



Résultats et perspectives

5 mars 2026



P R O N E R G Y



Véhicules - Résultats obtenus sur le VUL

- **Transfert de puissance :**
 - **0,6 kWh transmis pour 0,5 kWh consommé pour 1,8 km dont 420 m de piste ERS**
 - **Jusqu'à 150 kW en continu (limité par la capacité du véhicule)**
 - **Rendement moyen observé de 94% de la sous-station au moteur**
- **Quelques chiffres des essais réalisés à Transpolis :**
 - Plus de 5000 km parcourus en test
 - 1 835 km avec charge du VUL sur la piste ERS
 - 2 535 kWh captés de la piste ERS
- **Automatisation complète du dispositif:**
 - Aucune intervention humaine, conducteur ou opérateur
- **Sécurité:**
 - Coupure d'alimentation effective en **quelques dizaines de millisecondes**
 - Remontée complète du CCR en moins de **1,5 s soit 36 m** à 90 km/h

Caractérisation de surface du système APS

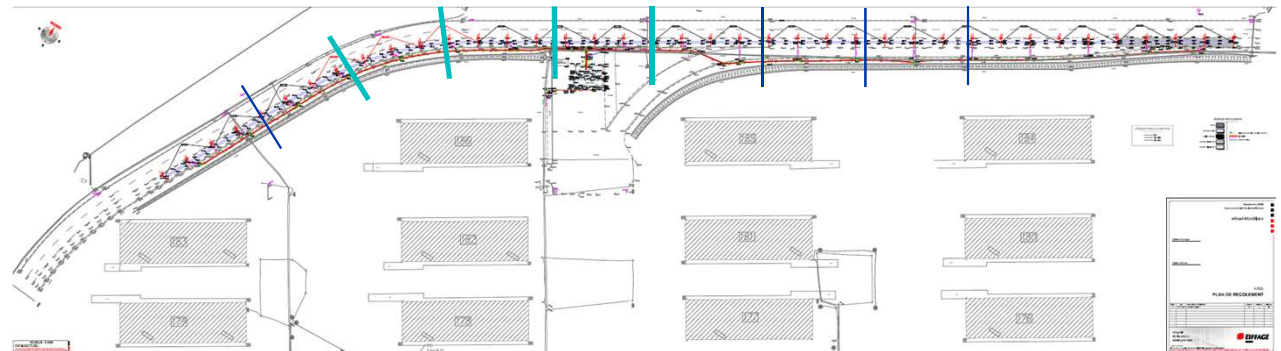
Caractérisation in-situ

- Plusieurs zones de test
- Appareils
 - Pendule SRT (ponctuel)
 - T2GO (continu)



$SRT_e \geq 65$
 $SRT_{rg} \geq 50$
Homogène ($< 5\%$)

$SRT_r \geq 55$ (50 à 200m)
 $SRT_r \approx 45$ (225 à 350m)
Homogénéité sur chaque portion



Caractérisation de surface du système APS

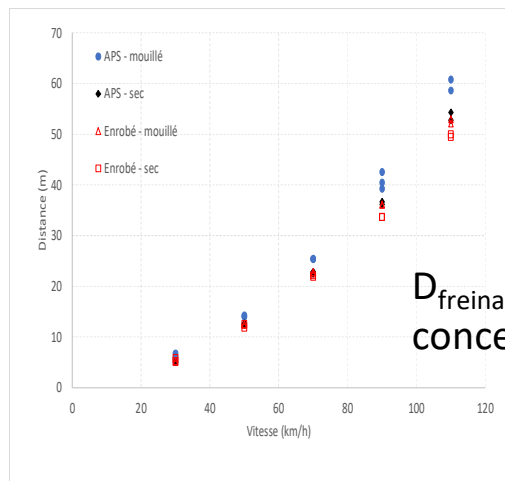
Impact du système APS sur le comportement dynamique des véhicules (e2008)

- **Manœuvres:**

- Déboitement latéral vers la gauche (dépassement)
- Déboitement latéral vers la droite (rabattement)
- Freinages d'urgence (roue sur le rail)

