

# LES ÉLECTRIFICATIONS: UN SUJET D'AVENIR

LE 16 JUIN 2021

Christian Courtois

SNCF Réseau

Direction Générale Industrielle et ingénierie  
Département des installations fixes de traction  
DGII TE

[christian.courtois@reseau.sncf.fr](mailto:christian.courtois@reseau.sncf.fr)

0033611077122



# LES IFTE DE LA SNCF



LES ÉLECTRIFICATIONS: SUJET D'AVENIR  
DIFFUSION LIMITÉE – MERCREDI 16 JUIN 2021

CHRISTIAN COURTOIS



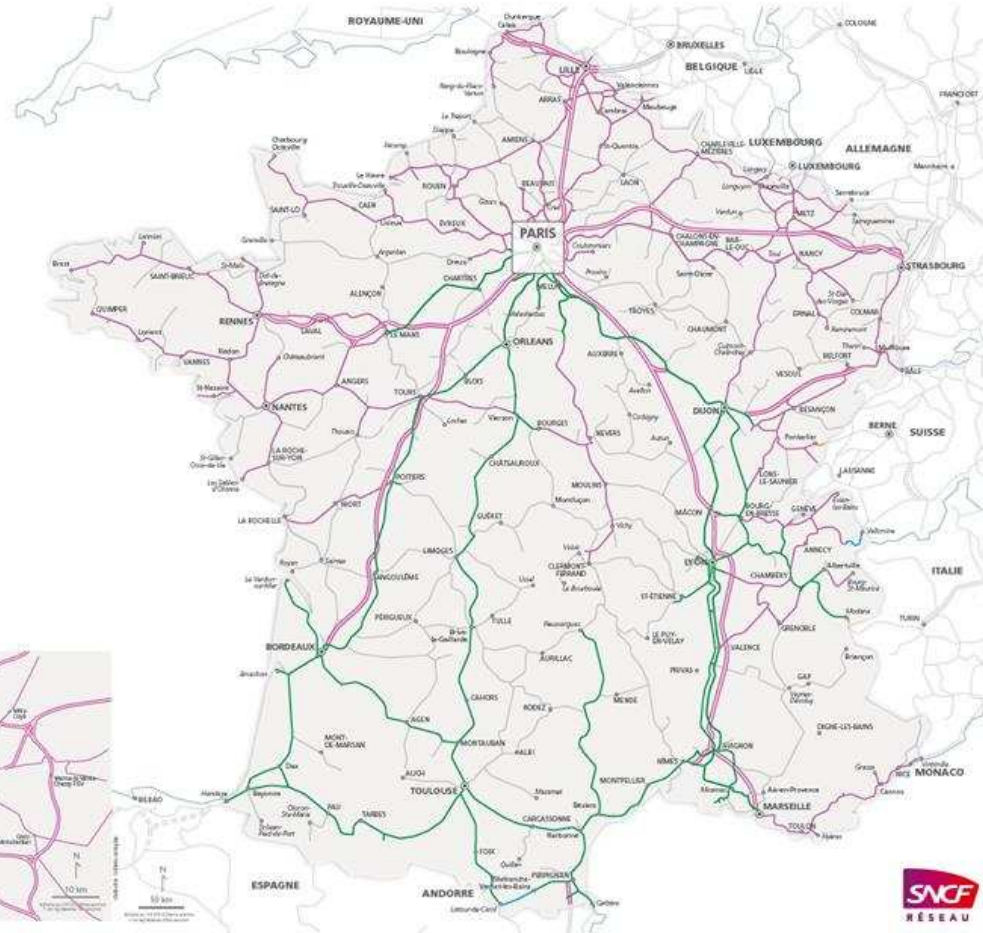
# RÉSEAU FERRÉ NATIONAL LIGNES ÉLECTRIFIÉES

LIGNES ÉLECTRIFIÉES  
SITUATION JUILLET 2017

Au 06 / 2019:



Sources : Données Réseau RGI, avril 2017  
Document non contractuel



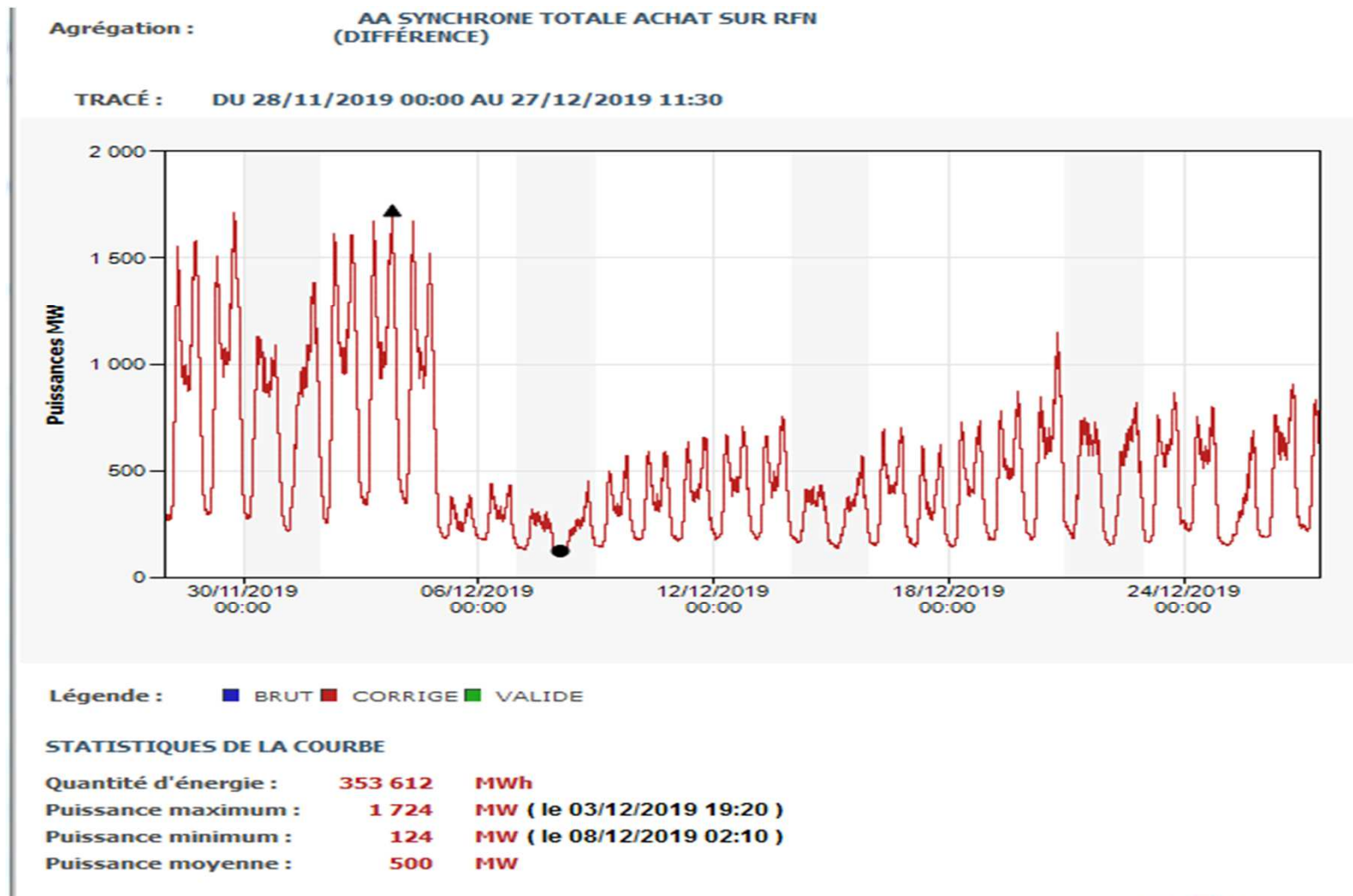
Réseau : 51217 km  
Électrifié : 34080 km de caténaires ou 15087 km de lignes  
1500V : 12435 km  
25 kV 50 Hz : 21492 km  
750 V, 3 kV, 15kV : 153 km  
Dont LGV : 4354 km

Installations d'alimentation:

	Nbre total	1500 V	25 kV	2x25 kV	3000V	750 V cat ou 850 V 3ème rail	Mixte 1500 V/ 2x25 kV	Mixte 1500V/850V 3ème rail
Sous stations	581	401	98	59	1	18	3	1
Postes de traction	2115	652	964	482		16	1	

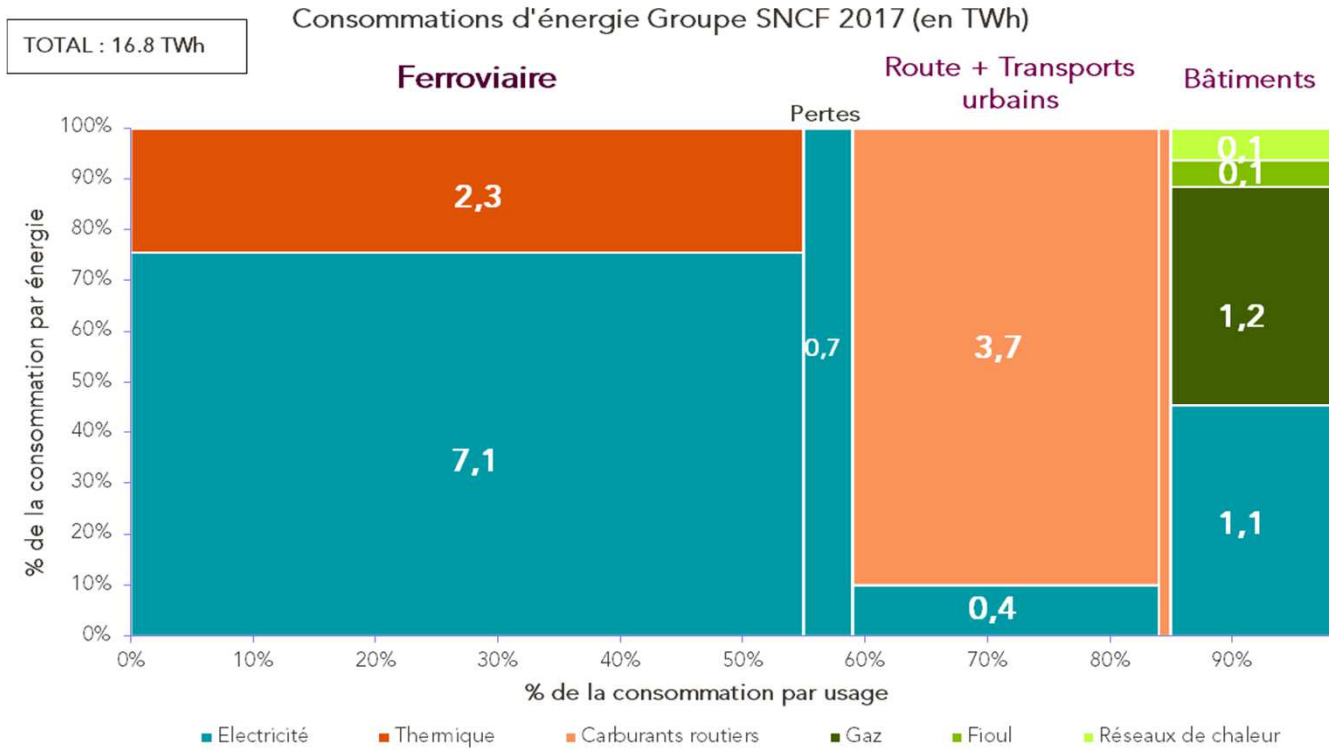
Sous stations  
Postes de traction

# LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE



Emission CO<sup>2</sup>  
du groupe:  
2Millions de  
Tonnes

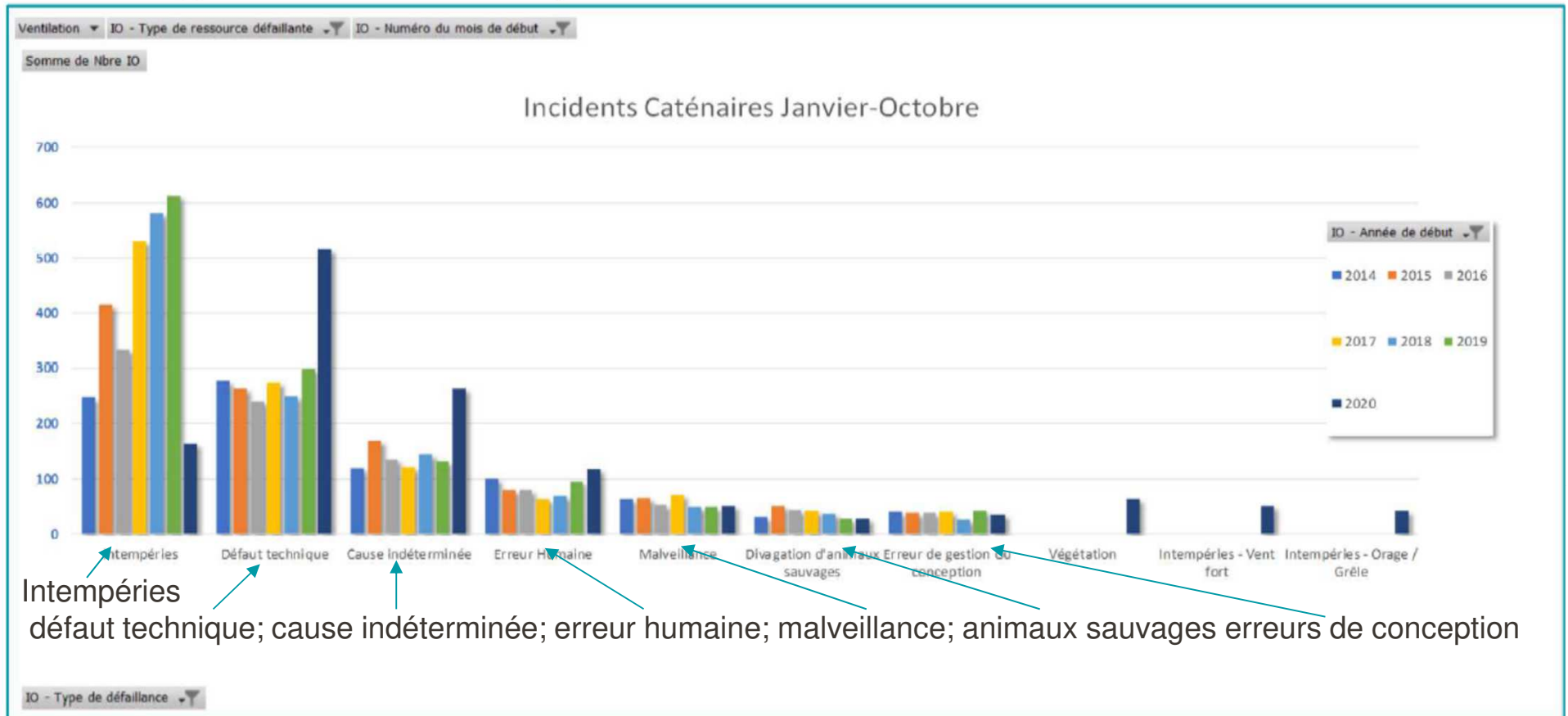
Fonction  
transport:  
-30% /2015  
pour 2030



