection as a derived solution to detect rail brake



**Rail break detection is an indirect function of track circuits:** track circuits are often changed to Axle Counter when signaling system is upgraded: renovation or ETCS level 2/3 for Mainline or CBTC in Metro. In this case rail integrity function needs to be addressed with another solution.

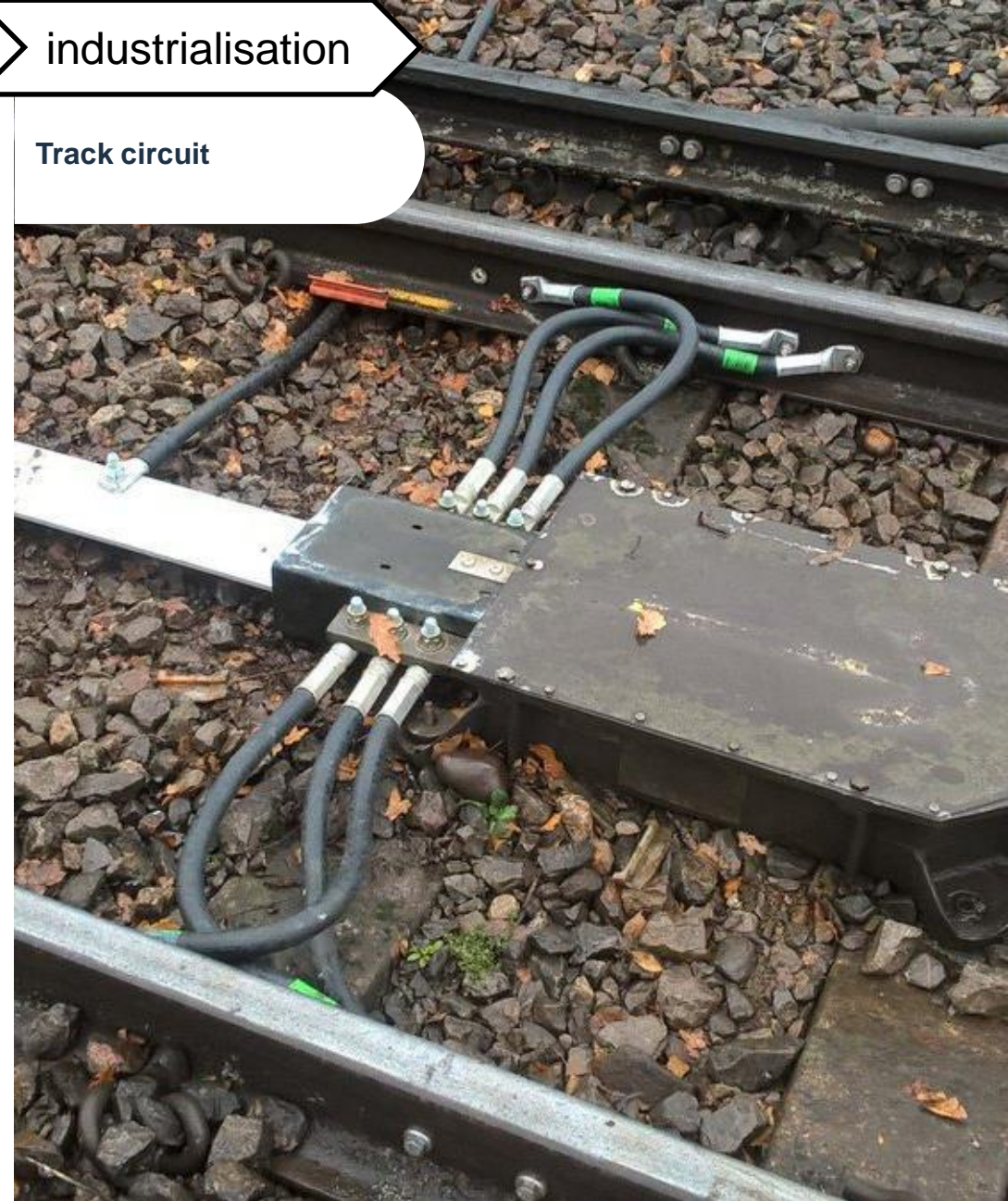


**Track circuit with a low rail-break detection performance:**

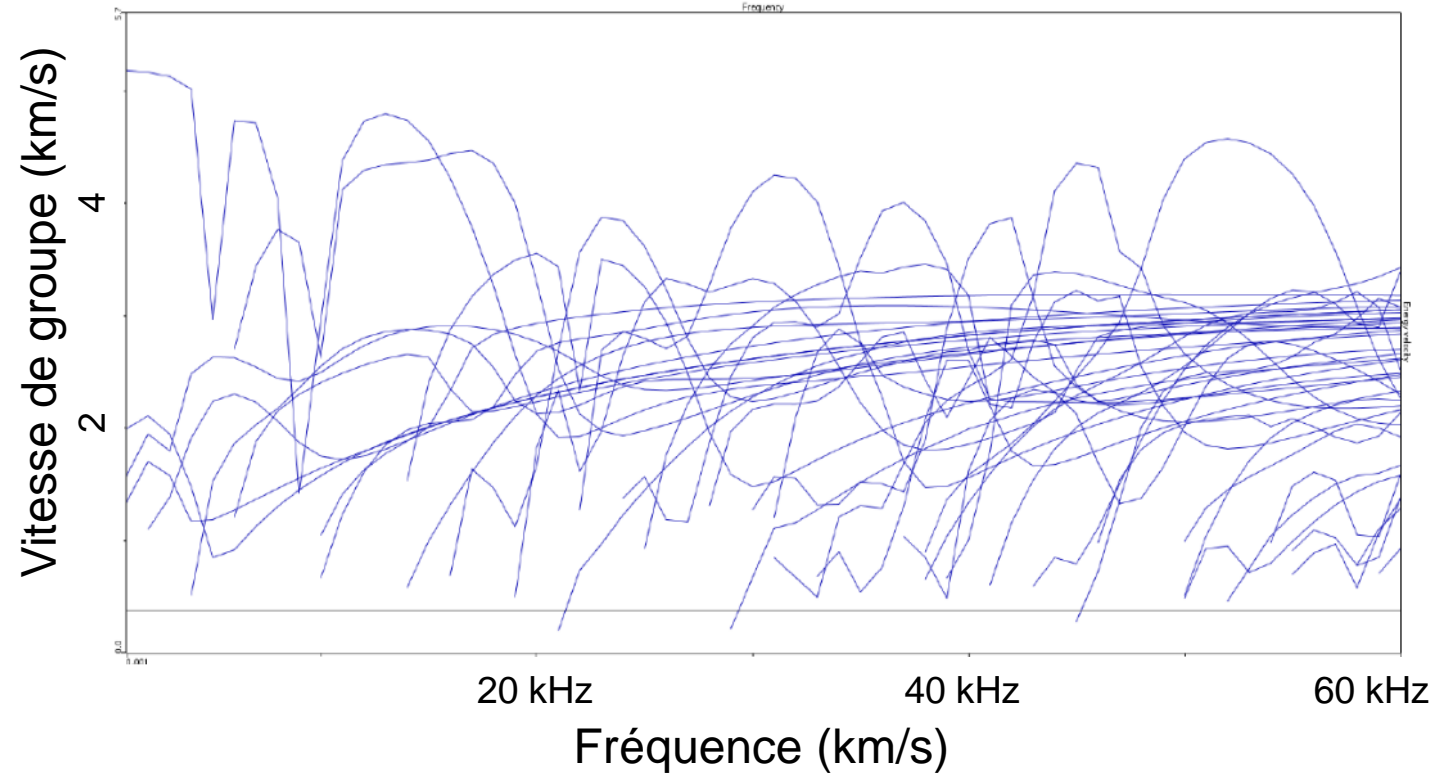
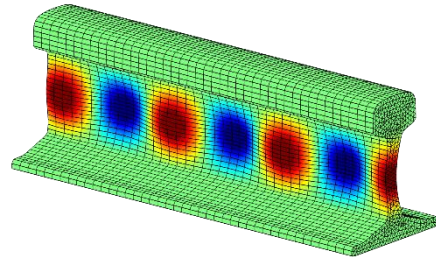
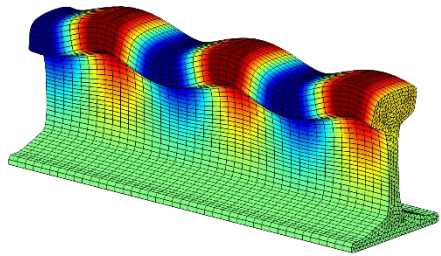
- Accuracy: 50 to 60% (Paris)
- down to 17% (Taipei)

