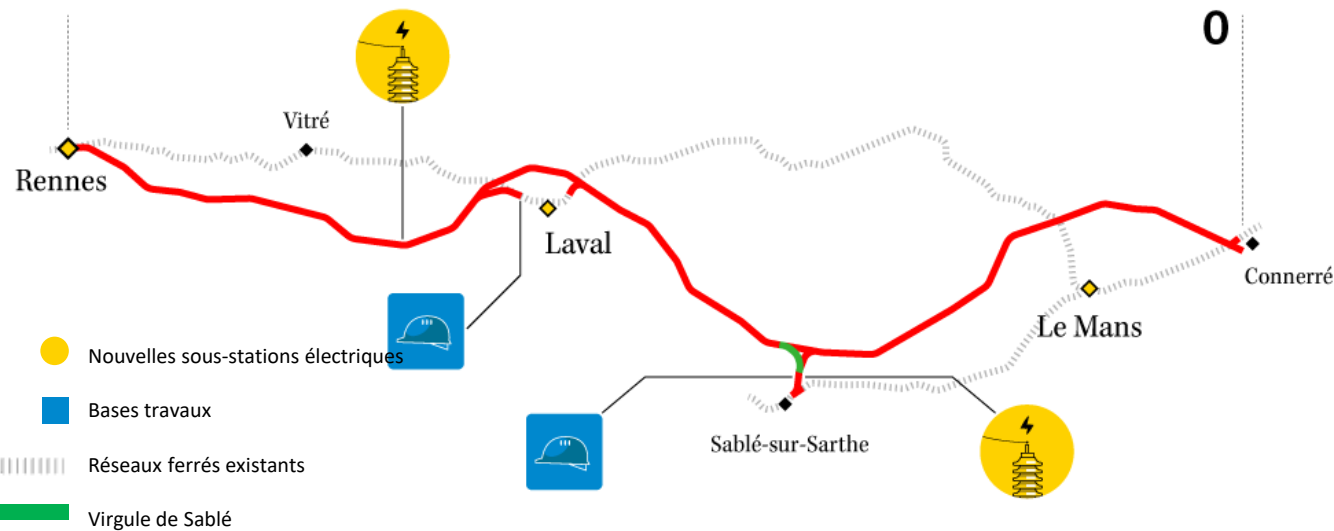


Maintenance prédictive des infrastructures ferroviaires grâce à l'IA

Thomas Attia
Eiffage

Ligne à Grande Vitesse Bretagne – Pays de la Loire

- **PPP entre SNCF Réseau et Eiffage de 2011 à 2036**
 - **La filiale FERLIOZ entretient et maintient la ligne**



182 km
de ligne à grande vitesse dont 105
km avec grave-bitume

3,3 Md€
de coût global

1h25 de trajet
entre Paris et Rennes vs 2h05

320 km/h
de vitesse commerciale

30 000 trains/an
99,2% de ponctualité
en 2024

Maintenance et surveillance de l'infrastructure ferroviaire

**Ouvrages d'Art
Ouvrages en Terre**



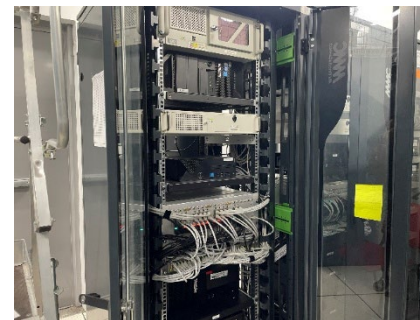
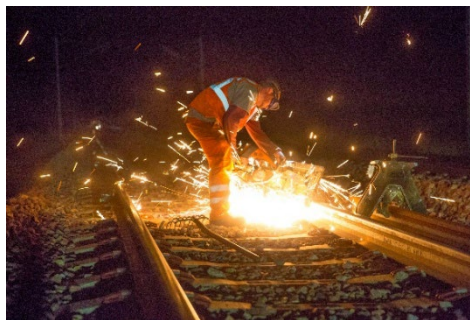
Bâtiments

**EAL (Équipements
d'Alimentation des
Lignes Électrifiées)**



Caténaire

Voie ferrée



**Actifs Télécom,
Signalisation**

Maintenance de la géométrie de la voie ferrée

- **Indicateur Nivellement Longitudinal (NL)**
 - Ecart moyen d'élévation verticale par rapport au tracé théorique, calculé par sections de 200 m