# LE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU LES INCIDENTS

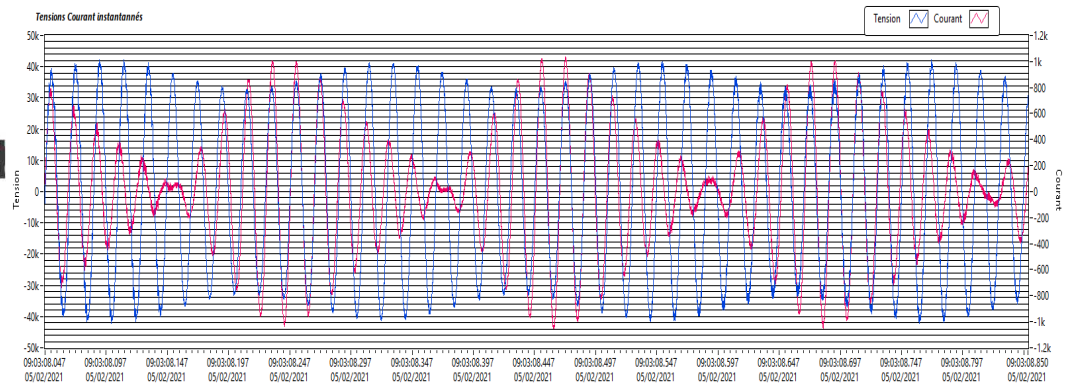
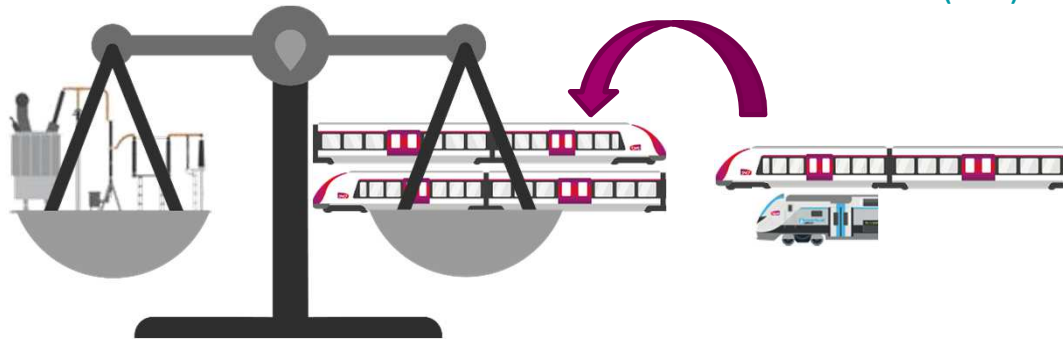


# CAUSES DE DÉFAILLANCE CATÉNAIRE



# PERTURBATIONS ÉLECTRIQUES: INSTABILITÉS BASSE FRÉQUENCE

– DÉPLOIEMENT DE NOUVEAUX MATÉRIEL ROULANT (MR)



# LA VISION IFTE 2030

# IFTE 2030 = VISION DU RÉSEAU DE DEMAIN

## RÉSILIENT



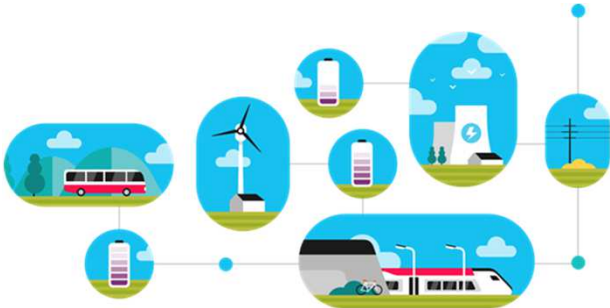
## INTEROPÉRABLE



## ELECTRIFIÉ



## ÉCOLOGIQUE



# LES ENJEUX STRATÉGIQUES POUR LES IFTE

## 1. Résilience :

- Anticiper les changements climatiques (Robustesse du réseau face aux aléas climatiques )
- Réduire l'incidentologie (Diminuer l'impact des incidents sur la régularité)

## 2. Maintenance et exploitation des IFTE :

- S'appuyer sur la télésurveillance et la supervision
- Introduire les objets connectés dans nos actifs
- Exploiter nouvelles technologies digitales et de télécommunications
- Développer la maintenance prédictive

## 3. Coûts complets de possession des actifs :

- Optimiser entre CAPEX et OPEX (Juste équilibre entre Entretien et Renouvellement)
- Proposer des solutions techniques et technologiques dont les coûts totaux de possession sont optimisés en fonction des niveaux de service attendus

# LES ENJEUX STRATÉGIQUES POUR LES IFTE

## 4. Interopérabilité

- Permettre la circulation sur le réseau des matériels roulants interopérables

## 5. Transition écologique et énergétique

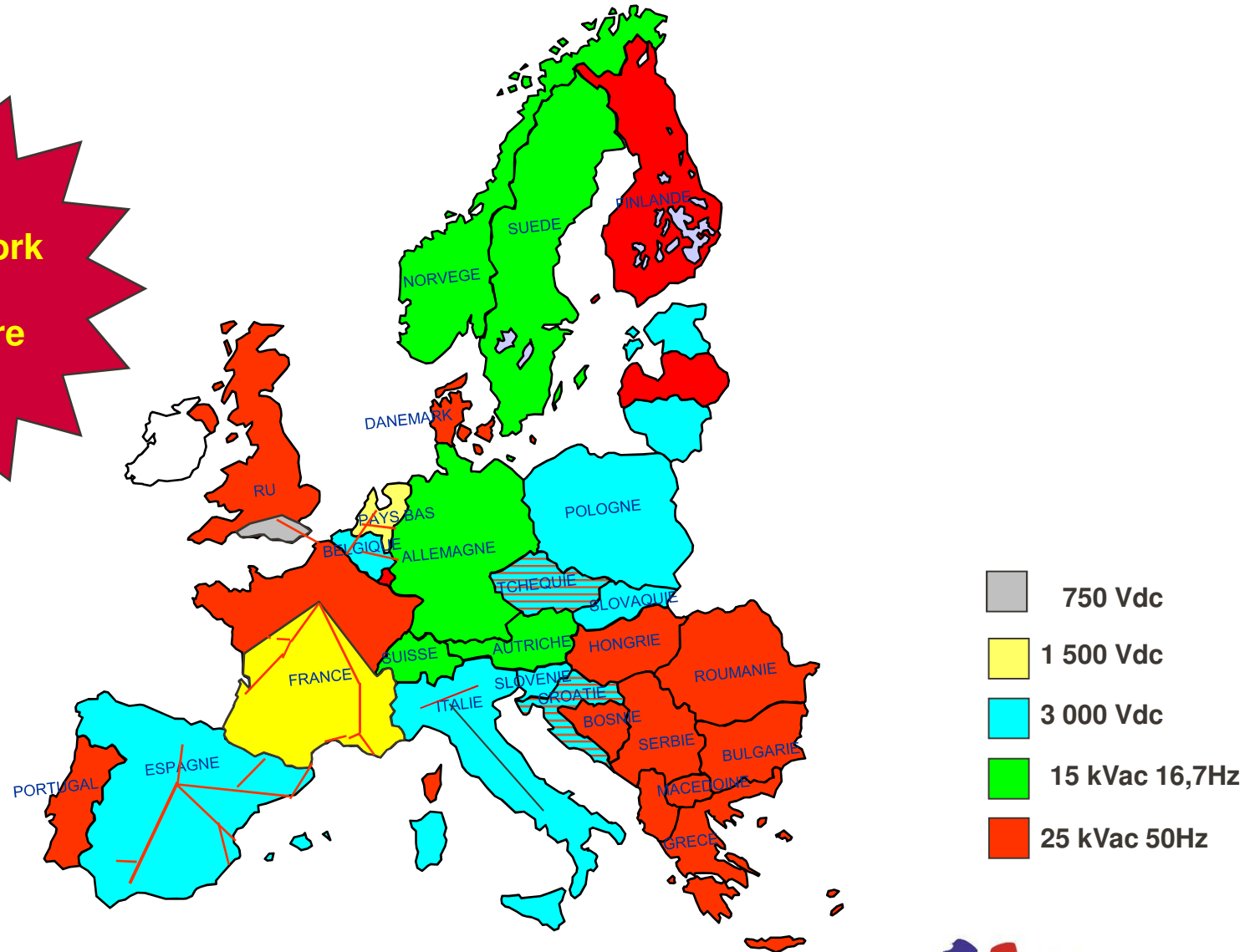
- Economies d'énergie, empreinte carbone
- Écoconception, économie circulaire,
- Développer un réseau électrique intelligent (introduction de source de production, ...)
- Contribuer au verdissement du ferroviaire

# INTEROPÉRABILITÉ

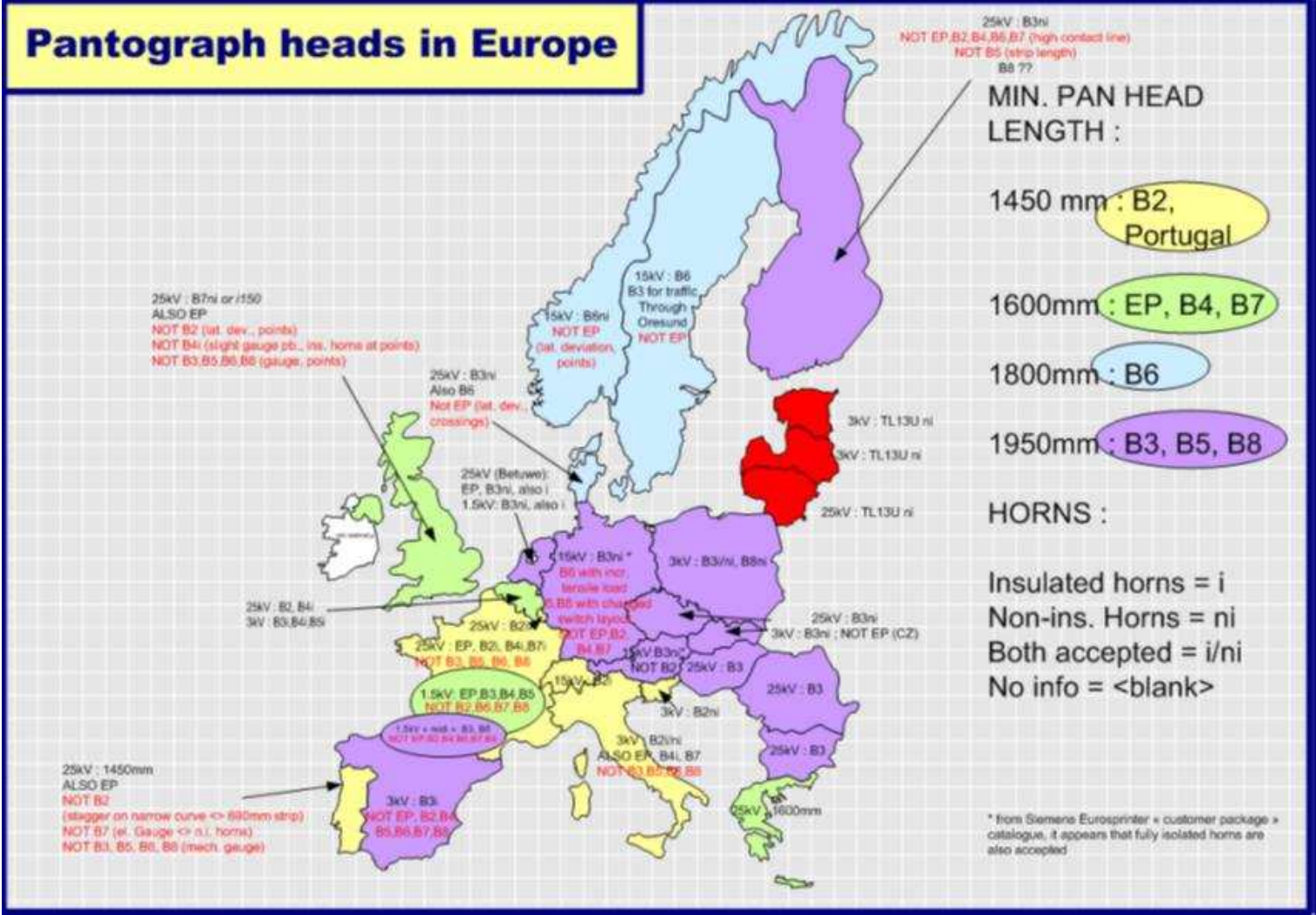


# ELECTRIFICATION DES RÉSEAUX FERRÉS EUROPÉENS

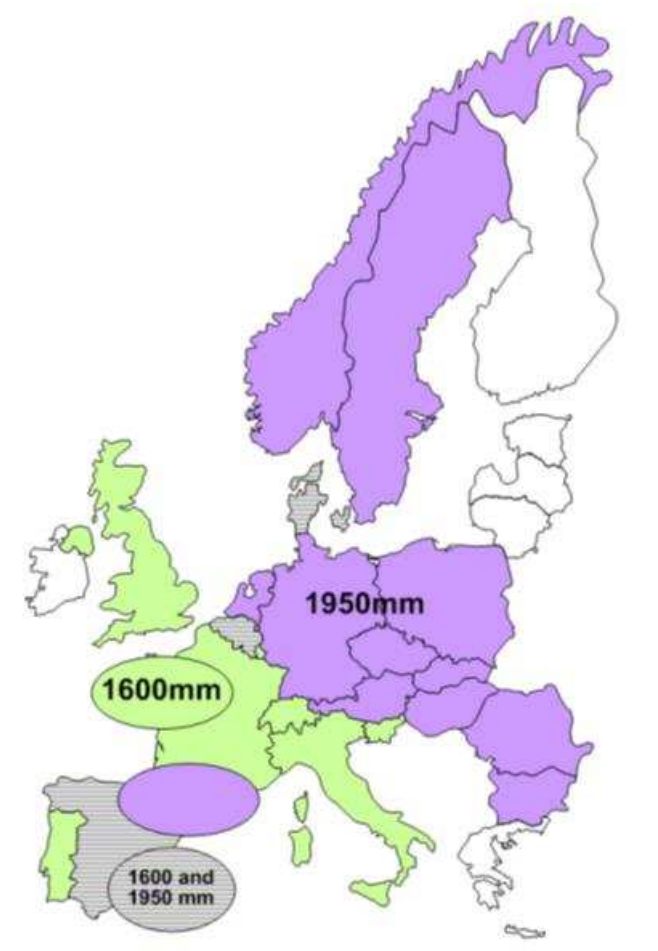
Un patchwork  
resultant  
de l'histoire