Some operators are searching for an alternative to track circuit for rail break detection and a reliable rail integrity track side monitoring.

Track circuit

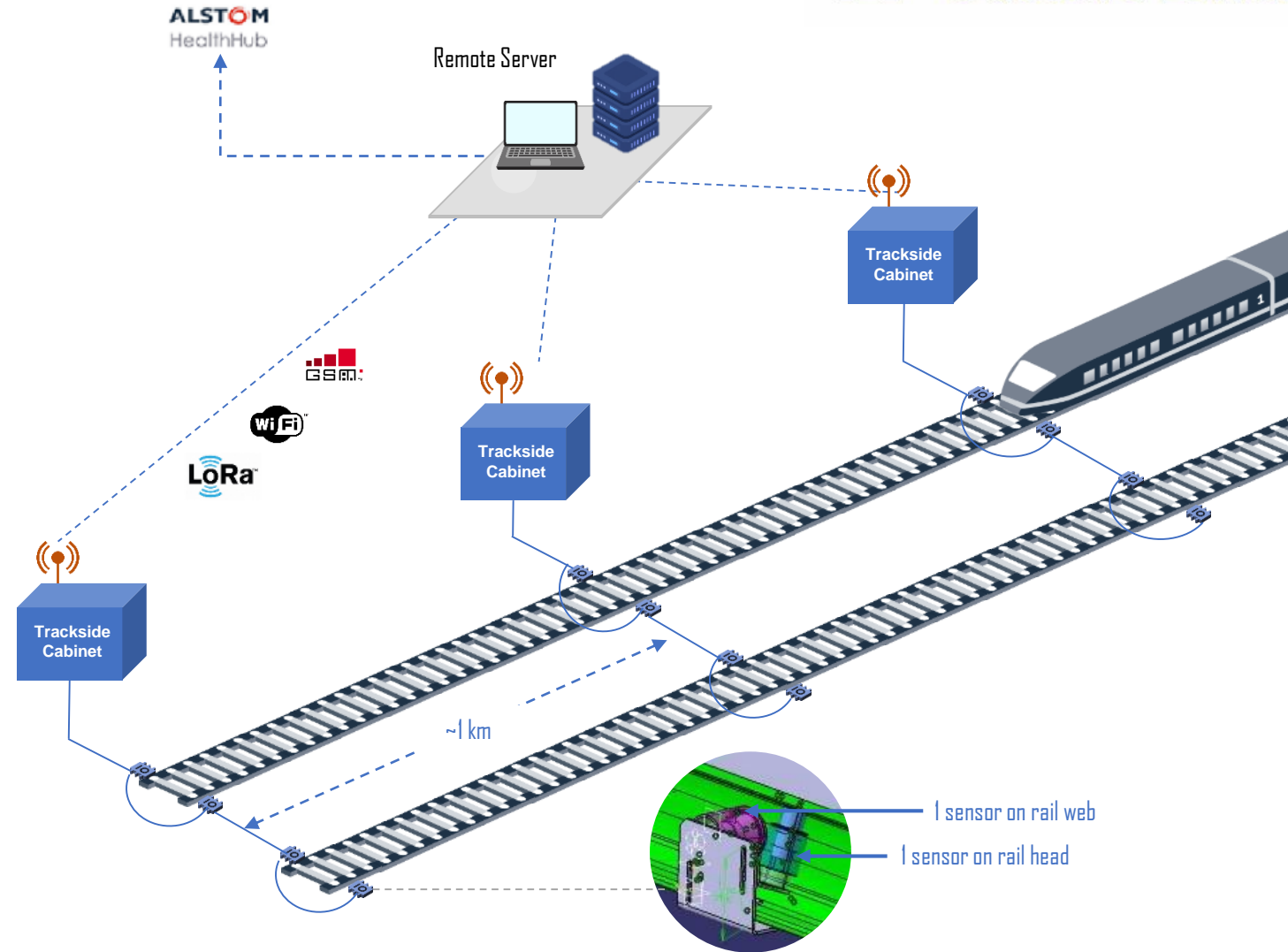


- Le système est basé sur un principe simple : la propagation d'ondes élastiques guidées dans le rail  
**rail cassé → propagation interrompue**



# NŒUDS ET CAPTEURS RÉPARTIS

- 8 capteurs par nœud, tous les km
- Trackside Cabinets : traitement embarqué des signaux et communication serveur
- Communication : WiFi, GSM  
Option : LoRa
- Alimentation : secteur si disponible, ou batteries avec ou sans panneaux solaires
- Serveur RSHM connecté à l'outil de supervision maintenance du client et/ou HealthHub.