- **30 à 90 km/h, surface sèche/mouillée**

- $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z, V_{roulis}, V_{tangage}, V_{lacet}, G(\%), d_{freinage}$



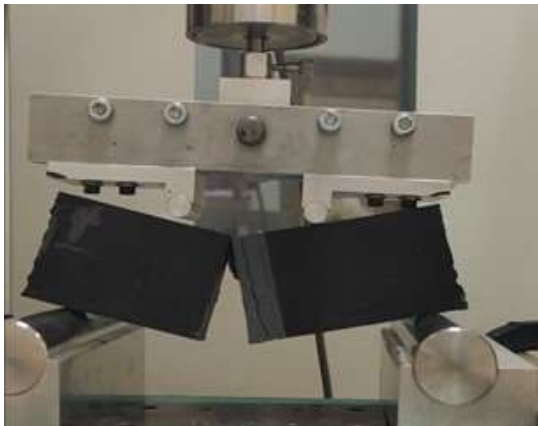
$D_{freinage} < \text{valeurs}$
conception routière



→ pas d'instabilité dynamique
supplémentaire induite par APS

Etudes pour l'intégration dans la chaussée

- ✓ **Etude sur matériaux en laboratoire** pour la sélection de 2 solutions de résine de collage
- ✓ **Etude sur simulateur de trafic FABAC à l'échelle 1** pour l'optimisation de la construction et la validation de la durabilité
- 🔍 **Essais sur une zone instrumentée sur le démonstrateur de Transpolis** pour l'évaluation de la réponse mécanique sous conditions d'exploitation réelles (passages de PL chargé à 40 tonnes)



Essai de flexion pour évaluation du collage EPDM / résine



Essai avec le simulateur de trafic FABAC (roues jumelées chargées à 65 kN)



Mesure des déformations de la chaussée sous passage d'un poids lourd de 40 tonnes

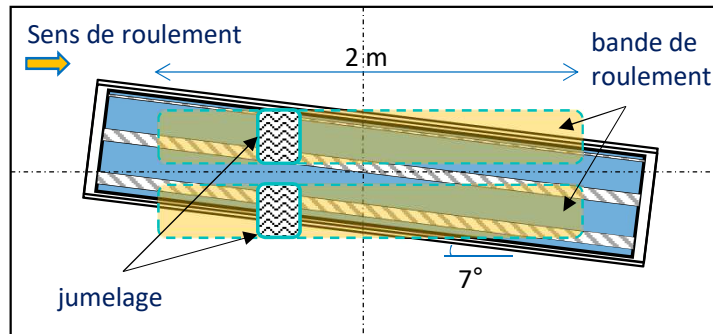
Etude sur structure à l'échelle 1 à l'aide du simulateur FABAC

- Test et validation des **étapes de mise en œuvre de la piste dans la chaussée**
- Test de **2 solutions de résine** de collage
- Test d'une situation de **renouvellement de couche de roulement**

Dans chaque essai, application de 200 000 cycles de chargement (roues jumelées chargées à 65 kN) Puis 50000 cycles à température élevée (35°C et 50 °C)



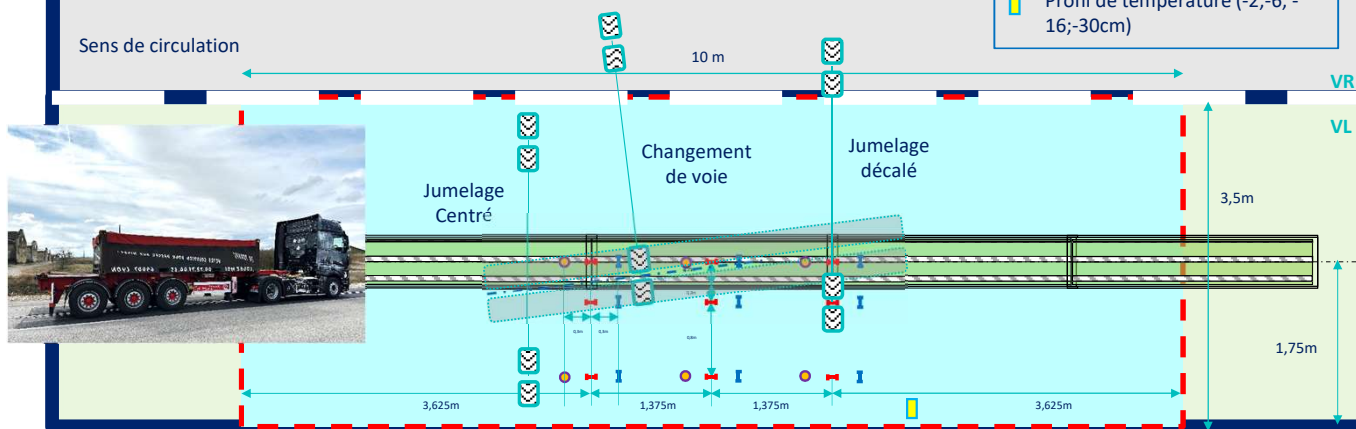
**Validation de la
durabilité mécanique**