# UTILISATION DES DIFFÉRENTS TYPES DE PANTOGRAPHES EN EUROPE



# UTILISATION DES PANTOGRAPHES EN EUROPE: SITUATION CIBLE



# CAPTAGE: COMPATIBILITÉ LAC / PANTOGRAPHE

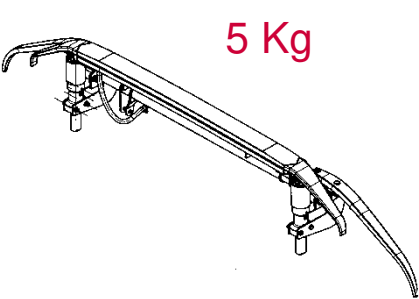
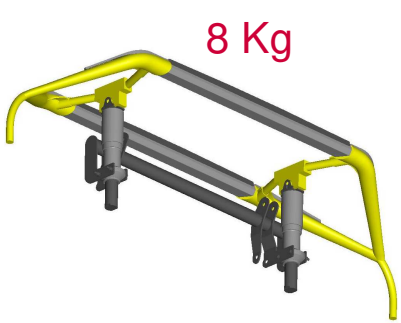
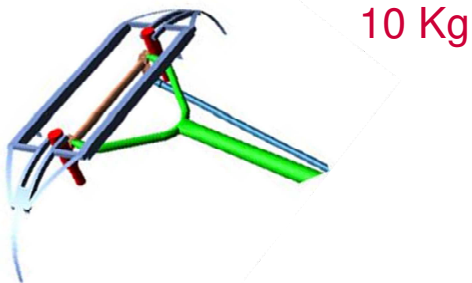
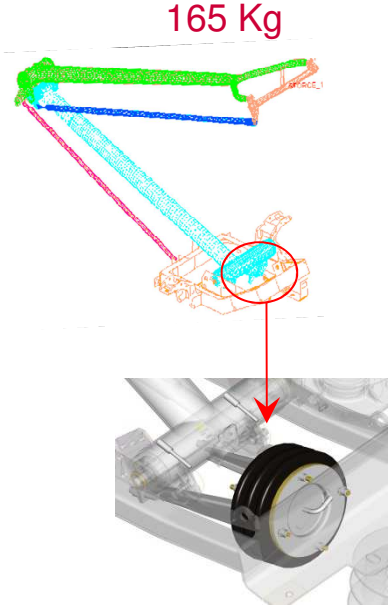
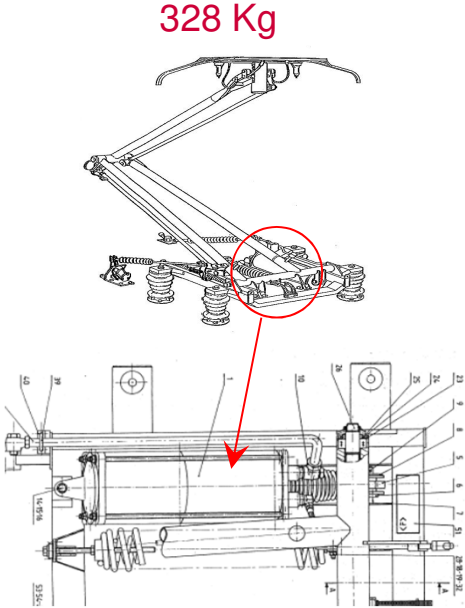
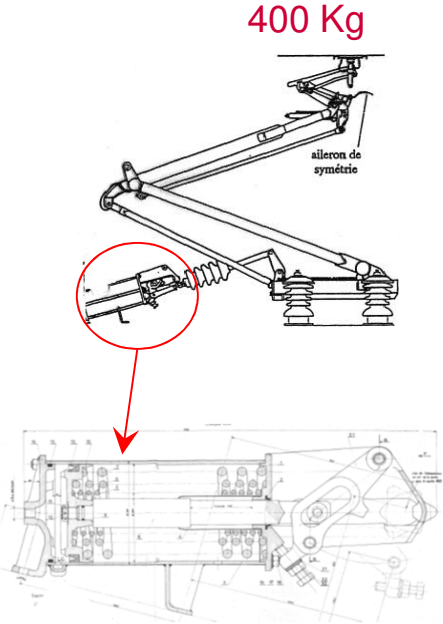
GÉOMÉTRIE DE L'ARCHET DES EURO- PANTOGRAPHES  
1600 MM  
1950 MM  
DÉSAXEMENT DES CATÉNAIRES (ZIG-ZAG)

*- Maximum lateral deviation depending on the pantograph length*

Pantograph length [mm]	Maximum lateral deviation [mm]
1600	400 <sup>1)</sup>
1950	550 <sup>1)</sup>

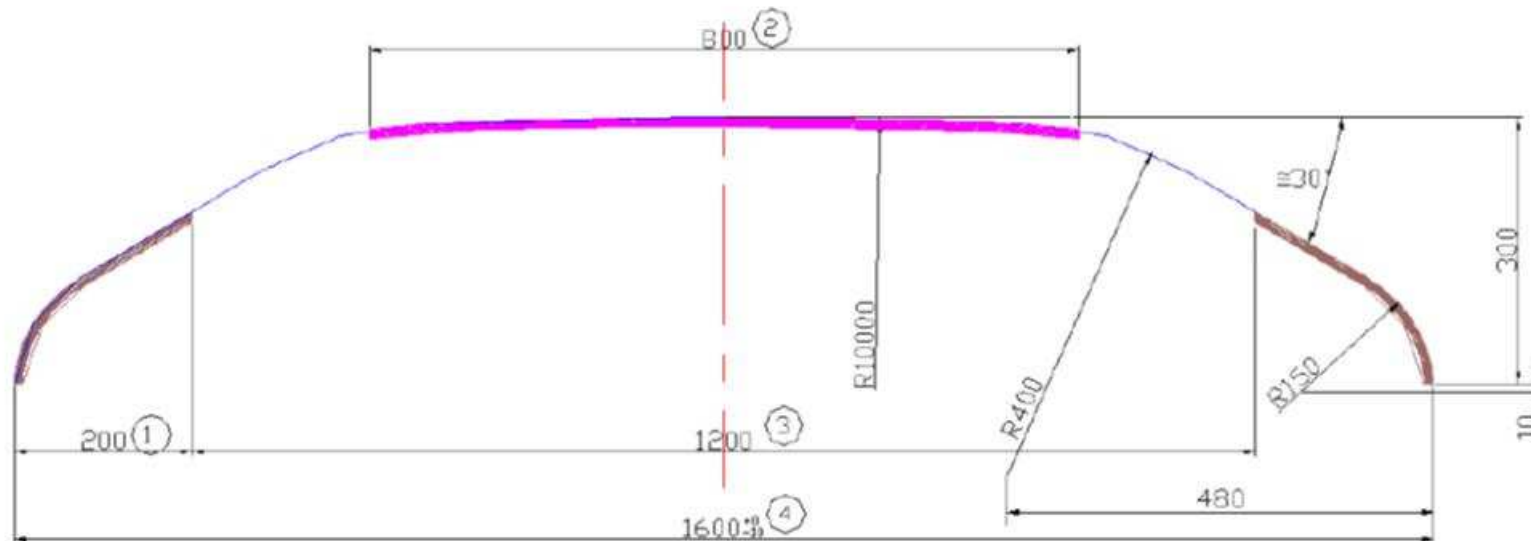
# EXEMPLE DE L'ÉVOLUTION DES PANTOGRAPHES

À la SNCF pour la grande vitesse



# PANTOGRAPHUE EUROPÉEN DE 1600MM

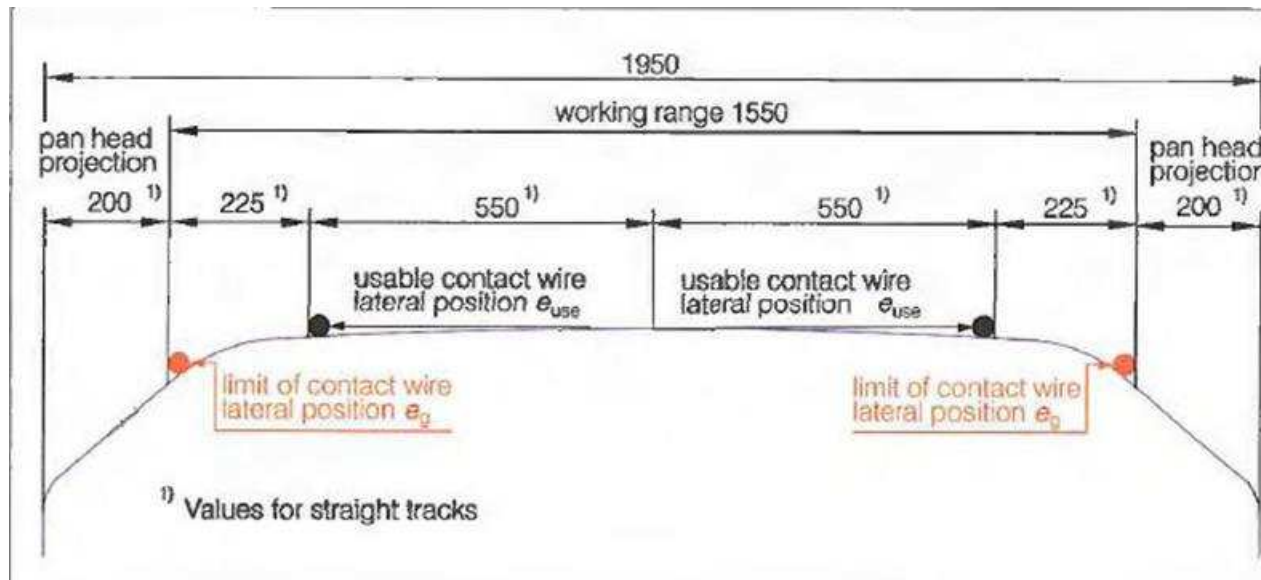
Dimensions in millimetres



## Key

- 1 horn made of insulating material (projected length 200 mm)
- 2 minimum length of the contact strip 800 mm
- 3 working zone of pantograph head 1 200 mm
- 4 pantograph head length 1 600 mm

# PANTOGRAPHUE EUROPÉEN DE 1950 MM



# SURVEILLANCE ET SUPERVISION



# LES ENJEUX

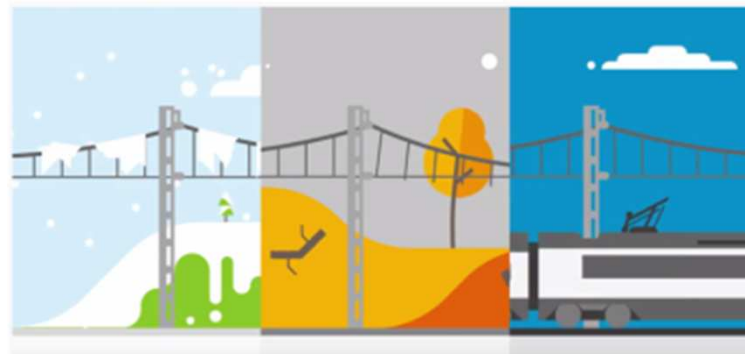
- Renforcer la robustesse et la fiabilité du réseau
- Diminuer les coûts de maintenance
- Avoir une meilleure maîtrise de la consommation d'énergie
- Avoir une meilleure connaissance du patrimoine et affiner les opérations de maintenance pour tendre vers une maintenance prédictive

# CATÉNAIRE CONNECTÉE:

Un programme pour contribuer à la surveillance et à la maintenance de la caténaire



Identification des cas d'usage et des problématiques



Rex et établissement de nouvelles règles de maintenance



# CATÉNAIRE CONNECTÉE

EX D'UN CAS D'USAGE POUR 2020 : CAPTEUR IOT A BASE D'ACCELEROMETRE

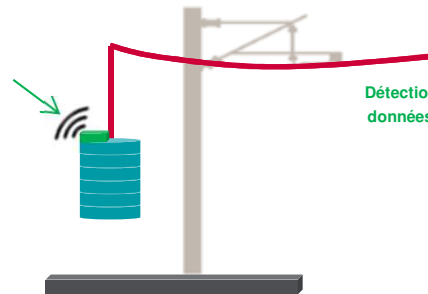
DÉTECTION DE VOL DE CÂBLE – ÉLECTRIFICATION GRETZ-TROYES

Contrepoids à équiper

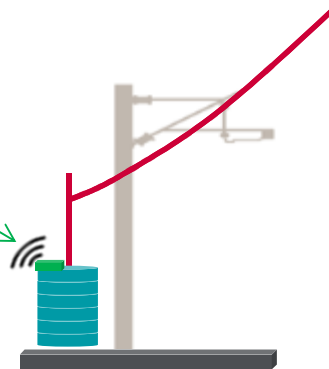


Le module IoT autonome et communicant sera fixé sur le haut du contrepoids

IoT à base d'accéléromètre



Détection de la chute et transmission des données au Cloud/agent de maintenance



PARTENARIAT avec DGOP et  
SNCF I&R

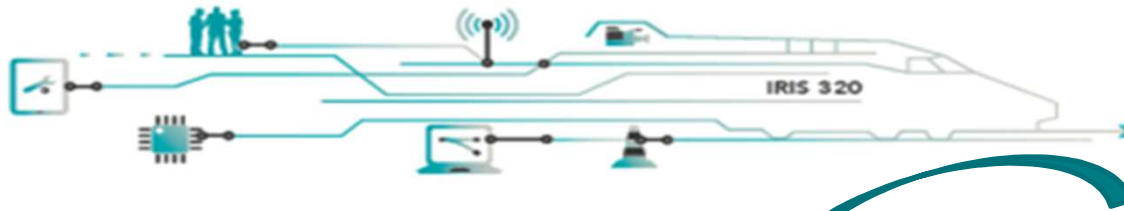
# DÉTECTION AUTOMATIQUE DES DÉFAUTS SUR LES PANTOGRAPHES

Une caméra installée dans l'axe de la voie, avec son Intelligence Artificielle embarquée, reconnaît le numéro du train et détecte de façon automatique l'absence de corne et la présence de défauts (écaillage, fissures, etc) sur

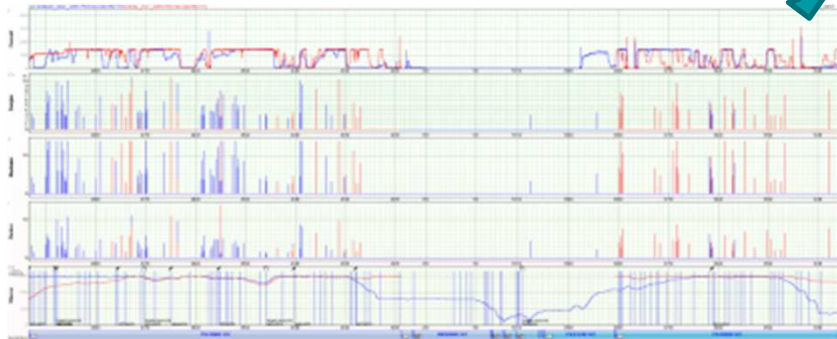


# ARCOS

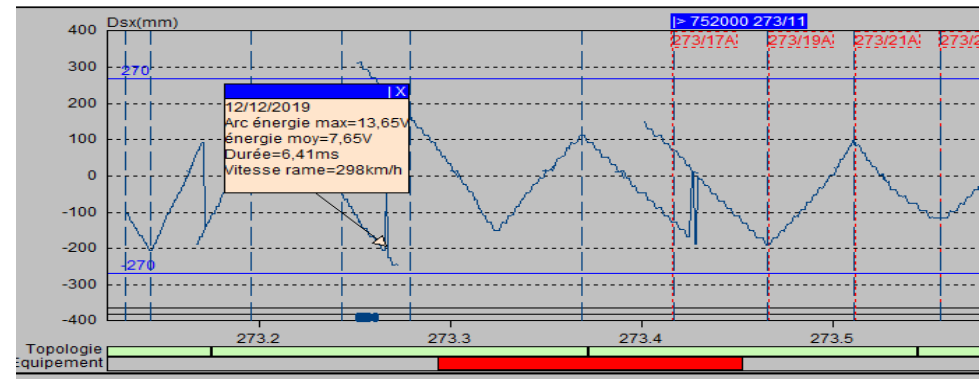
R&D



Détection des arcs

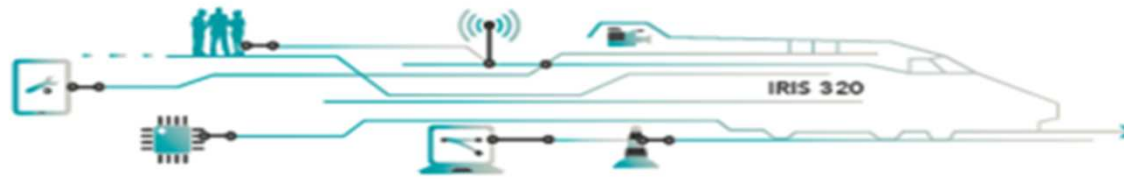


Caractérisation des arcs



Affichage du/des arcs dans Catalyse©

# ARCOS



## VIDE<sub>os</sub>



Vidéos Ferro localisées



Caméra en vigie



Détecter le désaxement caténaire avec des zones de tolérance : vert/jaune/rouge

# CM4

Indus



un nouveau système permettant de mesurer la section des fils de contact à 80 km/h (pantographe instrumenté de caméras et lasers).