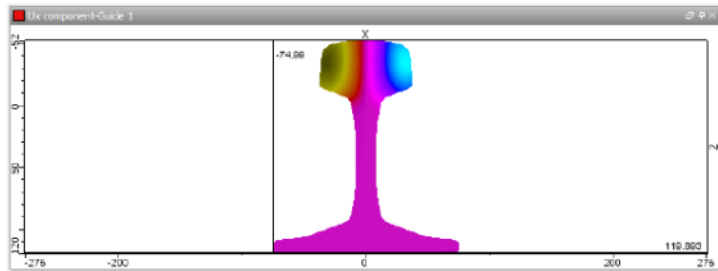




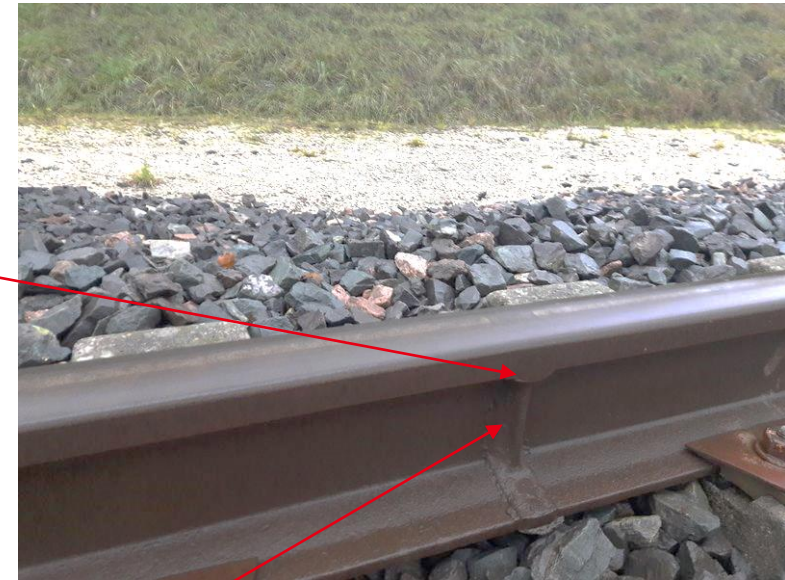
Facteur impactant la portée du système : diffraction du signal par le bourrelet des soudures aluminothermiques

→ Optimisation avec CIVA des caractéristiques du système (fréquence, type de capteur, etc.)