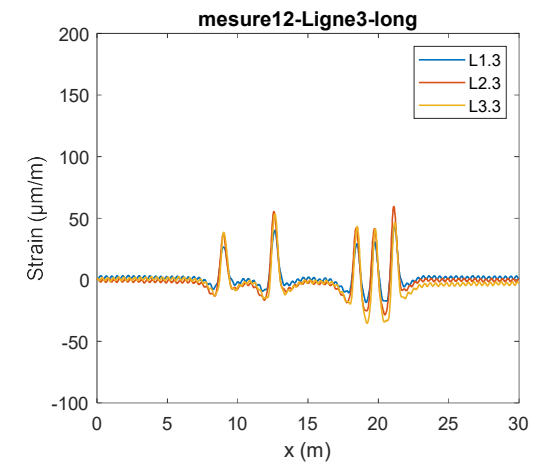
Essais sous trafic réel sur le démonstrateur de Transpolis

- **Instrumentation** par jauges de déformation sur 3 lignes en bas de GB : sous la piste d'alimentation et à 20cm du bord, et dans la chaussée de référence
- Tests à **différentes configurations et vitesses** de passage du camion chargé à 42 T
- 2 campagnes réalisées au printemps et en été 2025

- Capteur de déformation longitudinale
- Capteur de déformation transversale
- Capteur de déformation verticale
- Profil de température (-2;-6; -16;-30cm)



Exemple de mesures de déformations sur la chaussée de référence, avec changement de voie, T=20°C



- Déformations un peu plus élevées sous la piste ERS que dans la chaussée de référence.
- Augmentation des déformations avec la température
- Dans tous les cas, les déformations les plus critiques sous la piste restent inférieures aux valeurs admissibles hypothèses retenues : trafic de 200 000 essieux équivalents - risque de calcul k_r de 1%.
- Aucune dégradation de la piste observée sous passage du poids lourd lors des deux campagnes d'essai.

Essais émissions champs électromagnétiques

Essais réalisés avec l'entreprise EMITECH

- **Mesures :**

- Emissions rayonnées selon les normes s'appliquant aux environnements résidentiels/industriels/ferroviaires
- Incidence sur le corps humain (EMF)

- **Résultats :**

- Les installations répondent aux exigences des normes



Essais du système complet

- **~100 essais en toutes conditions : jour/nuit, soleil/couvert/pluie/neige**
 - Fonctionnement nominal
 - Sécurité (coupure alimentation piste/remontée des patins) :
 - Présence autres usagers sur voie ou BAU : piéton, voiture, moto
 - Dépassement
 - Seuil de vitesse, warning, arrêt d'urgence ...