Les gains :



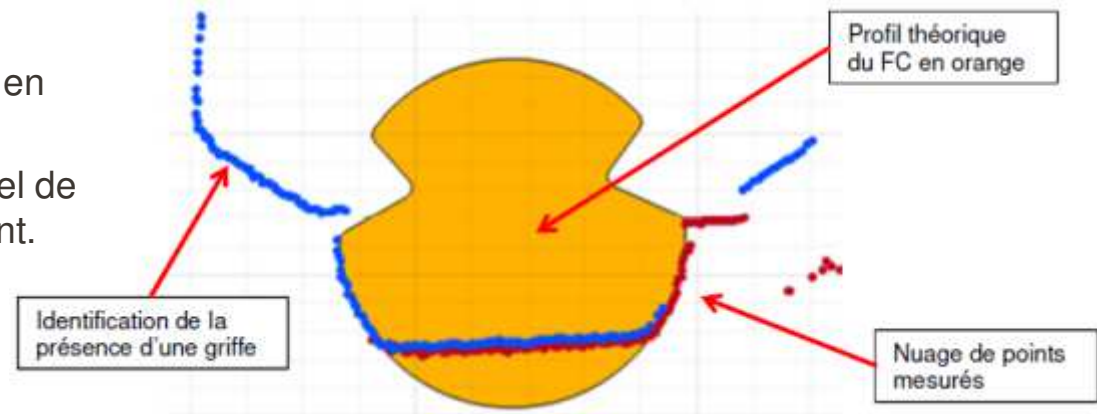
- Libération de capacité et réduction des mesures manuelles
- Mesure de toute forme d'usure pour améliorer et renforcer les prédictions de remplacement des fils
- Diminution significative du parc des engins de surveillance caténaire



Prototype à échelle 1 réalisé et testé en 2019 sur 10 000 km en ligne.

Système d'acquisition validé et logiciel de traitement en cours de développement.

Vecteur de production à identifier.



# INFOGIVRE



**BESOIN :** Connaitre les occurrences de givre pour mener les actions préventives et/ou correctives nécessaires pour anticiper les situations de blocage total. Adapter les plans circulation grâce à la détection fine du phénomène.

## OBJECTIFS :



- Réduire les interruptions de trafic en cas de givre en intervenant plus rapidement
- Prévoir les occurrences de givre pour pouvoir anticiper les incidents et mettre en place des solutions préventives.
- Réduire les coûts (mobilisation des agents, usure du matériel et de l'infrastructure, minutes perdues...)

## COMMENT :

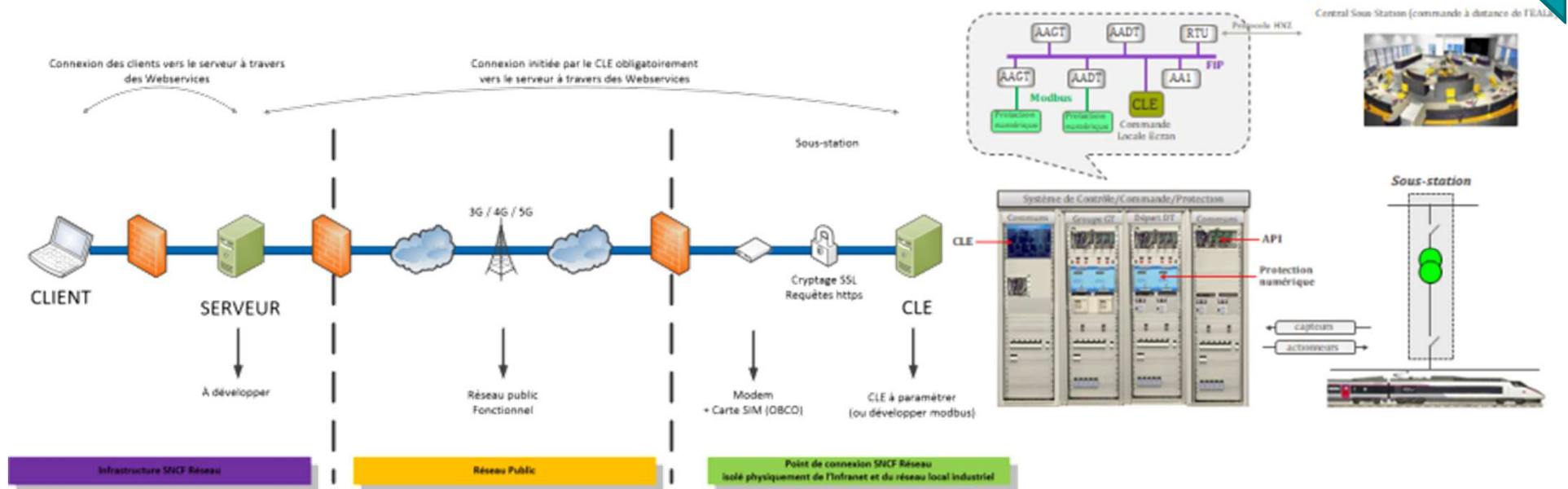


Alertes en temps  
réel

- Par l'installation de capteurs dans les zones concernées pour alerter de la formation de givre. Charge aux zones concernées de mettre en œuvre les meilleures solutions possible (Trains racleurs ; Réchauffement de la caténaire ; Intervention humaine).
- Expérimentation en cours sur 3 zones.

# SOUS STATIONS CONNECTÉES

PROTO



- Données Maintenance
- Maintenance Prédictive
- Indicateurs de performances
- Perturbographies à distance
- Historisation des données