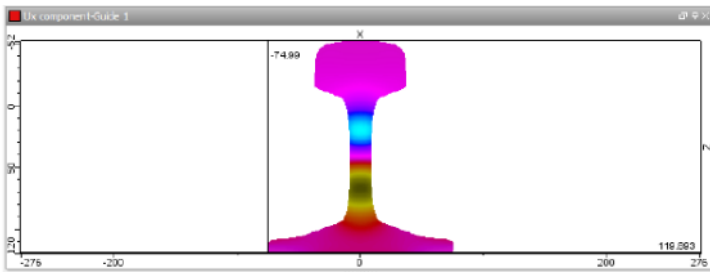
Mode de tête



Transmission de 90% de l'énergie



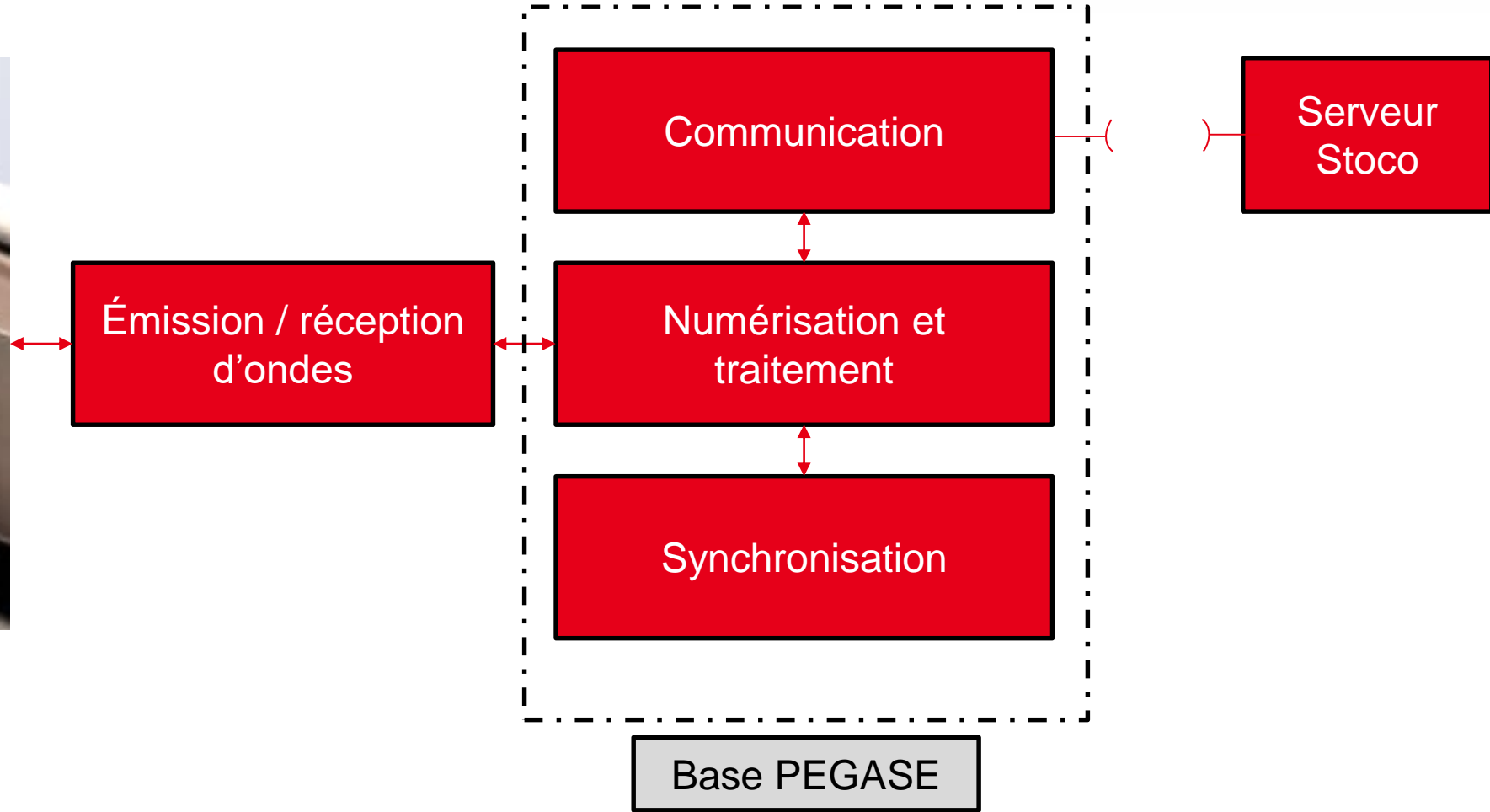
Mode d'âme



Transmission de 60% de l'énergie



# ARCHITECTURE DU NŒUD

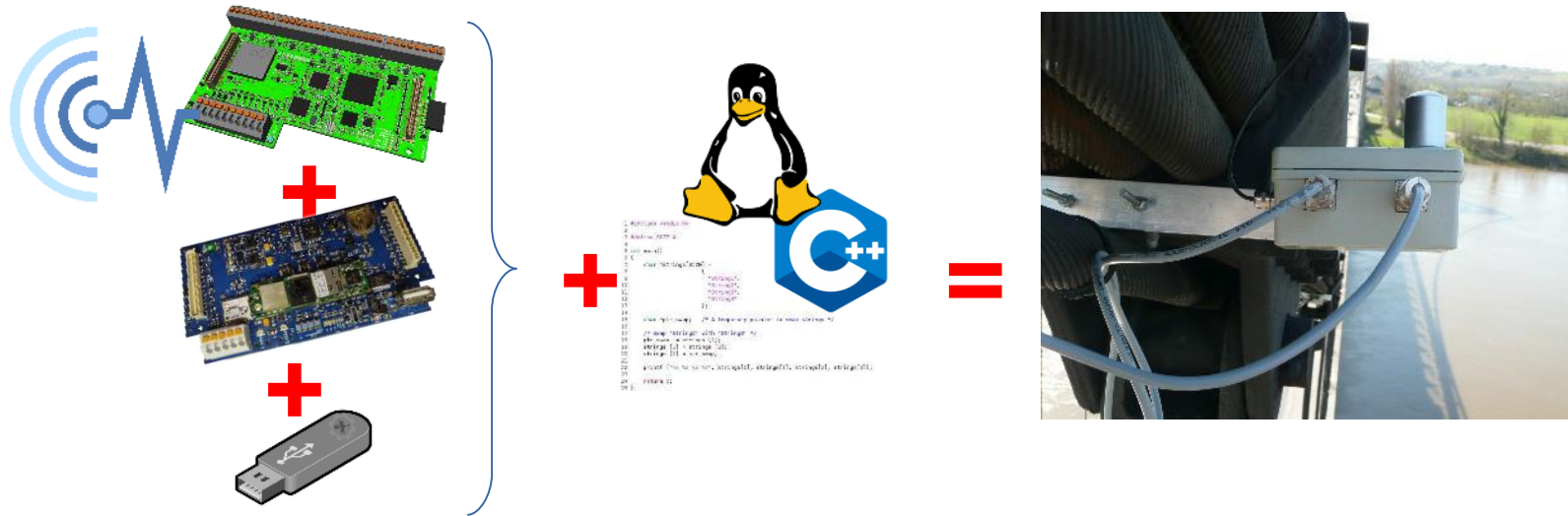


Développement sur base PEGASE pour le caractère générique, le temps de développement et la synchronisation par GPS

# PEGASE : PLATEFORME EXPERTE GÉNÉRIQUE POUR APPLICATIONS SANS FIL EMBARQUÉES

## Généricité :

- Généricité Matérielle : Carte Mère + Cartes Filles + USB OTG
- Généricité Logicielle : OS Linux + SDK + Applications métier



Pour une **application donnée** une **carte fille spécifique** est développée :

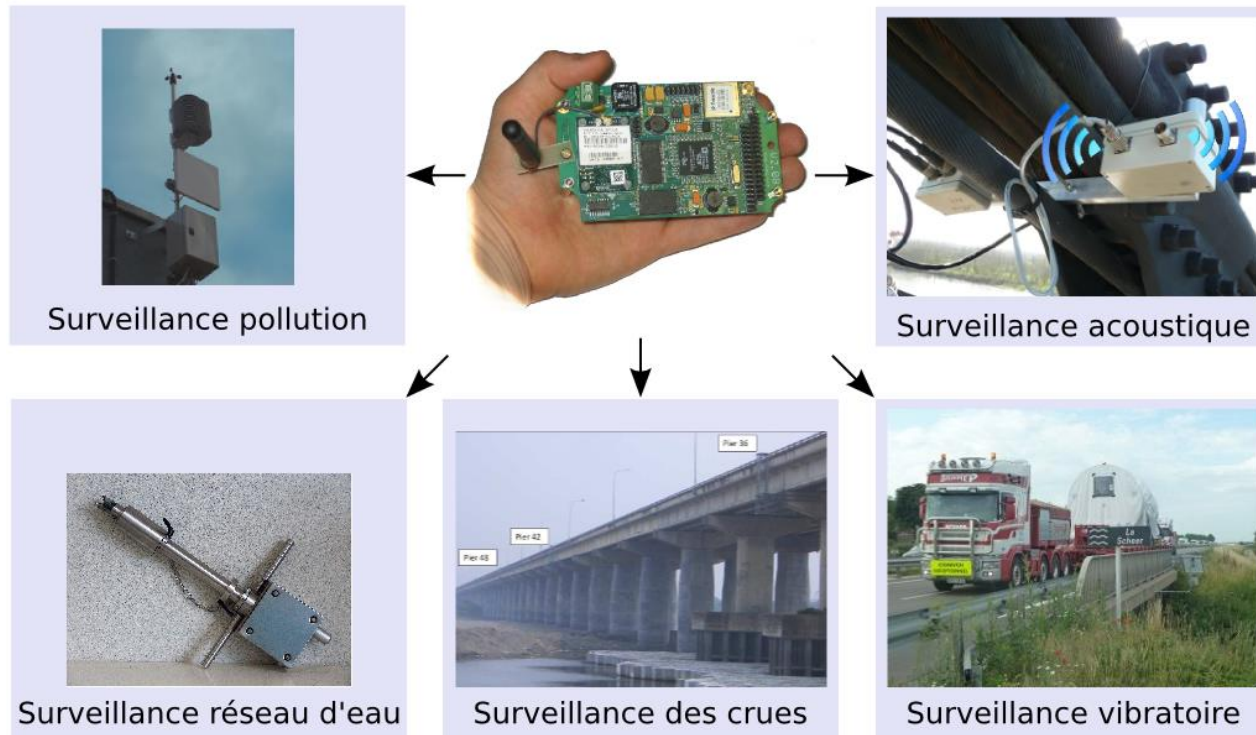
Utilisation des **entrées/sorties nécessaires** de la carte mère

Comprenant un **convertisseur analogique numérique** (CAN ou DAC), le conditionnement et les capteurs nécessaires :

- |                 |                        |        |
|-----------------|------------------------|--------|
| - Accéléromètre | - Inclinomètre         | - Gyro |
| - Jauge         | - Sonde de température | - etc. |