Confort

**Exemple de
NL très élevé !**



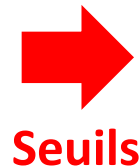
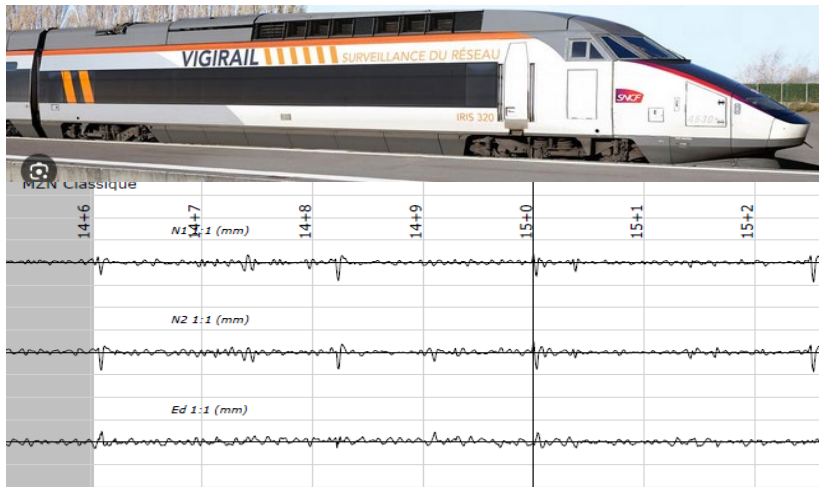
Durabilité

- Tolérance pour les LGV : $NL < 0,70 \text{ mm}$
- Pénalité de 110 000 € par 0,01 mm de dépassement...

Maintenance de la géométrie de la voie ferrée

- **Approche conditionnelle**

Mesures



Interventions



Bourrage du ballast

- Passages de la rame instrumentée IRIS, 2 fois par mois
- Inspections quotidiennes

- Moyens lourds : 50 chantiers/an
- Corrections manuelles : 100 chantiers /an avec 30 opérateurs
- Ballastage...