# LA POLITIQUE DE MAINTENANCE



*Validé*

MERCREDI 16 JUIN 2021

PROGRAMME PERTE DE COMPÉTENCES  
JEUDI 31 DÉCEMBRE 2020

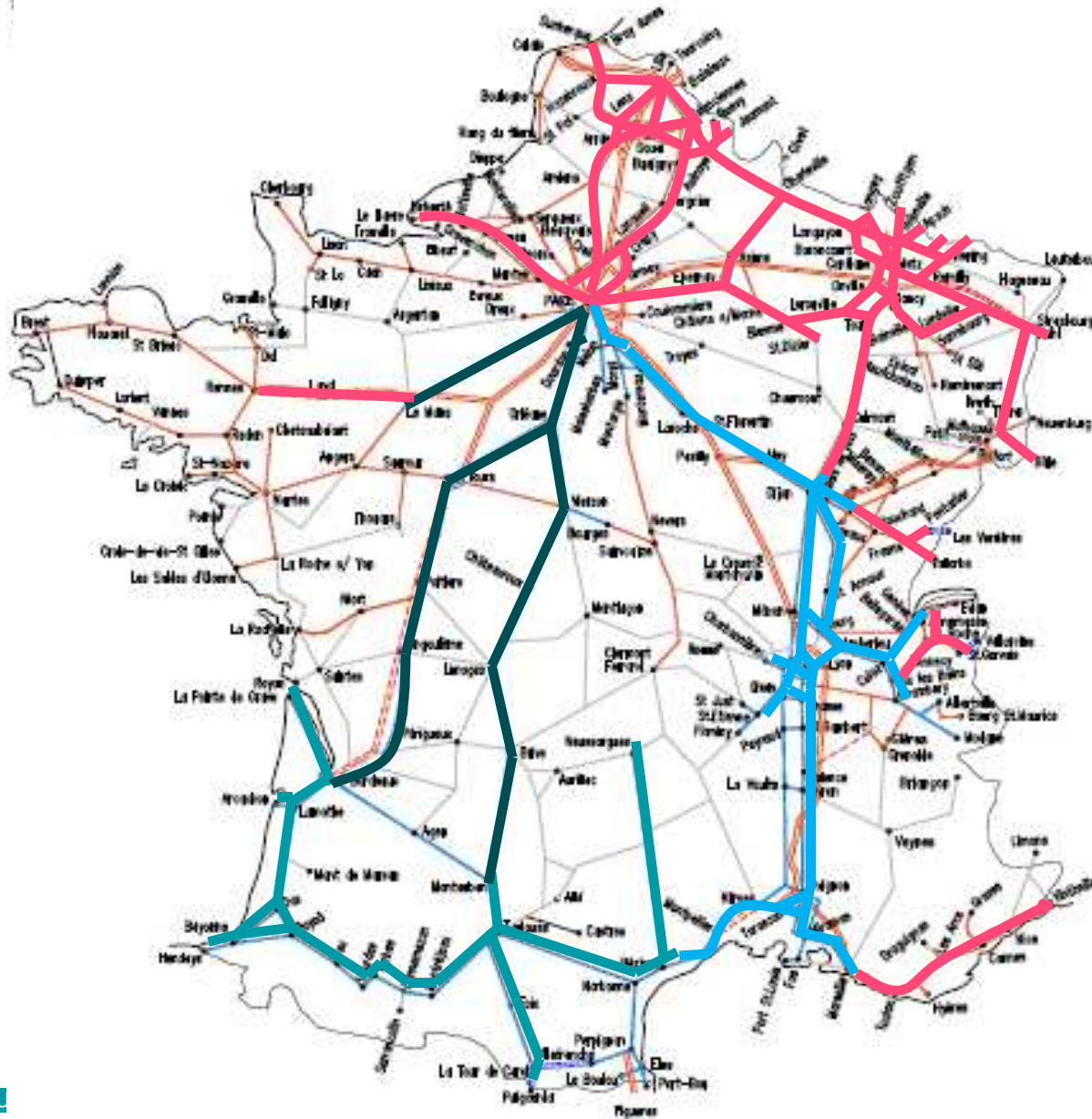
6  
DIFFU



# INDUSTRIALISATION SUITE RAPIDE



# GRANDES ÉTAPES DE L'ÉLECTRIFICATION DU RÉSEAU



Réseau Midi 1,5kv  
1913 – 1935  
1500 kms

SNCF O-SO 1,5kv  
1921 – 1943  
1400 kms

SNCF SE 1,5kv  
1945 – 1970  
1600 kms

SNCF 25kV  
1950 – 1970  
3800 kms

# REEMPLACEMENT PRÉVU DE 60000 SUPPORTS

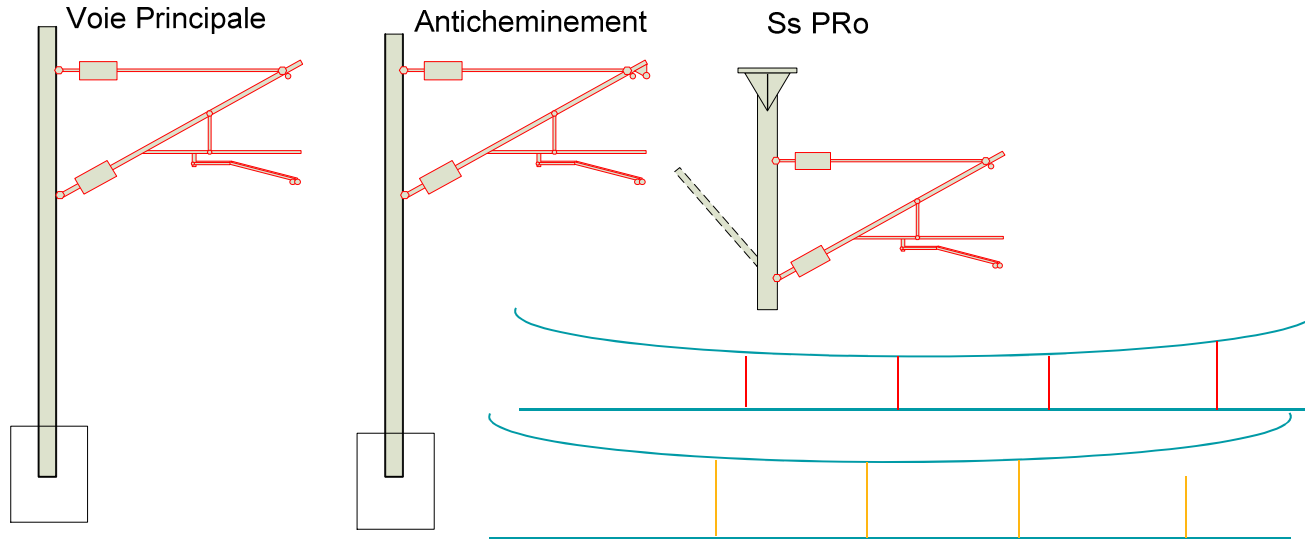


DIFFUSION LIMITÉE —

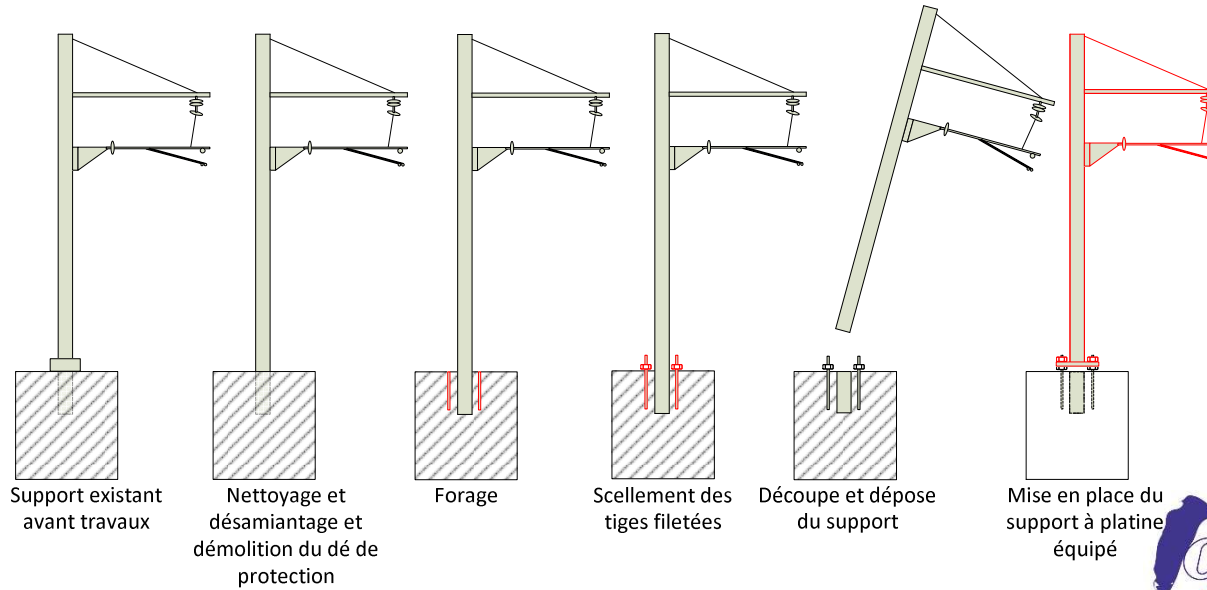


# Travaux principaux: SUPPORTS/ARMEMENTS

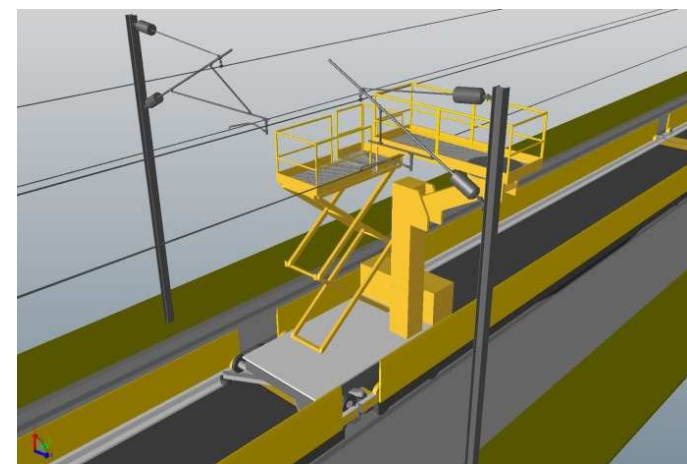
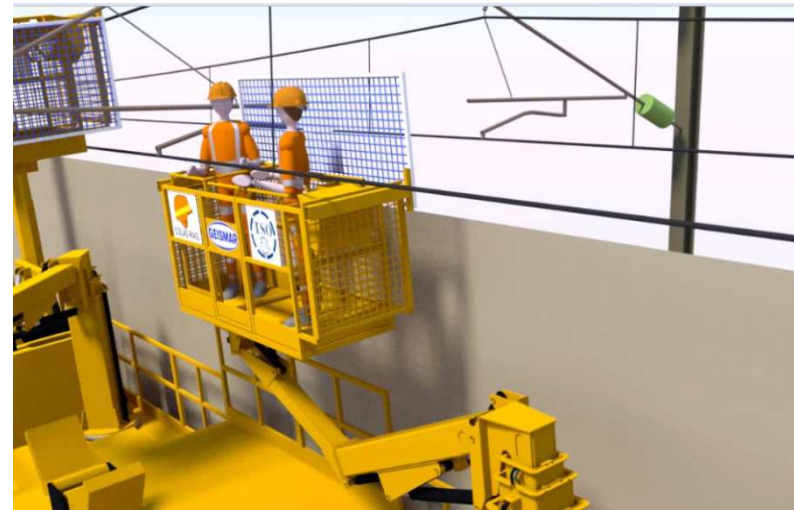
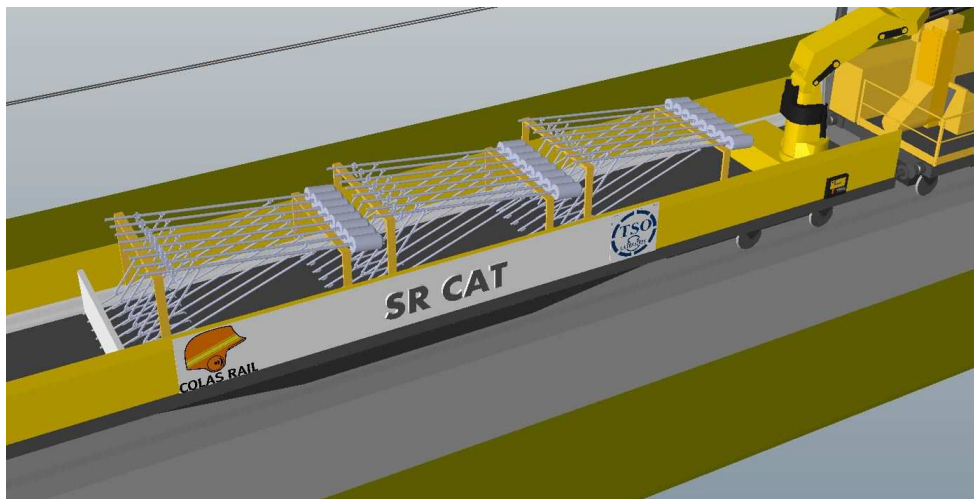
25000V (atelier 1)

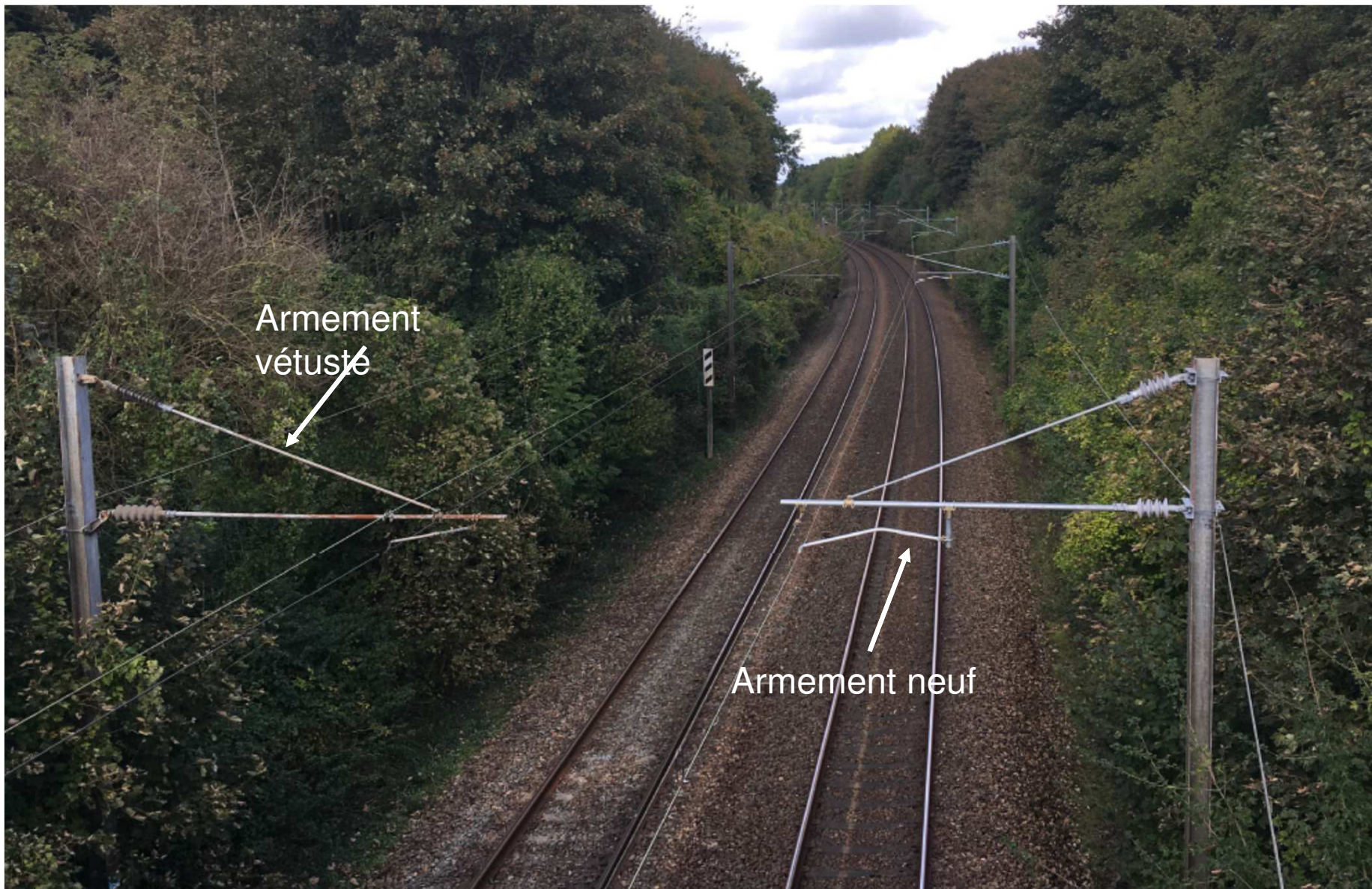


1500V (atelier 2)



## UN OUTIL INDUSTRIEL : LA SUITE RAPIDE CATENAIRE





Armement  
vétusté

Armement  
neuf





09/12/2016

DIFFUSION LIMITÉE -



# LE PRODUIT CATÉNAIRE



LES ÉLECTRIFICATIONS: SUJET D'AVENIR  
DIFFUSION LIMITÉE – MERCREDI 16 JUIN 2021

CHRISTIAN COURTOIS





SNCF RÉSEAU

# INGÉNIERIE & PROJETS CATALOGUE PRODUITS CATÉNAIRES

ÉDITION 2017

## LA CATÉNAIRE DE SNCF RÉSEAU DANS LE MONDE

PROJETS CLIENTS ET PARTENAIRES  
DANS PLUS DE 30 PAYS  
AU 01.01.2015



LES ÉLECTRIFICATIONS: SUJET D'AVENIR  
DIFFUSION LIMITÉE – MERCREDI 16 JUIN 2021

CHRISTIAN COURTOIS



# DESIGN DE CATÉNAIRES

## DOMAINES D'EMPLOI



Légende :

○ Certifiée STI

○ Certification STI à venir

■ Domaine d'emploi optimisé

## CATÉNAIRES POUR VOIES DE SERVICE

### POUR ALIMENTATION 25000 V<sub>ca</sub> ou 1500 V<sub>cc</sub>

I&P-TE propose une large gamme de caténaires dédiées aux voies de service :

- Ligne de Contact Simple Régularisée (ou non) 25000 V<sub>ca</sub>
- Ligne de Contact Simple ou Double 1500 V<sub>cc</sub> (non-régularisée)
- Ligne de Contact Double Renforcée 1500 V<sub>cc</sub> (non-régularisée)



## CATÉNAIRE V350 STI JUSQU'À 350 KM/H

### CATÉNAIRE À GRANDE VITESSE DE DEUXIÈME GÉNÉRATION

C'est avec la caténaire V350 que le dernier record de vitesse sur rail a été réalisé à 574,8 km/h.

Elle est apte à la circulation commerciale à 350 km/h. Sa conception a été optimisée pour réduire le coût sur tout le cycle de vie en garantissant des performances de haut niveau. Cette conception est appuyée sur un REX de 35 ans de la caténaire V300.

La hauteur nominale du plan de contact est définie à 5,08 m pour minimiser le coût des ouvrages d'art mais elle peut être ajustée à la demande du client jusqu'à 5,30 m.

La caténaire V350 est certifiée STI par un organisme indépendant.



LGV Est-Européenne phase 2  
 (Paris-Strasbourg)  
 LGV Bretagne Pays de Loire  
 (Le Mans-Rennes)  
 LGV Contournement  
 Nîmes Montpellier  
 LGV Sud Europe Atlantique  
 (Tours-Bordeaux)



LGV Tanger-Kénitra  
 -200 km - Projet en cours

## CATÉNAIRE V350 STI FICHE TECHNIQUE

TENSION ÉLECTRIQUE	25000 V <sub>ca</sub> - 50 Hz (ou 15000 V <sub>ca</sub> - 16,7 Hz)
VITESSE MAX	350 km/h
VERSION DE LA CERTIFICATION STI EN	2008 et 2014
PANTOGRAPHES ACCEPTÉS	1450 mm - 1600 mm - 1950 mm <sup>(1)</sup>
ESPACEMENT DES PANTOGRAPHES	Conforme types A, B, C du tableau 4.2.13 de la STI
LONGUEUR DE CANTON	1400 m
LONGUEUR DE PORTÉE MAXIMUM	63 m (pour rayon > 20000 m)
RAYON MINIMAL LIGNE	1000 m
AMPLITUDE DE RÉGULARISATION	80 °C
ENCOMBREMENT NORMAL AUX SUSPENSIONS	1,400 m
NATURE CÂBLE PORTEUR	Bz 116 mm <sup>2</sup>
TENSION CÂBLE PORTEUR	2000 daN
NATURE FIL DE CONTACT	Cu 150 mm <sup>2</sup> en cuivre allié
TENSION FIL DE CONTACT	2600 daN
HAUTEUR NOMINALE DU FIL DE CONTACT	5,08 m (constante)
HAUTEUR LIBRE NÉCESSAIRE SOUS OUVRAGE D'ART	6 m
CONDUCTEUR DE PROTECTION AÉRIEN	Oui
FEEDER « NÉGATIF »	Oui (selon mode de retour traction)
BOUCLE DE DÉGIVRAGE	Option possible
SECTION CUIVRE ÉTALON	203,7 mm <sup>2</sup>

Valeurs nominales à utiliser en revue d'alignement. Pour les phases projet, se référer au plan de principe.

(1) Après adaptation.