# PEGASE : PLATEFORME EXPERTE GÉNÉRIQUE POUR APPLICATIONS SANS FIL EMBARQUÉES

**Objectif :** adresser un grand nombre d'applications SHM/CND

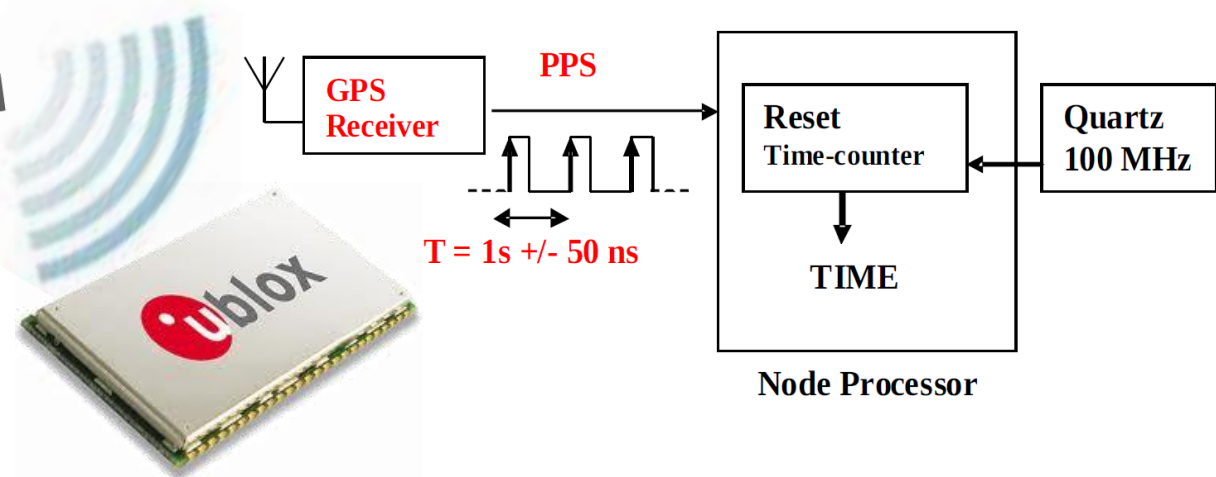
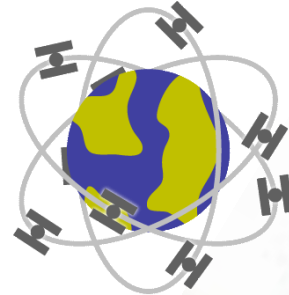


# PEGASE : SYNCHRONISATION GPS

- Point fort de PEGASE 3 : une synchronisation précise ( $\mu\text{S}$  voire  $\text{nS}$ ) et déterministe

## Modèle : NeoM8T

- Support GPS, Glonass, Beidou, Galileo
- Standard NMEA Trame / U-Blox Trame / Raw data
- Mode Normal / Fixed
- Hot start / Cold start
- Time pulse accuracy** : External  $20\text{ns}$  < > Indoor  $500\text{ns}$  (PPS)
- Power management
- Port UART / USB / SPI



# PEGASE : SYNCHRONISATION GPS

## Développements important sur la carte PEGASE en 2017-2018 :

- Linux Embarqué, driver temps réel, C++ , VHDL sur FPGA
- Synchronisation sur la base du PPS du récepteur GPS NEO8T :  $1s \pm 50\text{ nS}$
- Algorithme d'auto-apprentissage de l'erreur native du quartz  $F(T^\circ)$
- Prise en compte en temps-réel de la trame TIM-TP : information de correction du GPS
- Remodélisation du code de correction TIM-TP : Extinction/rallumage du GPS (énergie)



**= 2 PEGASE ont une datation synchrone UTC dans 99,9 % des résultats sous 30 nS  
95 % des résultats sous 10 nS**

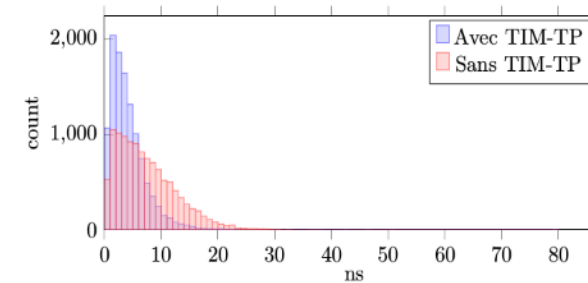
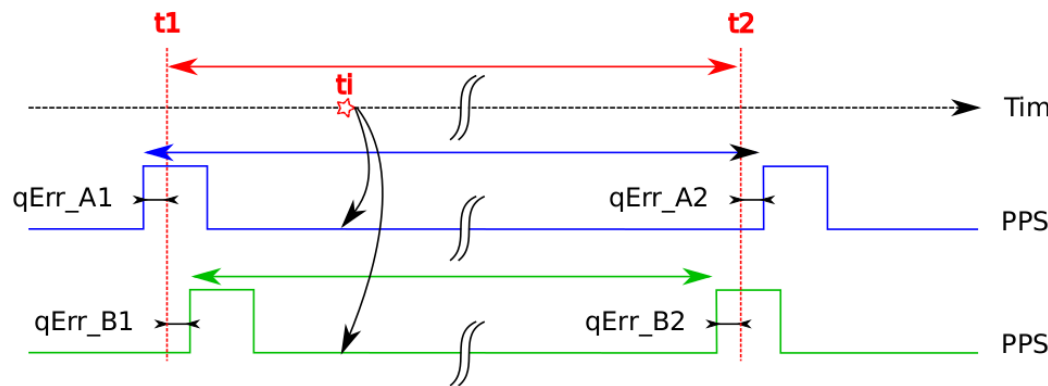
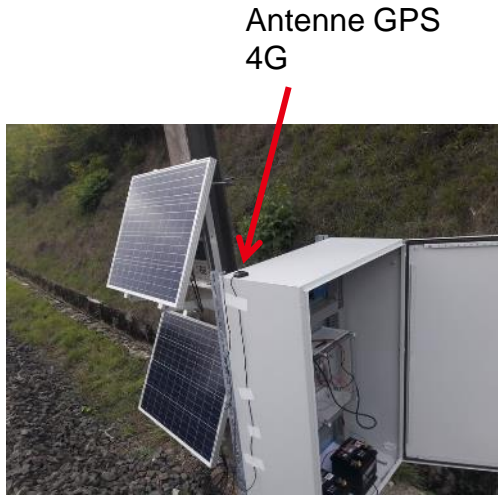