Maintenance prédictive

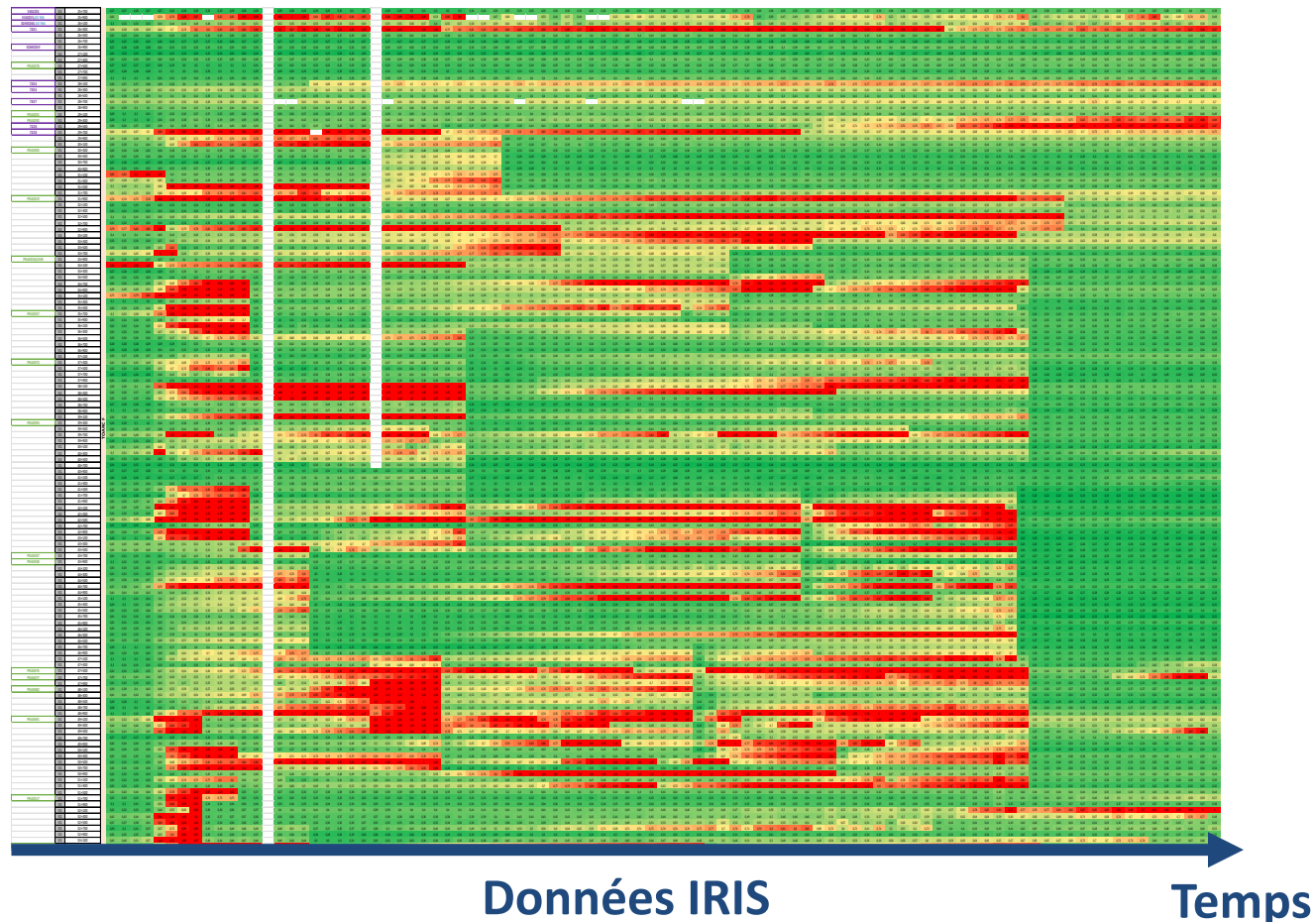
- **Prévoir l'évolution du NL ?**

Données d'entrée :

- Tracé de la ligne
- Types d'ouvrages
- Sous-couche
- Tonnage
- Vitesses
- Types de maintenance

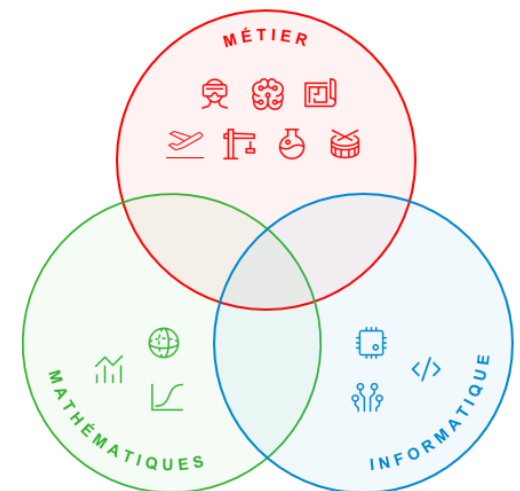
Données de sortie :

- Évolution du NL par section de 200 m



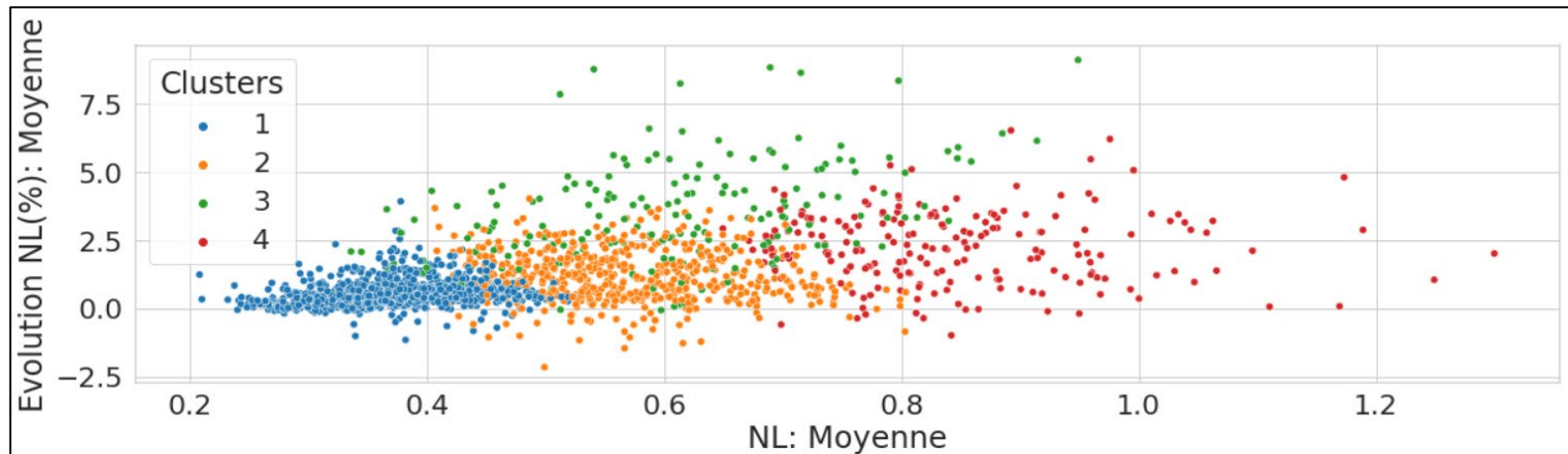
Projet IA pour la maintenance prédictive