# LES SOUS STATIONS

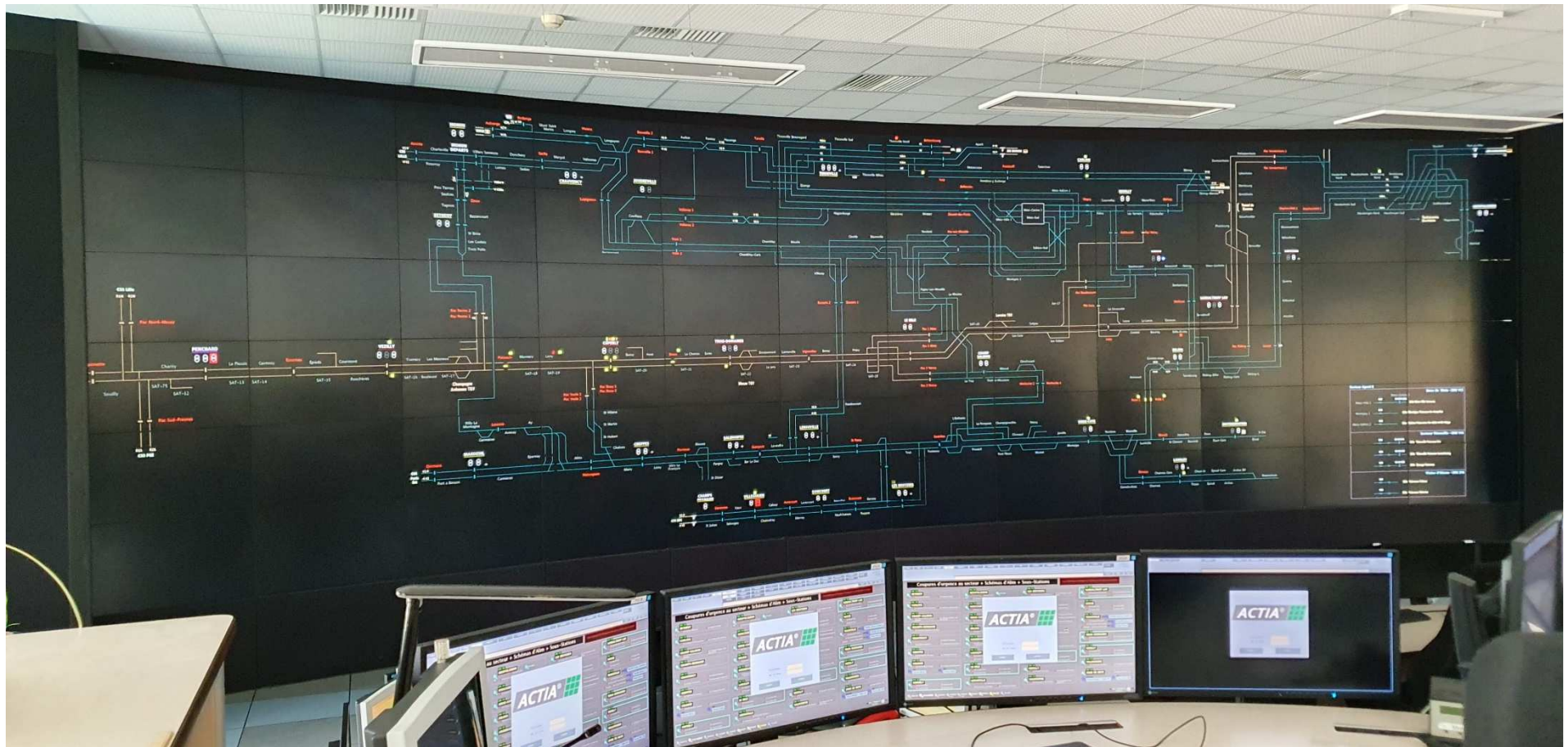




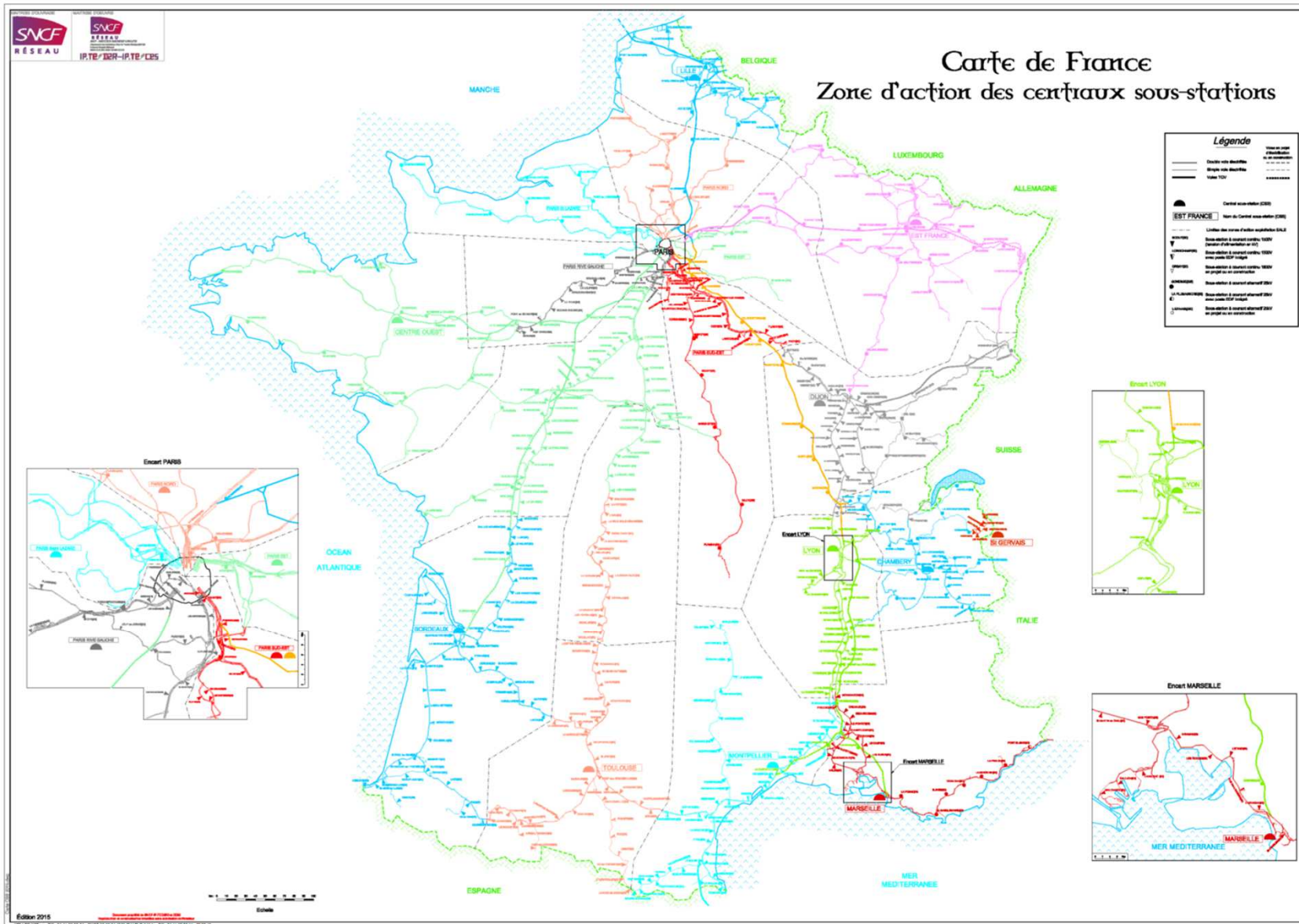


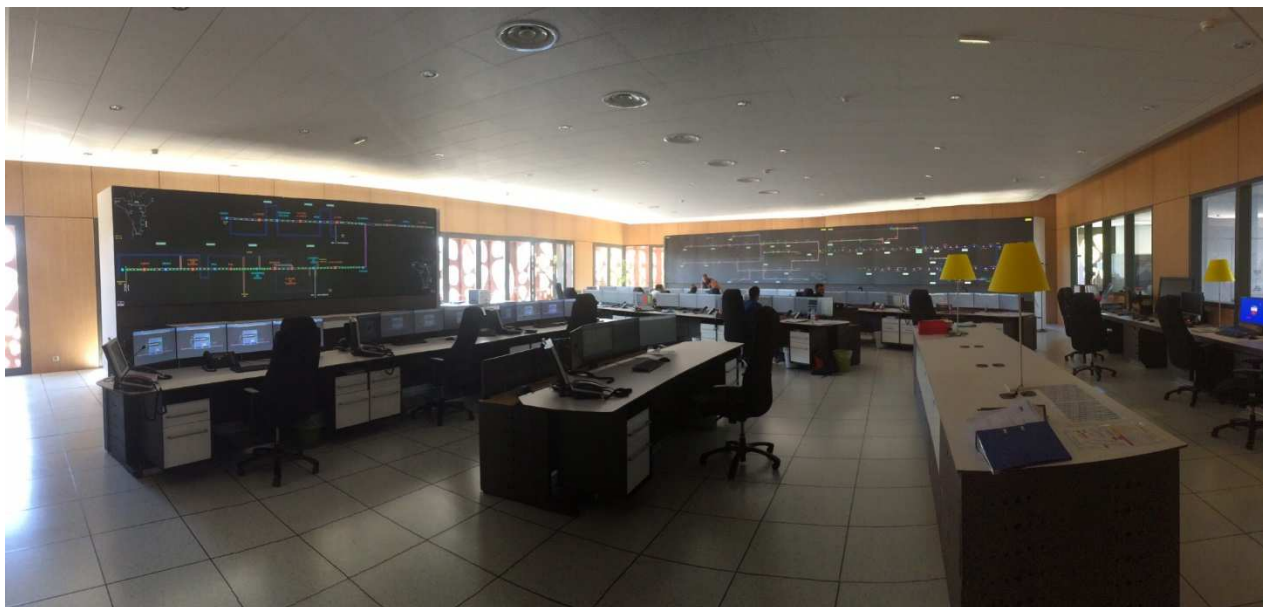
# LES CSS

## 15 CSS EN FRANCE



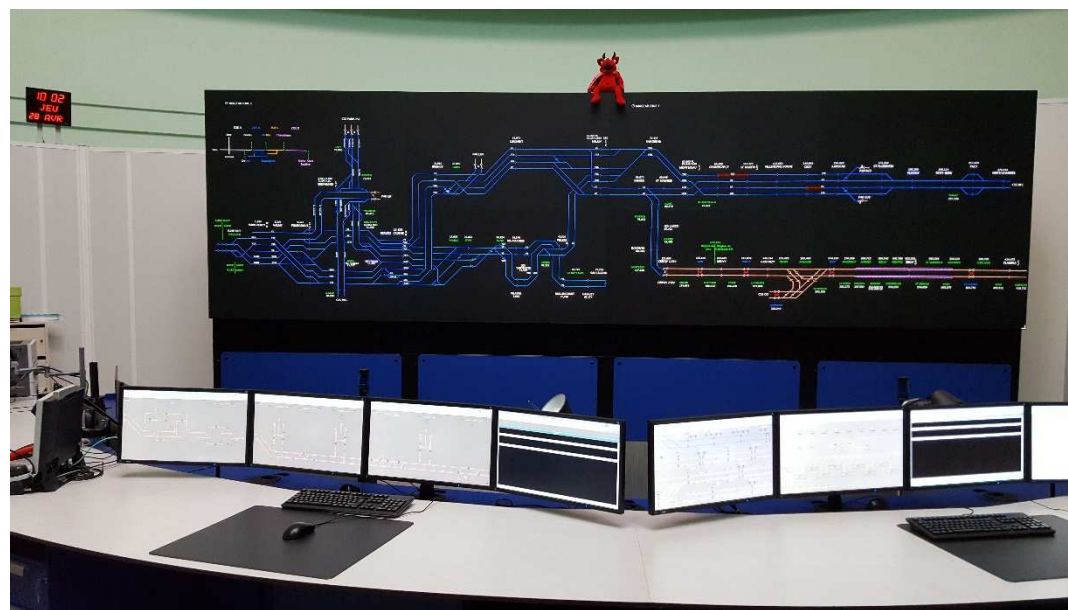
DIFFUSION LIMITÉE – MERCREDI 16 JUIN 2021





Centre Ouest  
Rennes

Paris Lyon



# RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

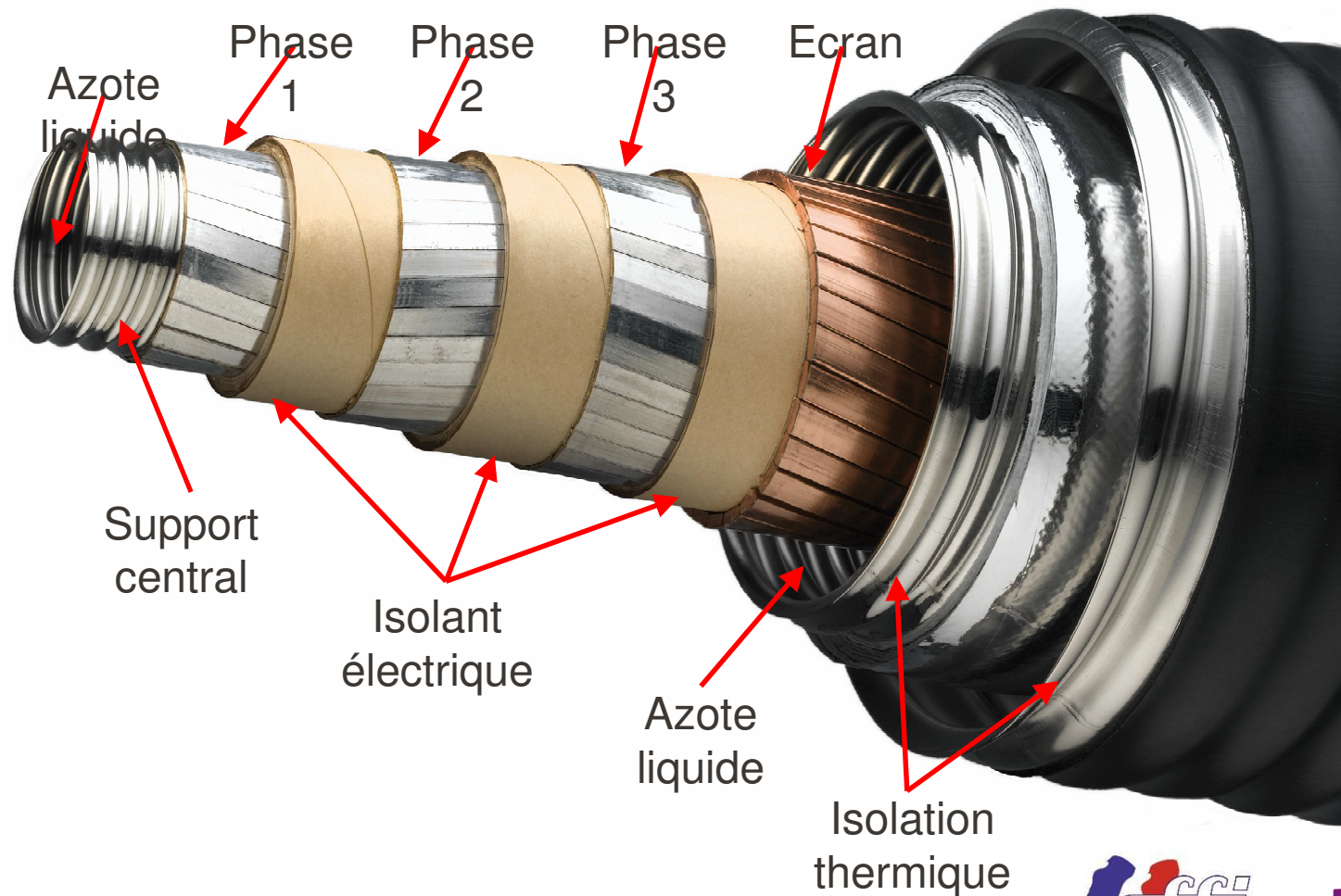
## NOS REALISATIONS

ESMERALDA NG.....	8
BASSE TENSION DES SOUS-STATIONS MOBILES 1,5 kV.....	9
RAC.....	10
CUMR.....	11
HOMOLOGATION NUMERIQUE .....	12
CSRR .....	13
ACCUM.....	14
PROTECTION DES PIEDS DE SUPPORT.....	15
GESTION DE L'ENERGIE.....	16
2*1 500 V OU 2*750 V.....	17
POSTE IFTE AUTONOME.....	18
SOUS-STATION A ENERGIE VERTE.....	19
SENTINEL .....	20
CATIRIS NG.....	21

## NOS INNOVATIONS

SEC.....	23
COVEREEF.....	24
START & STOP.....	25
SUPRACONDUCTIVITE.....	26
CAMESCAT.....	27

# SUPRACONDUCTIVITÉ: Structure d'un câble alternatif en moyenne tension



# ACCUM: Armement Caténaire Composite Universel Multitension



# COMMENT AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES IFTE?

## LE COURANT CONTINU RESTE TRÈS INTÉRESSANT

La tension électrique 1,5 kV montre ses limites:

- Chutes de tension (performance des trains)
- Courant élevé (dimensionnement, captage)
- Tensions rail sol , corrosion

Passage en 3 kV:

- migration coté infrastructure facile,
- nécessité MR adapté
- Pertes / 4
- Chutes de tension /2

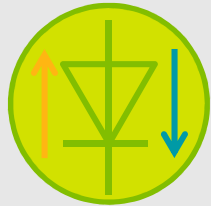
Au-delà de 3 kV ?