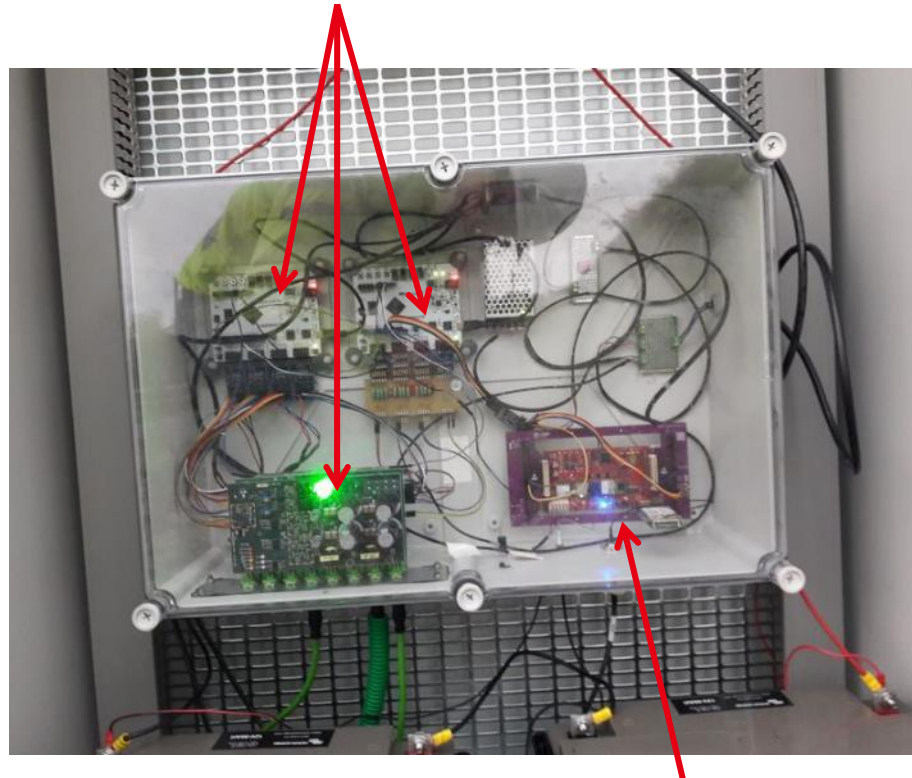
Figure 11: Histogramme des erreurs de synchronisation

$$ti_{ns} = 10^{-3} \cdot qErr1_{ps} + \frac{cpt_{pas}}{period_{pas}} (10^9 \cdot 1_s - 10^{-3} \cdot qErr1_{ps} + 10^{-3} \cdot qErr2_{ps})$$

# PROTOTYPE DU NŒUD DE CAPTEURS



Cartes filles



Carte mère PEGASE

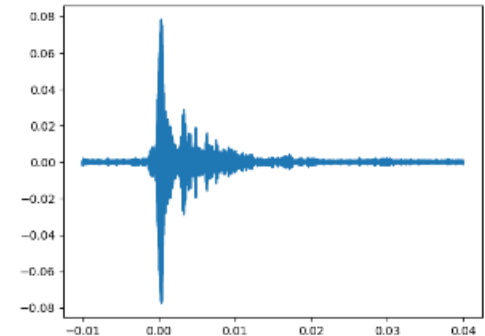


Nœud prototype et son alimentation autonome (batterie/panneaux solaires)

# DÉPLOIEMENT SUR LE SITE DE BAR-LE-DUC



Signal mesuré après 1,2 km de propagation



3 nœuds ont été déployés sur le site du Centre d'Essais Ferroviaires en 2019



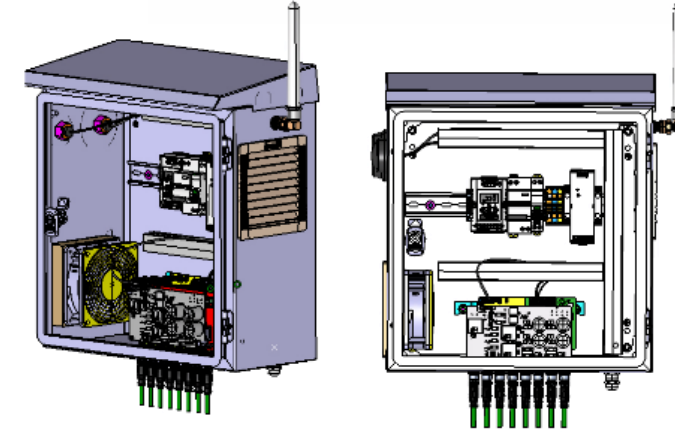
# INDUSTRIALISATION DE LA SOLUTION

## Prochaines étapes :

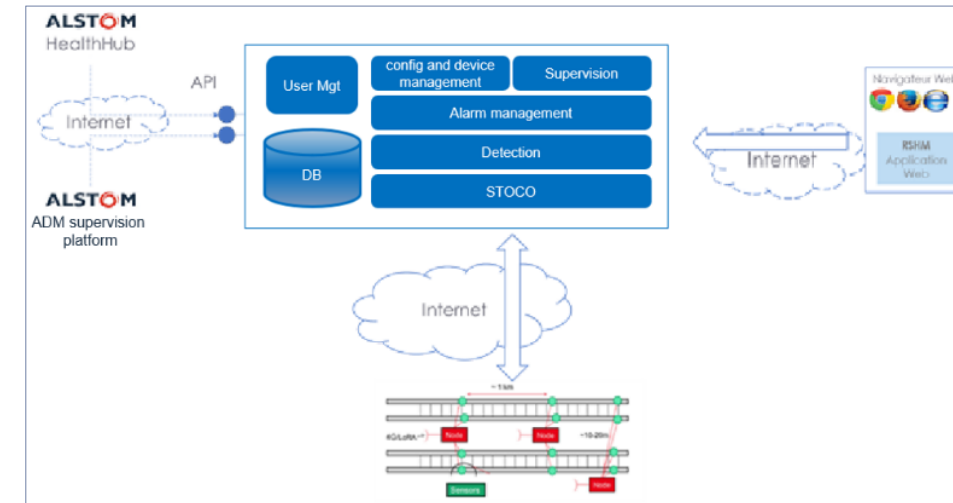
- Finalisation et validation du prototype industriel
- Développement de l'outil de supervision et IHM en lien avec HealthHub
- Développement des algorithmes de détection de défauts
- Certification de la solution



Nœud final



Intégration boîtier



HealthHub is Alstom's comprehensive solution for condition monitoring and predictive maintenance of rail transportation assets



# 3<sup>ème</sup> Journée Annuelle

# SHM@COFREND



## QUESTIONS - REPONSES

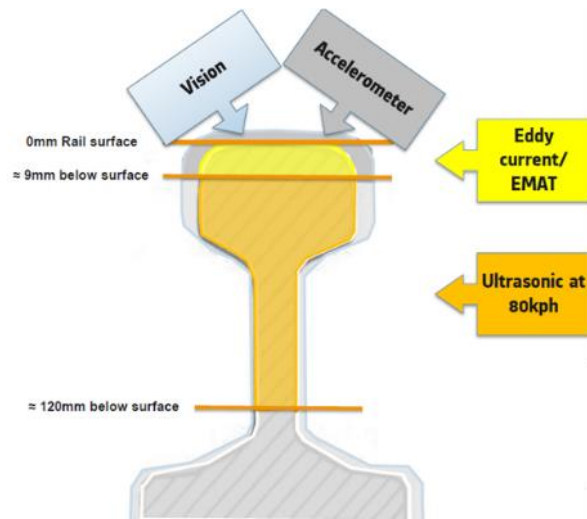
---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Institut List | CEA SACLAY NANO-INNOV | BAT. 861 – PC142  
91191 Gif-sur-Yvette Cedex - FRANCE  
[www-list.cea.fr](http://www-list.cea.fr)

Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

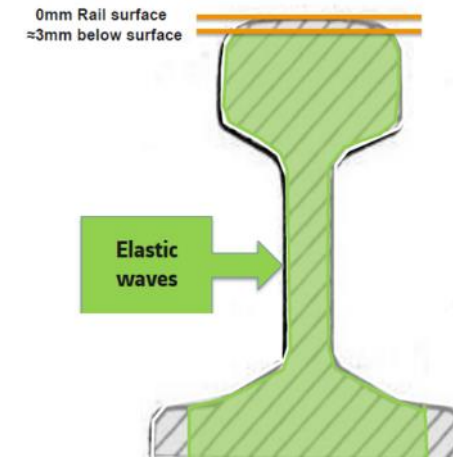
# Existing solutions – Rail inspection methods

## Existing and alternative inspection methods








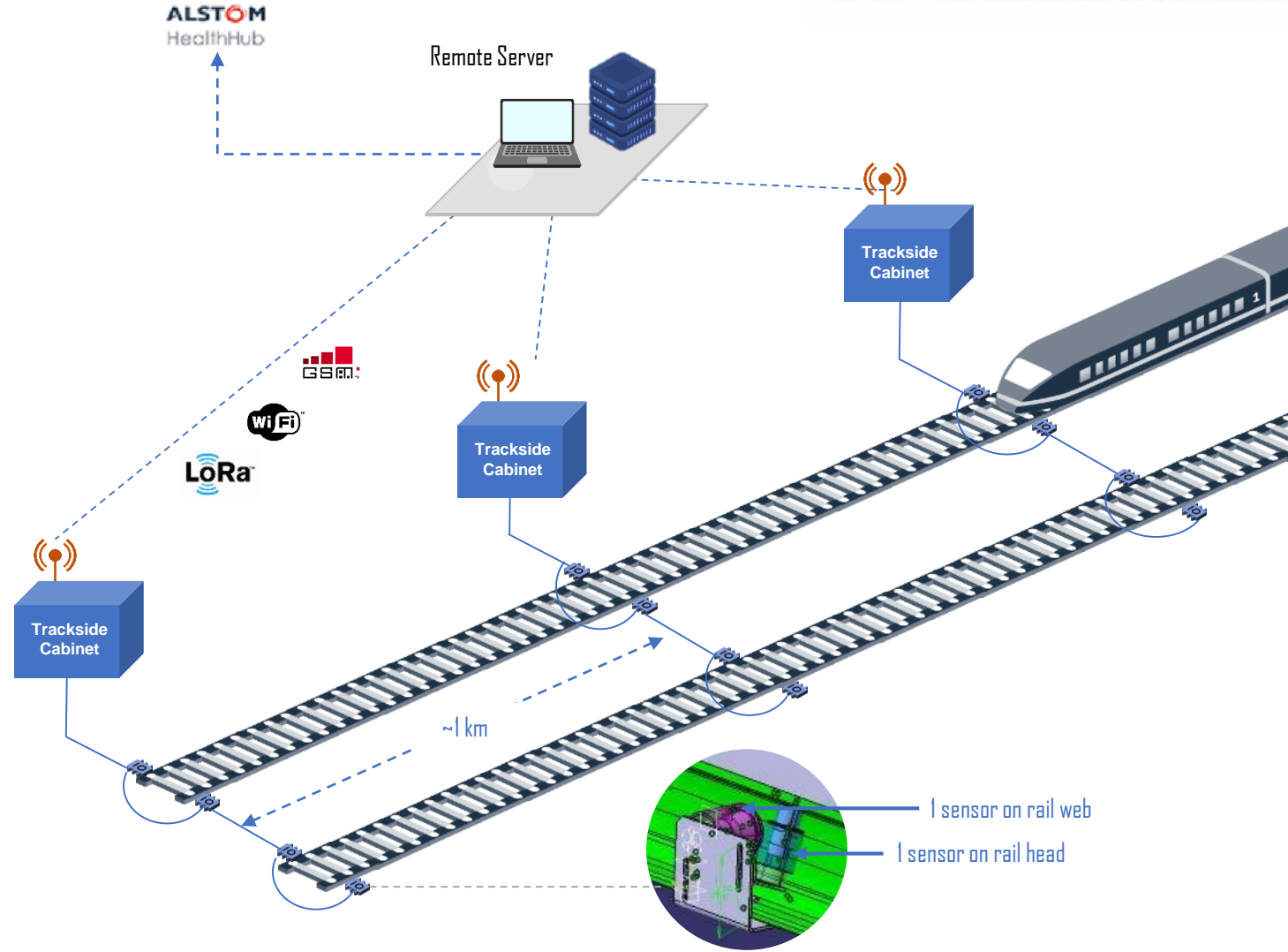
- Combined several methods to get a full inspection (limited inspection per method)
  - Ultrasonic (+use of couplant): Manual Trolley (slower) & Rail-road (faster)
  - EMAT Electromagnetic acoustic transducer
  - Track circuit
- Operation and detection issues (accuracy)
- Required human intervention for each of the methods above

## Rail SHM: Elastic waves inspection



- Larger inspection areas within one method
- No coupling agent required
- Automatic: no human intervention

-  8 sensors per node every km
-  Trackside Cabinets : local signal processing & communication with distant server.
-  Communication to server : WiFi, GSM. Option: LoRa
-  Power Supply : cable connection when available, or batteries with or without solar panels.
-  RSHM Server connected to client maintenance supervision and/or HealthHub.



# Rail SHM program – Tasks in Progress & Next Steps

- **Industrial Prototype Development**

- Product industrialization launched with Alstom Vitrolles
- Design completed, procurement of first components
- Validation Test track in CEA Saclay: under preparation, rail and sleepers delivered.
- Validation : first type tests to be launched in Jan. 2021