Essais système complet

- **Résultats VUL :**

- Fonctionnel validé
- Transfert de courant validé
- Sécurité : mise en œuvre d'un système de perception ==> concept validé, à affiner pour atteindre l'optimum

- **Analyse second regard en cours**

- **PL : essais planifiés à l'été 2026**



Essais Viabilité Hivernale

- **Contraintes mécaniques :**

- Passages lames caoutchouc et acier
- Jusqu'à 50 km/h
- Aucun dommage constaté



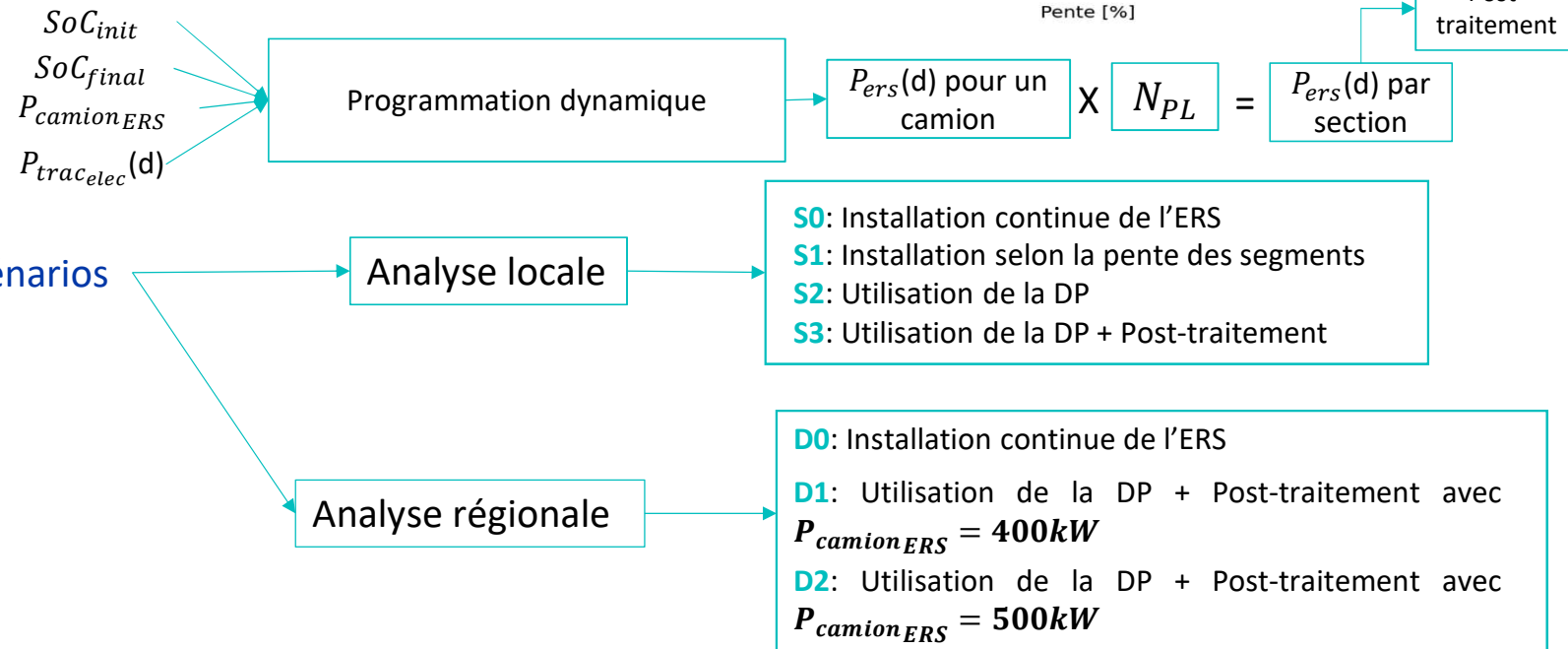
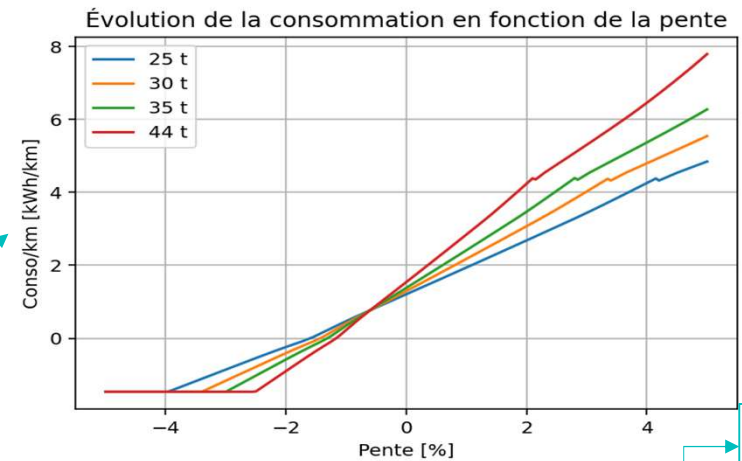
- **Mesures de courants de fuite et courants vagabonds**