- **Travail collaboratif**
 - **Lionel THÉVENET**, Responsable Maintenance OPERE, Ferlioz
 - **Suzy MADDAAH**, Direction Technique, Expertise IA - Data Science, EES
 - **Jean-Louis HALLER**, Direction Technique, Expertise Numérique, EES
- **Projet sur 3 ans (2022-2025)**
 - Comprendre
 - Modéliser
 - Déployer l'outil



Modélisation avec l'IA

- **Étape 1 : Clustering non supervisé = regroupement automatique**
 - Identification des sections de voies ferrées de 200 m qui se dégradent de la même manière
 - Permet de mieux modéliser chaque groupe



Exemple de clustering

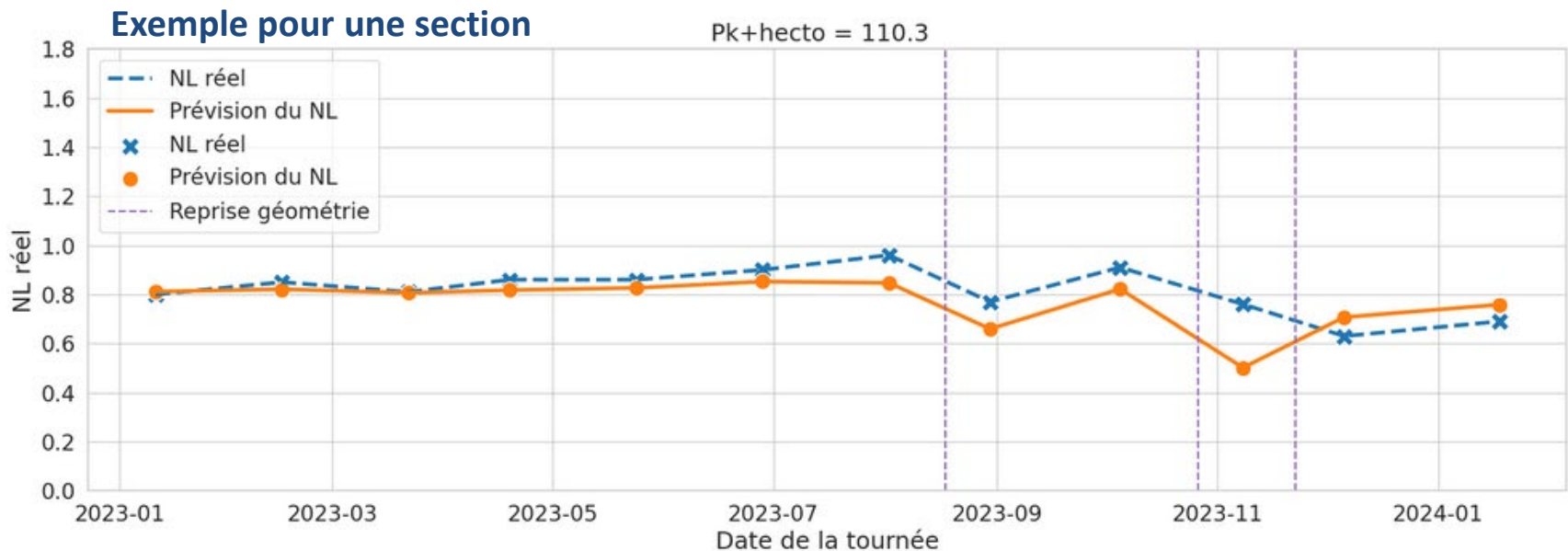
Modélisation avec l'IA

- **Étape 2 : Évolution du NL**
 - **Modèle mixte prenant en compte les points communs entre les sections mais aussi leurs différences pour un apprentissage partagé et optimisé**

Pas de deep learning !
- **Étape 3 : Intégration des opérations de maintenance**
 - **Modèle adapté aux non-linéarités**
 - **Identification des tranches similaires ayant subi des interventions semblables dans le passé**

Précision du modèle IA

- **Modèle entraîné sur les données de 2019 à 2022**



- **Evaluation sur les données 2023 – 2025, pour les ≈ 2000 sections de 200 m :**