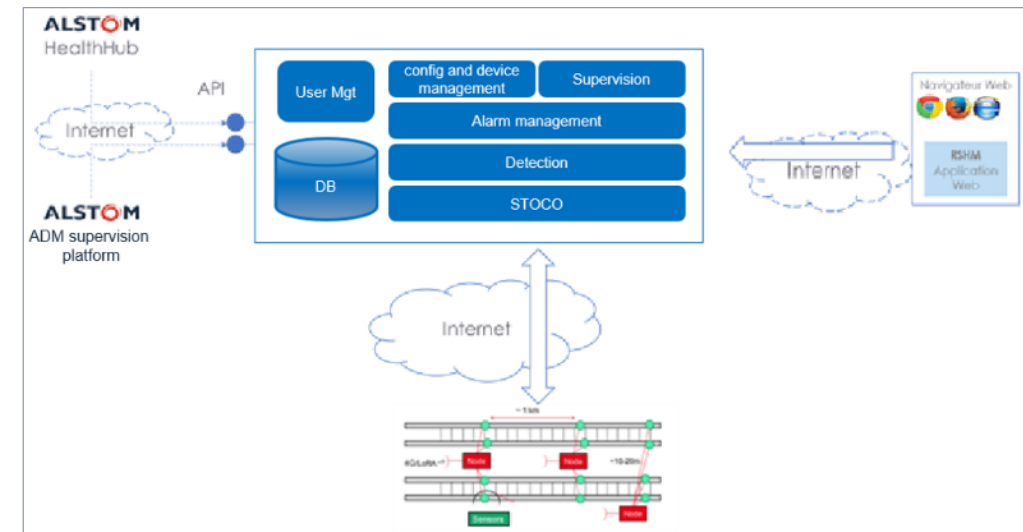
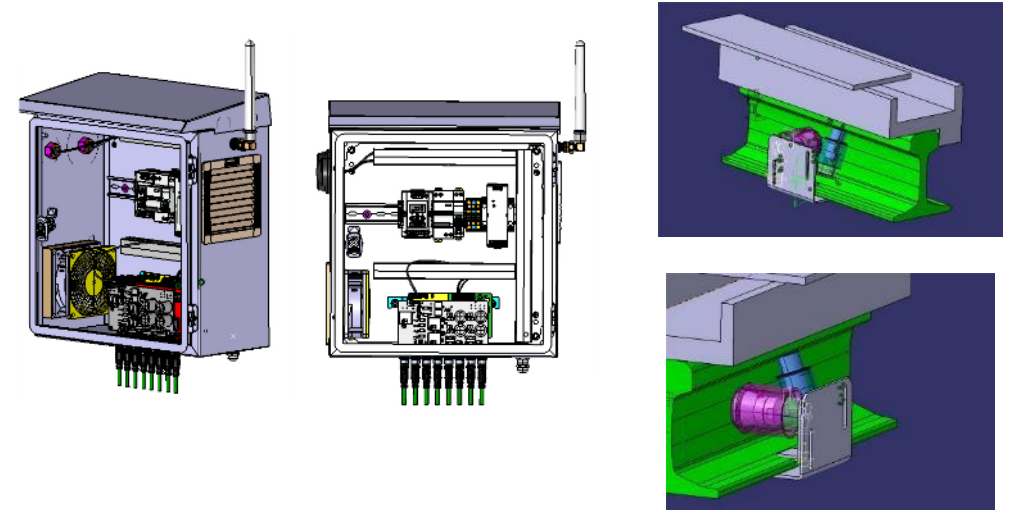
- **Supervision and HMI development**

- General architecture defined with HealthHub\* team
- Development will be carried out by Alstom IT in Bangalore (India)

- **Next Steps**

- Finalize & validate Industrial protos & supervision development
- Develop defect detection algorithms
- Clarify certification requirements

\*HealthHub is Alstom’s comprehensive solution for condition monitoring and predictive maintenance of rail transportation assets.

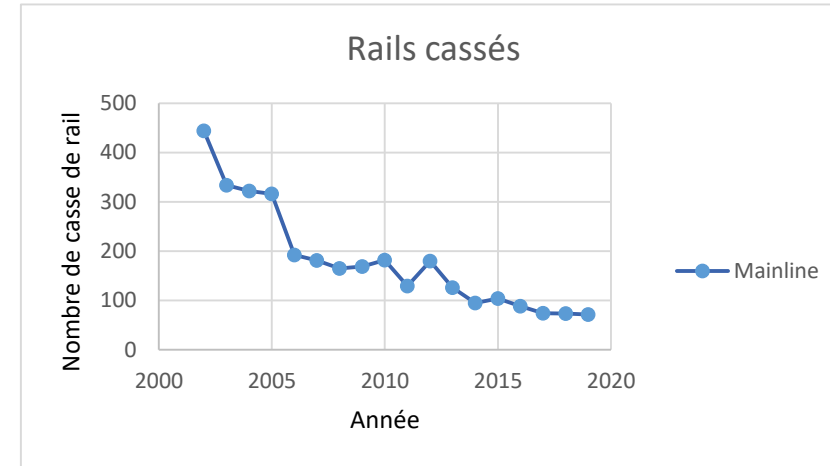
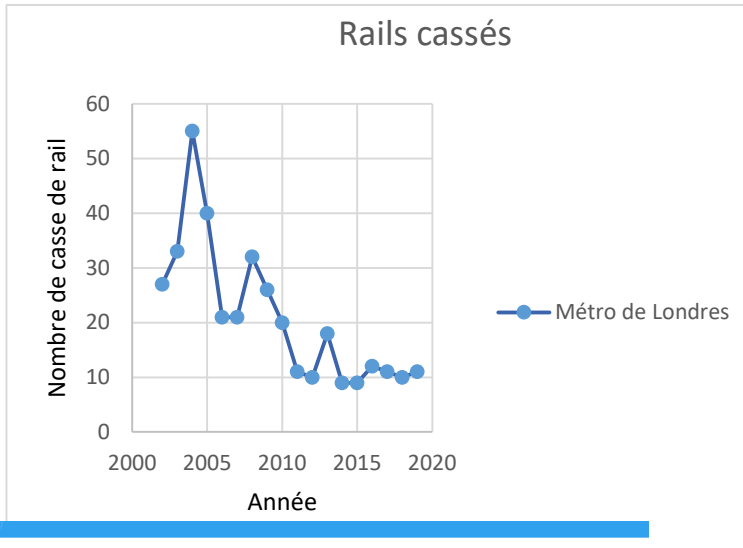


- Détection de la casse de rail



Table 2: Causes of broken rails (Sawley and Reiff, 2000)

| Railway                | First                     | Second                 | Third              | Fourth                   |
|------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|
| Rail track (1999/2000) | Vertical/transverse 39.5% | Thermite welds 22.4%   | Bolt holes 14.9%   | Horiz./longitudinal 7.4% |
| SNCF (1999)            | Thermite welds 35.3%      | Internal fatigue 18.6% | Squats 8.8%        | Rail manufacture 6.1%    |
| Banverket (1998)       | Transverse fracture 44.1% | Vertical split 19.4%   | Welded joint 19.4% | Horizontal defect 17.2%  |
| HH2 (1999)             | Transverse defects 37.9%  | Thermite welds 35.6%   | Bolt holes 5.8%    | Flash welds 5.6%         |



actuParis

© Dernières actus Société Économie Faits divers Politique Coronavirus Loisirs-Culture Sports Insolite

Actu > Île-de-France > Actu Paris > Société

## Un rail cassé à la Gare du Nord : des trains supprimés et retards sur le RER B et le RER D

En raison de deux incidents survenus en gare du Nord, mercredi 30 octobre 2019, le trafic des trains sur le RER B et D est très perturbé. Des trains sont supprimés. Précisions.

## Un rail cassé dans un aiguillage à l'origine du déraillement du TGV à Marseille-Saint-Charles

04 SEP 2018