- Conditions sèches / humides / saumure / saumure + sel
- Courants vagabonds sous le seuil fixé par la norme EN 50162
- Courants de fuite compris entre 2,5% et 5% (peu de perte de puissance et pas de déclenchement des protections)

Optimisation énergétique

Objectifs :

- Développement de plusieurs modèles (camion, ERS, réseau routier, trafic, modèle économique et vieillissement batterie)
- Optimisation du coût de l'installation de l'ERS :
 - SoC_{init}
 - SoC_{final}
 - $P_{camion_{ERS}}$
 - $P_{tracelec}(d)$
- Modélisation et simulation de scénarios



Optimisation énergétique

Résultats principaux des analyses locales et régionales

Analyse locale

- Une augmentation de la puissance installée permet de réduire le coût de l'infrastructure, en réduisant le linéaire à équiper, tout en garantissant un taux de rechargement de 70%.
- Or, cette augmentation provoque une utilisation accrue de la batterie.

Analyse régionale

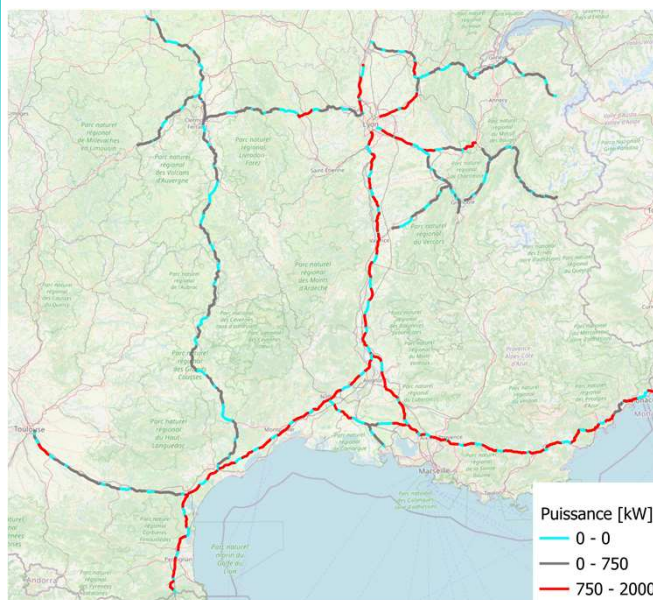


TABLE 14 – Dimensionnement de l'ERS

Dimensionnement	P_{ERS} (kW)	Coût total (M€)	Gain/D0	Taux équipement (%)
D0	400*	8257	0	100
D1	400**	6556	-20.6%	71.1
D2	500**	5366	-35.0%	55.7

* Puissance ERS fixe : Capacité maximale installée de l'infrastructure.

** Puissance camion ($P_{camion_{ERS}}$) : Infrastructure dimensionnée selon le trafic.

TABLE 16 – Bilan de la simulation pour le scénario 2 (ERS + recharge nocturne)

Dimensionnement	Trajets réussis	Trajets échoués	Recharges statiques
D0	433	21	432
D1	454	0	342
D2	453	1	373



Acceptabilité

Principaux enseignements

- Majorité participants se maintiennent en voie ERS
- Regard + porté vers l'avant
- Véhicule mieux centré sur la voie
- Meilleure régulation vitesse et accélération