Erreur à 1 mois : 4 %

Erreur à 12 mois : 13 %

Outil d'aide à la décision

- **Déployé chez Ferlio**

Retour Lancer la simulation

Choisir le fichier csv contenant les opérations prévues (les attributs dynamiques), à partir de la date de début de la simulation:

Télécharger un exemple

Glisser-Déposer ou Sélectionner un Fichier

Nombre de lignes valides: 1

Nombre de lignes invalides: 0

Les opérations suivantes sont invalides et ne seront pas prises en compte dans la simulation.

voie_nb	pkhecto	attribut	description	file_nb	val	operation_date	pourcentage
1	5.9	Reprise géométrie	INF-VC43		0	2025-05-11	50

Les opérations suivantes sont valides et seront prises en compte dans la simulation.

voie_nb	pkhecto	attribut	description	file_nb	val	operation_date	pourcentage
1	5.9	Reprise géométrie	INF-VC43		0	2025-05-11	50

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Voie	Pk+hecto	2024-11-14	2024-12-14	2025-01-13	2025-02-12	2025-03-14	2025-04-13
2	1	1,5	0,4395	0,4435	0,4435	0,4435	0,4435	0,4435
3		1,7	0,67	0,6515	0,6585	0,6565	0,67	0,67
4		1,9	0,4215	0,419	0,419	0,419	0,419	0,419
5		2,1	0,515	0,529	0,52	0,5285	0,5195	0,5285
6		2,3	0,6335	0,612	0,6315	0,598	0,6305	0,604
7		2,5	0,6645	0,6715	0,676	0,682	0,686	0,686
8		2,7	0,482	0,482	0,482	0,482	0,482	0,482
9		2,9	0,6985	0,6985	0,6985	0,698	0,698	0,698
10		3,1	0,5405	0,5435	0,543	0,543	0,543	0,543
11		3,3	0,656	0,671	0,679	0,651	0,6555	0,662
12		3,5	0,402	0,402	0,402	0,402	0,402	0,402
13		3,7	0,4155	0,4155	0,415	0,41	0,416	0,4155
14		3,9	0,4525	0,4515	0,4515	0,4515	0,4515	0,4515
15		4,1	0,361	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
16		4,3	0,594	0,5845	0,5825	0,585	0,5855	0,5855
17		4,5	0,3805	0,3815	0,3815	0,3815	0,3815	0,3815
18		4,7	0,5425	0,5455	0,5495	0,5505	0,551	0,551
19		4,9	0,5265	0,514	0,5195	0,527	0,514	0,5195
20		5,1	0,5415	0,55	0,578	0,601	0,6195	0,6335
21		5,3	0,5955	0,5875	0,584	0,5865	0,583	0,585
22		5,5	0,602	0,6025	0,6055	0,621	0,6265	0,6225
23		5,7	0,4625	0,4775	0,4805	0,478	0,478	0,479
24		5,9	0,8095	0,814	0,814	0,794	0,8405	0,8355
25		6,1	0,4645	0,4635	0,469	0,4705	0,4755	0,476
26		6,3	0,4825	0,478	0,475	0,4655	0,4655	0,465
27		6,5	0,5045	0,508	0,5085	0,51	0,5095	0,5095
28		6,7	0,4735	0,476	0,4875	0,485	0,4845	0,4845
29		6,9	0,682	0,6885	0,689	0,691	0,697	0,706
30		7,1	0,794	0,7945	0,794	0,794	0,794	0,794

**Scénarios de
maintenance**

Modèle

Prévisions à 2 ans

- **Utilisé pour améliorer le processus de décision**
 - **Mais pas encore utilisé tout seul !**
- **Modèle mis à jour avec les nouvelles données**

Instrumentation de la LGV BPL

- 4 sections instrumentées depuis 2017
 - dont 2 avec sous-couche en Grave-Bitume



- Post-doctorat Johann PRIOU (UGE - MAST- LAMES)

- Projet Minerve 2022-2026 (BIM et JN dans le ferroviaire)



- Moins d'accélération verticales mesurées sous le ballast dans les sections avec GB

Merci de votre attention

Thomas Attia

Eiffage

thomas.attia@eiffage.com

06 29 80 40 32



Maintenance prédictive des infrastructures ferroviaires

Application de l'IA sur la LGV Bretagne – Pays de la Loire

S. Maddah, J.-L. Haller, J. Blanc, J. Priou, L. Thévenet, T. Attia, RGRA n°1011