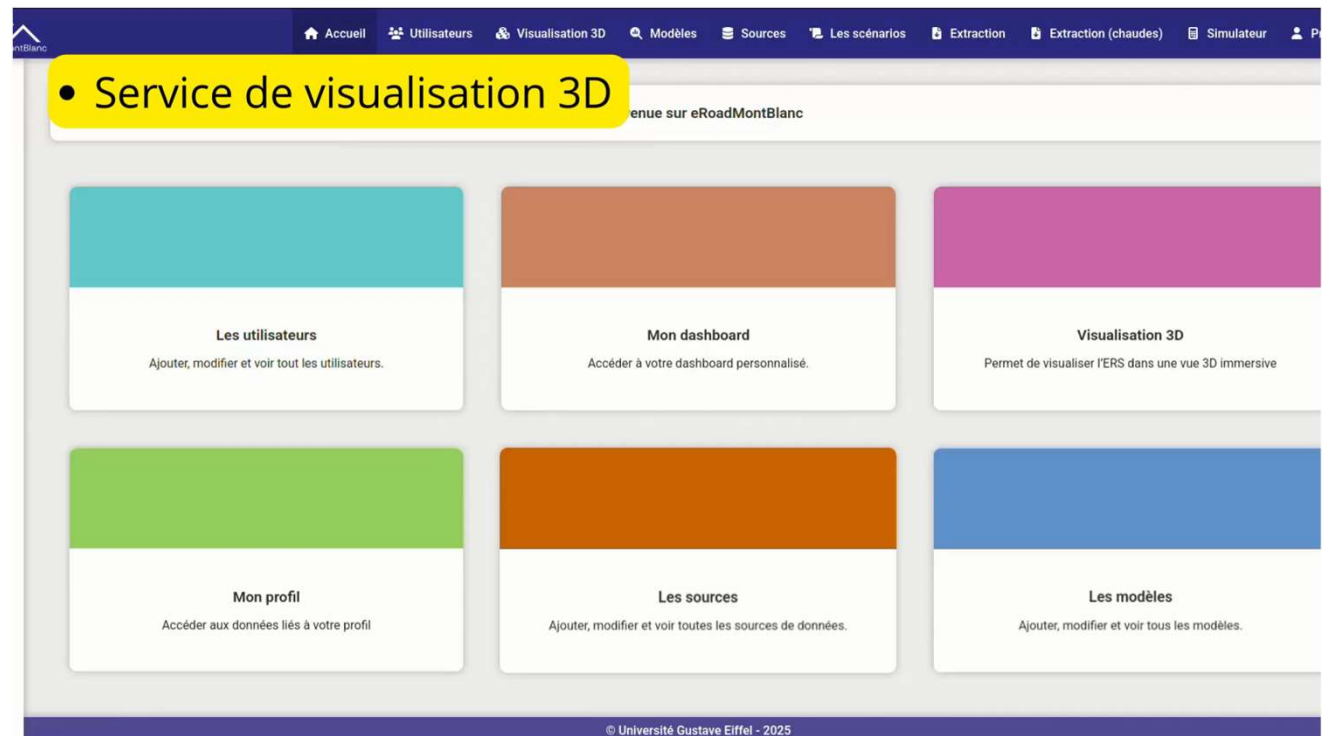
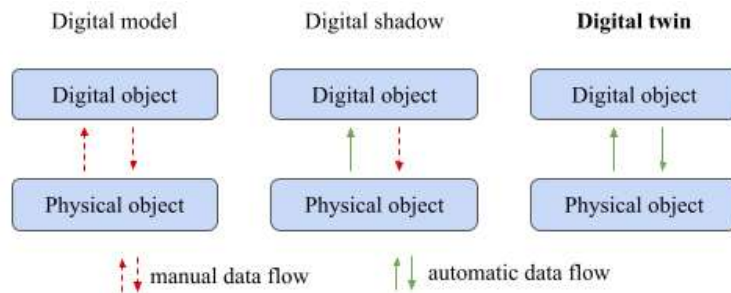
=> Pas d'augmentation significative du risque routier

- Communication institutionnelle à prévoir
- A confirmer sur route ouverte en phase 2



Jumeau numérique

Un jumeau numérique est une copie virtuelle d'un objet ou d'un système, connectée en permanence au monde réel grâce à des échanges de données bidirectionnels.



Jumeau numérique

Perspectives phase 2 – Exploitation

- Passage à l'analyse en conditions quasi réelles.
- Support à la décision pour l'optimisation de l'ERS.

- **Développements techniques**

- Intégration des mécanismes de temps réel sur la plateforme.
- Intégration de modèles supplémentaire (Allocation dynamique, ...)

- **Axes scientifiques**

- Allocation dynamique de puissance en temps réel (Optimisation multi-critères : équité, efficacité, stabilité)).
- Validation sur données réelles via le jumeau numérique.

Essais de tribologie

Essais réalisés par TACV Lab entre novembre 2024 et mars 2025

- Équivalent de 5 millions de passages PL sur les segments ERS à 90 km/h
- 3 forces exercées sur différents jeux de patins :
 - force d'appui de 150N
 - force d'appui de 120N
 - force d'appui de 90 N



Essais de tribologie

- Usure négligeable des segments conducteurs (de l'ordre de l'incertitude de mesure)
- Durée de vie actuelle entre 10000 et 18000 km des patins frotteurs
 - Influence importante de la force d'appui
 - Possible influence du matériau

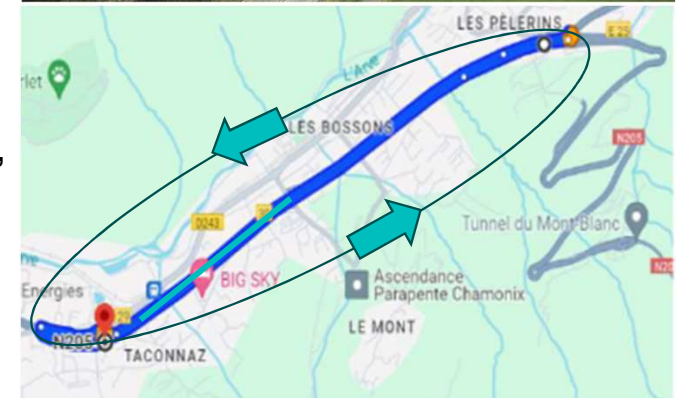


Les perspectives

Confirmer sur la phase 2 sur route ouverte les bons résultats de phase 1

- **Principaux objectifs de la phase 2 :**

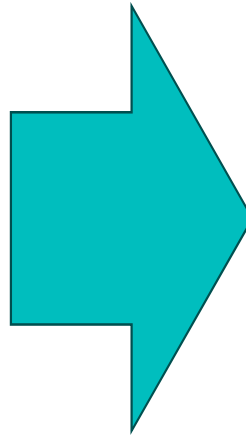
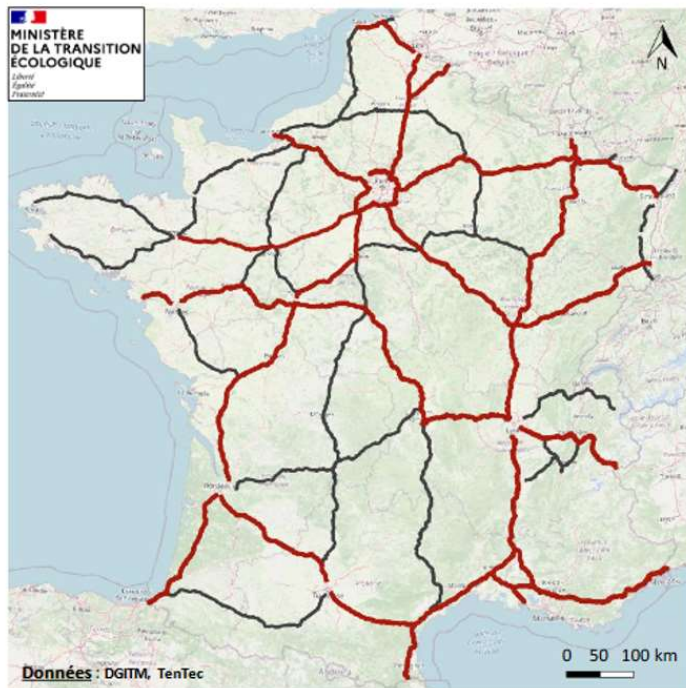
- Valider la sécurité du système sur route ouverte
- Montrer le faible besoin en termes d'entretien
- Montrer la compatibilité avec l'entretien hivernal en conditions réelles
- Montrer l'interopérabilité avec 3 types de véhicules (véhicule léger, autocar, poids lourd)
- Possibilité d'avoir jusqu'à plus de 100 passages par jour
- Cumuler au moins 30 000 km parcourus sur la section ERS en 2 ans



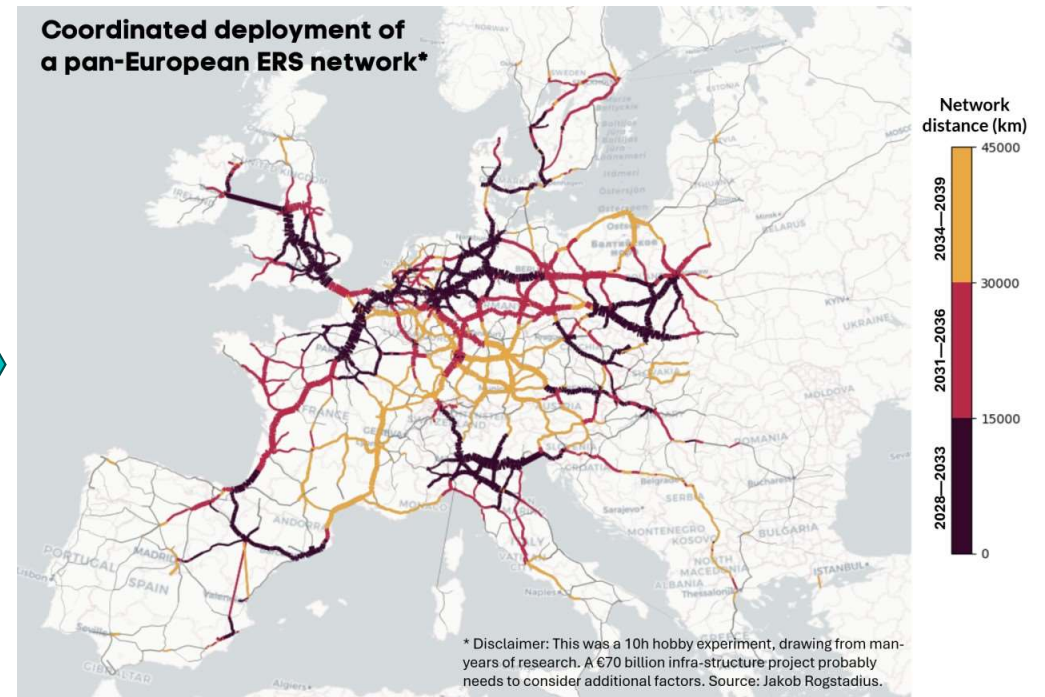
Les perspectives

Déploiement à grande échelle sur le réseau français puis européen

Périmètres ERS 2030 (rouge) et 2035 (noir)



Coordinated deployment of a pan-European ERS network*



Les perspectives

- **Solution technique la plus pertinente pour décarboner le transport routier:**
 - Solution permettant une **réduction de près de 90% les émissions de Gaz à Effet de Serre**
 - Système d'alimentation électrique identique à celle largement **éprouvée depuis 25 ans** (près de **100 millions de km parcourus en APS**)
 - Solution **efficace pour tout type de véhicules** (VL, VUL, PL, Autocars)
 - Capacité d'alimenter **15 véhicules par km**
 - Transfert jusqu'à **500kW** pour les PL (plus de 4 fois l'énergie consommée en roulant)
 - Optimisation du linéaire de route à équiper : **30% sont suffisants** pour alimenter et recharger les véhicules le long d'un corridor)
- **Perspectives économiques:**
 - Développement d'une filière à base d'une technologie française
 - Réduction de la dépendance de notre pays aux batteries venant de l'étranger



ALSTOM
-mobility by nature-

P R O N E R G Y

 Université
Gustave Eiffel

*green***mot**

ATMB 