- Chutes de tension faibles
- Matériel électrotechnique de coupure absent

# ÉNERGÉTIQUE

# L'ÉNERGIE DE FREINAGE DANS LE SYSTÈME FERROVIAIRE

Les problématiques de l'énergie de freinage



Alimentation non réversible



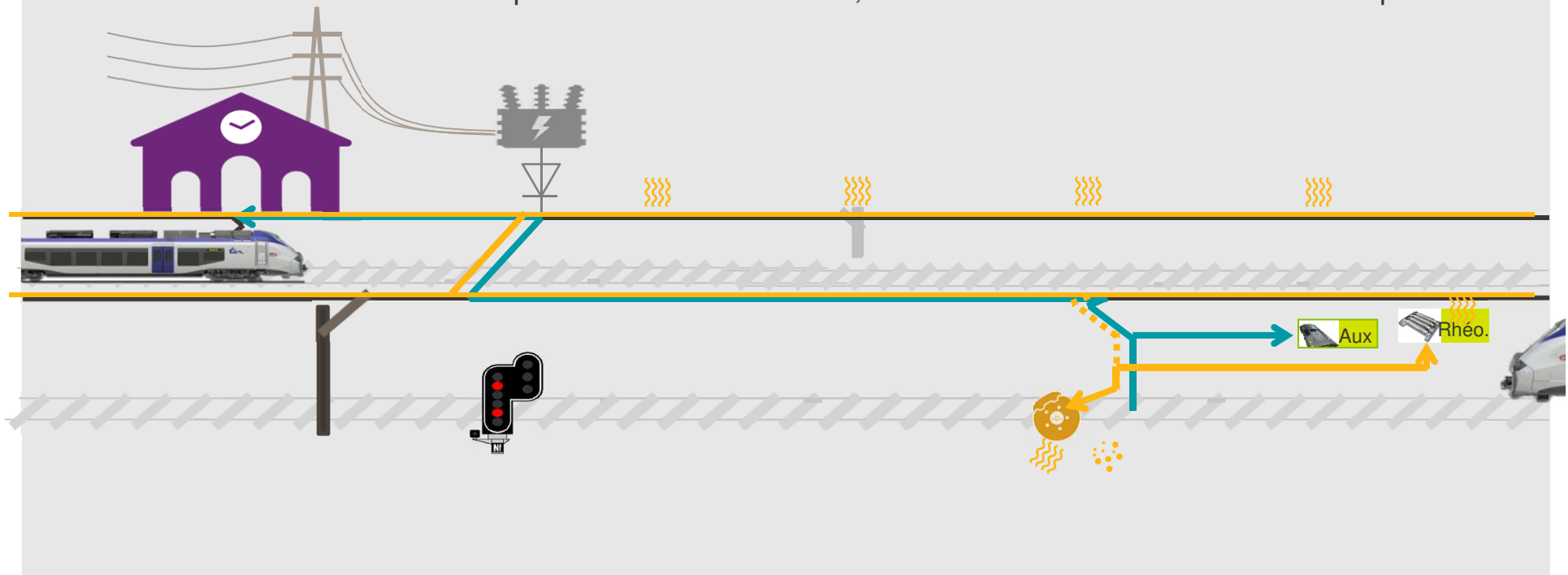
Emission de particules



Pertes énergétiques  
1,5 GWh/sous-station



Augmentation de la température



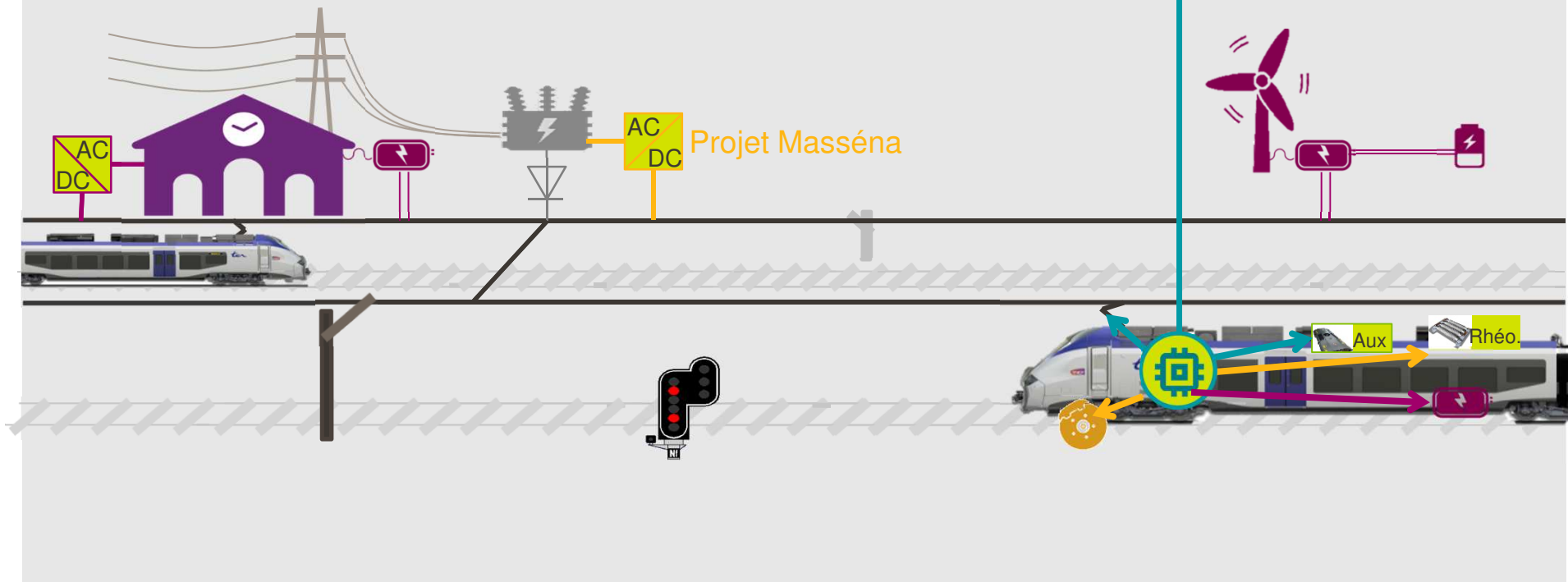
# L'ÉNERGIE DE FREINAGE DANS LE SYSTÈME FERROVIAIRE

Les solutions disponibles

La distribution de l'énergie de freinage dépend :

- Du geste métier (puissance de freinage demandée),
- De la tension captée au pantographe.

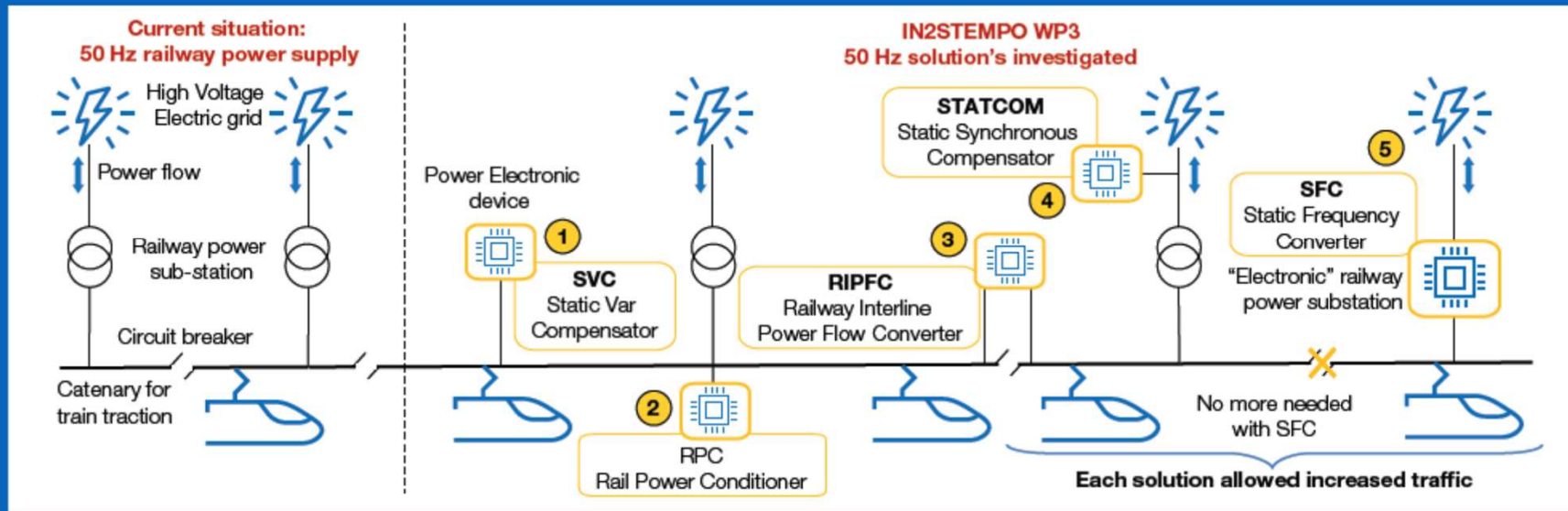
Éco-conduite & ATO ←  
Nouveaux équipements sur l'infra pour augmenter la réceptivité de la ligne surtout en zone dense ou les rhéostats sont supprimés ←



# L'INTRODUCTION DE L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

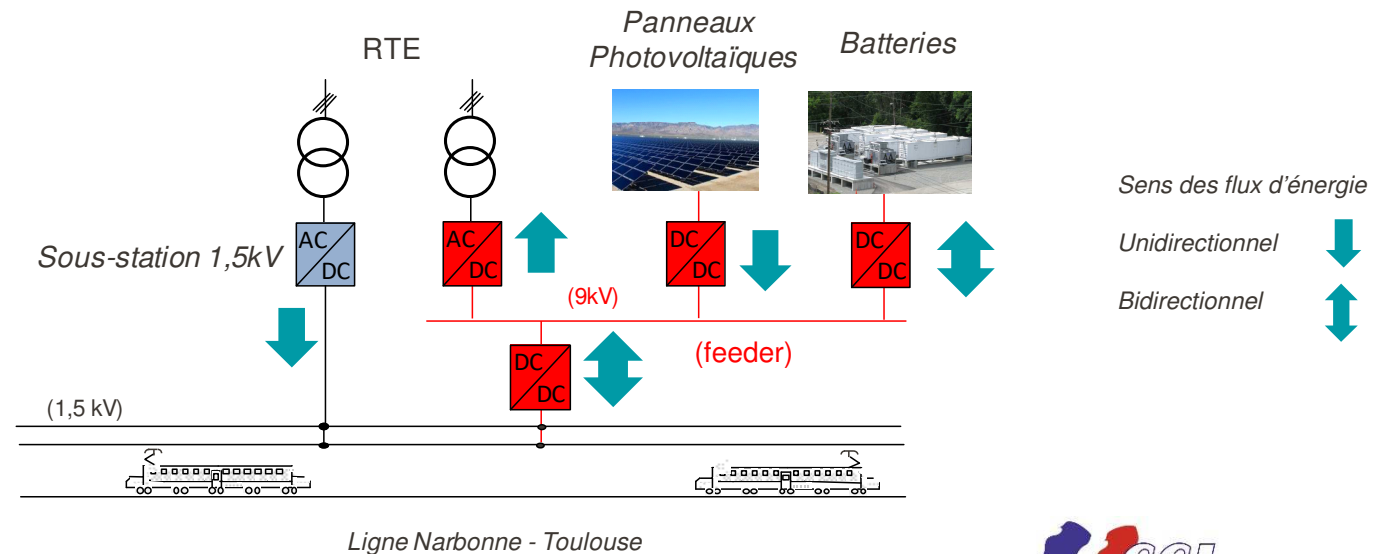


An illustration compiling the studied FACTS in a 50 Hz rail power supply system and indicating their possible location



## SNCF Réseau met à disposition le site de Lézignan-Corbières

- Mise en place d'une phase d'expérimentation à court terme comportant :
  - Un champ photovoltaïque de 6 000 m<sup>2</sup>
  - Un ensemble de batteries pour stocker l'énergie
  - Des convertisseurs électroniques de puissance permettant de contrôler les panneaux solaires et la batterie afin de fournir de l'énergie électrique à la caténaire lors du passage des trains.



# LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

# OU COMMENT SORTIR DU DIESEL

Du diesel vers:



H<sup>2</sup>



Batteries et/ou  
électrification partielle



Electrification  
complète  
frugale



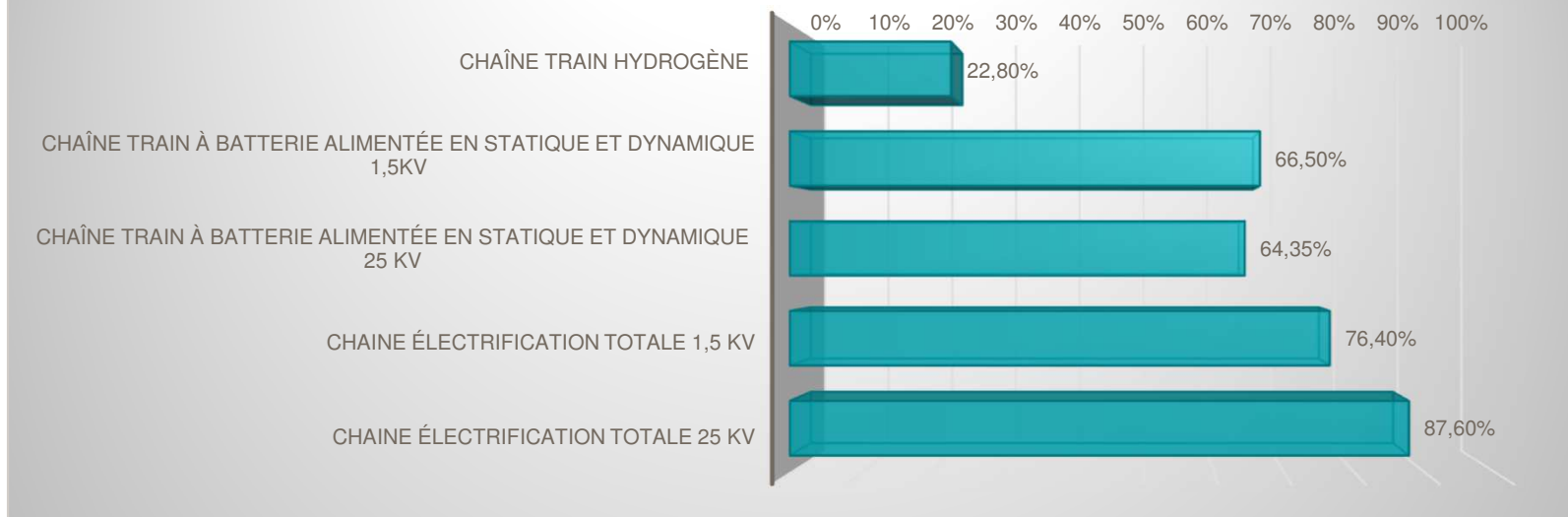
NOM DE L'ENTITÉ  
MERCREDI 16 JUN 2021



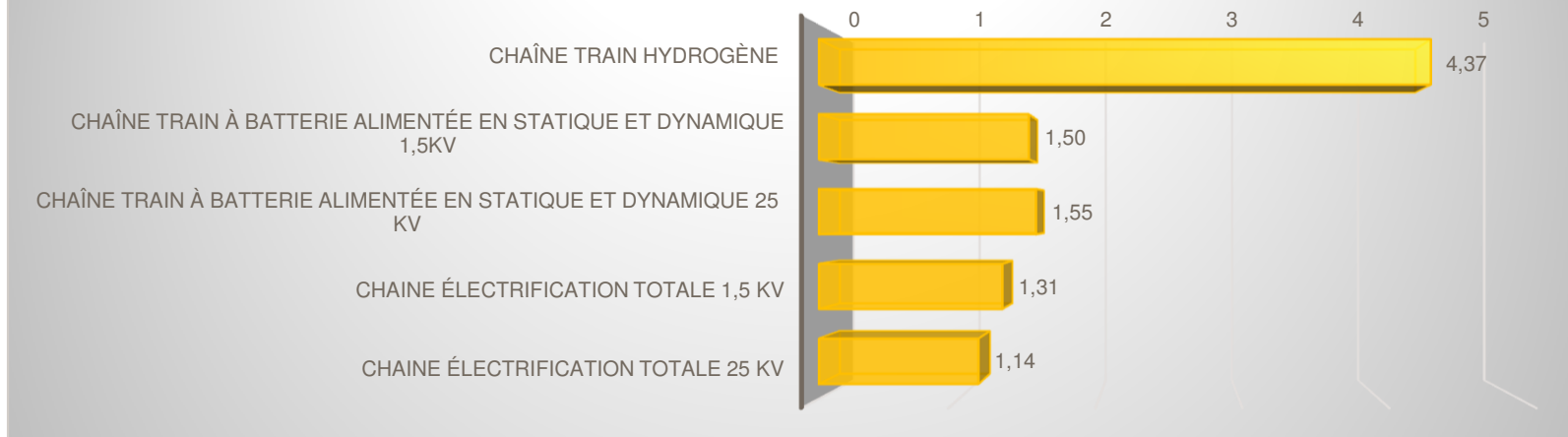
## Le panel des trains alternatifs au diesel

	TRAIN HYBRIDE	BIOCARBURANT B100	TRAIN 100% BATTERIES	TRAIN HYDROGÈNE
PARC CONCERNÉ	Régiolis PPM Bimode bicourant	AGC Régiolis	BGC	Régiolis PPM Bimode bicourant
MATURITÉ TECHNOLOGIQUE	Industrialisation : 2022 Déploiement : 2023	2020-2021	Expérimentation : 2023 Déploiement : 2023-2024	Industrialisation : 2023 Déploiement : 2025
PERFORMANCES	Autonomie > 1000 km	Autonomie > 1000 km	Autonomie 60-100 km	Autonomie 400 – 600 km
COÛT PAR RAME	~1M€ (Retrofit) *coût non engageant	Négligeable (1,5k€) *coût non engageant	~2M€ (Retrofit) *coût non engageant	13M€ (rame neuve)
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	Réduction des émissions de CO2 d'env. 70%	Gain d'au moins 60% sur les émissions de gaz à effet de serre	Train Zéro-émission *locales dues à la traction	Train Zéro-émission *locales dues à la traction

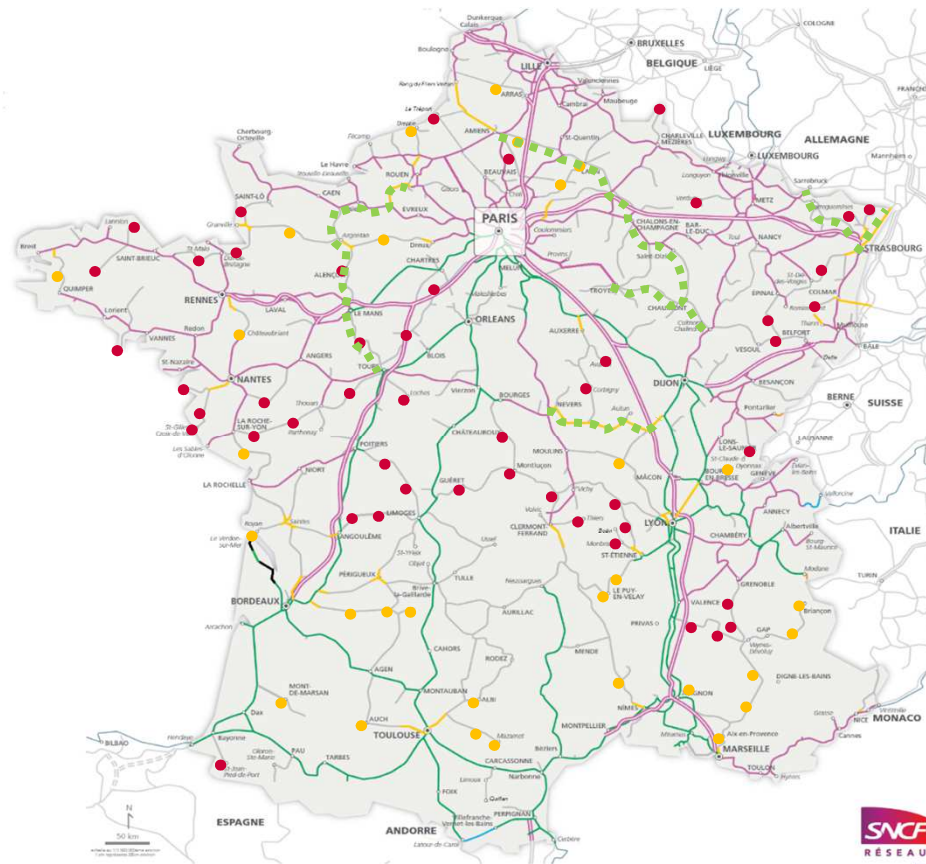
### Rendement énergétique



### Energie (en kWh) soutirée au réseau public pour 1kWh à la jante



# CIRCULATION DE TRAINS À BATTERIES LES POINTS DE RECHARGE POTENTIELS



NOM DE  
L'ENTITÉ  
– MERCREDI  
16 JUIN  
2021

DIFFUSION LIMITÉE –



# TOUR D'HORIZON EUROPÉEN DE LA SORTIE DU DIESEL



Allemagne → électrification 600 km/an



Belgique → finir les électrifications sinon train à batterie

Italie → axes Fret électrifiés,



Train à batterie si <50 km



Train H<sup>2</sup> si > 50 km si en palier

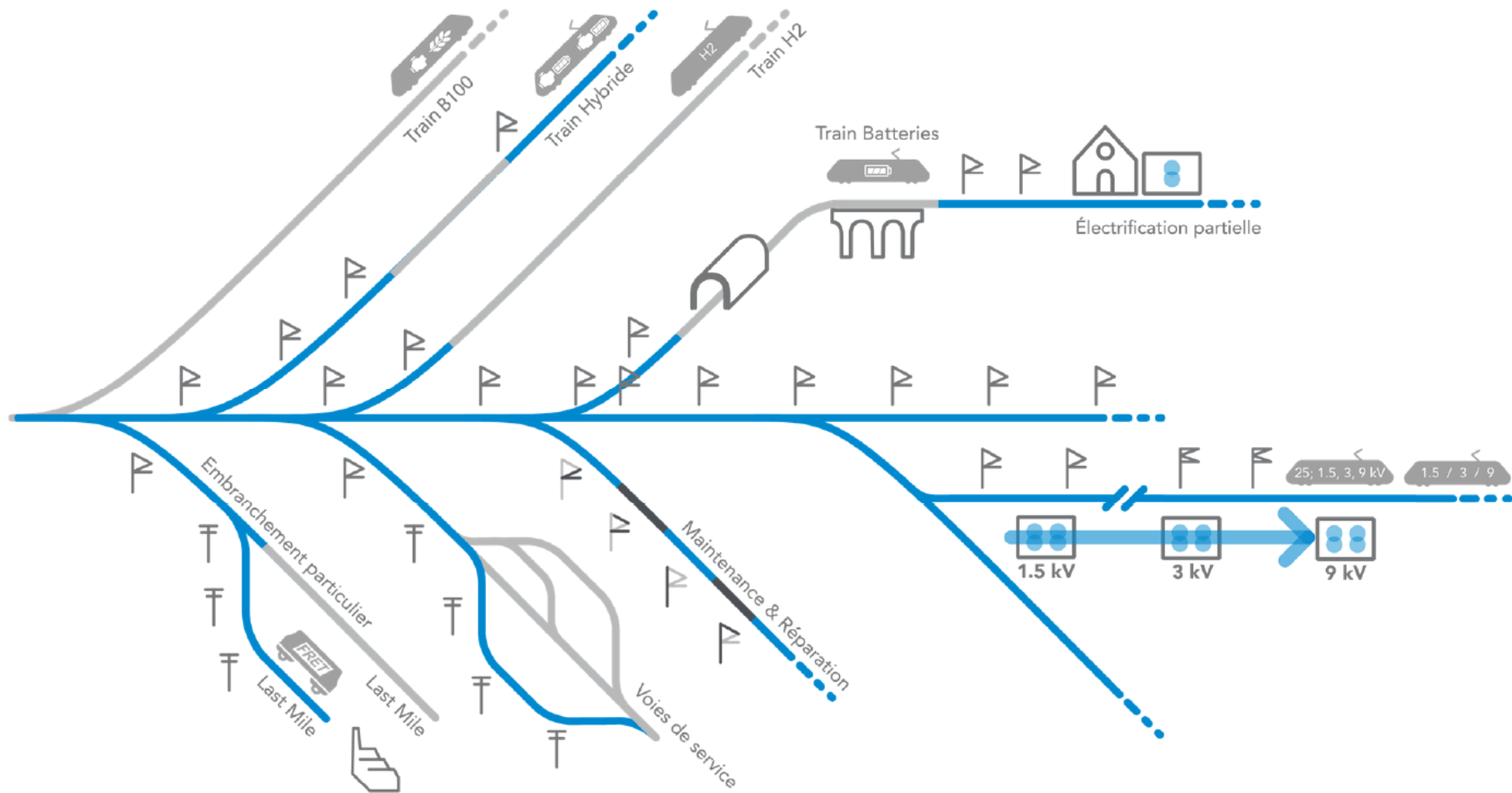
# ELECTRIFICATION FRUGALE

## LE JUSTE BESOIN

DIFFUSION LIMITÉE –

NOM DE  
L'ENTITÉ  
– MERCRED  
| 16 JUIN  
2021





LES ÉLECTRIFICATIONS: SUJET D'AVENIR

DIFFUSION LIMITÉE – MERCREDI 16 JUIN 2021

CHRISTIAN COURTOIS



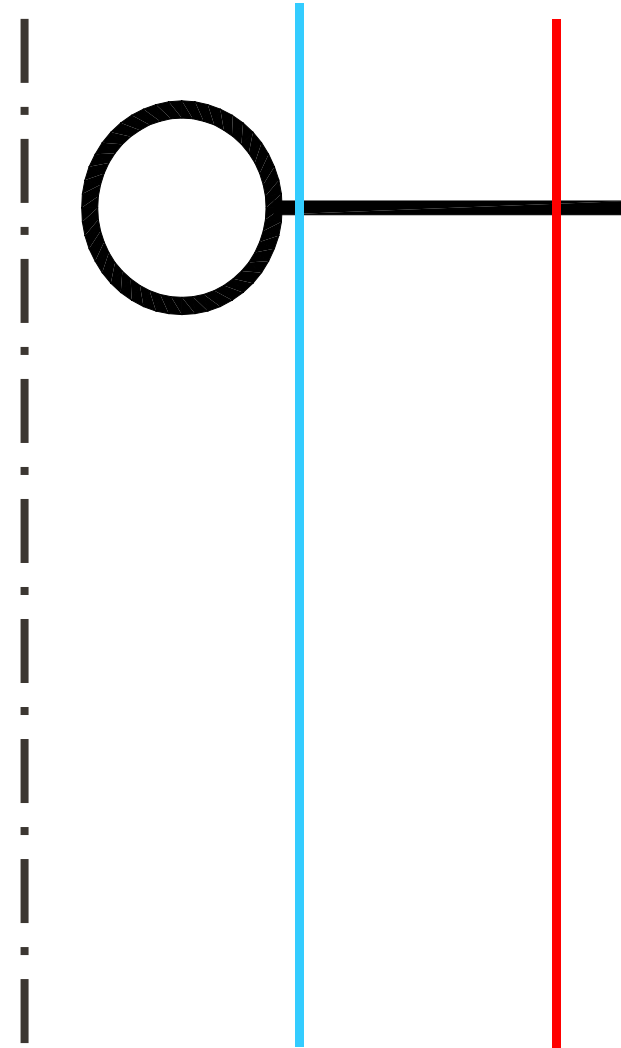
# BIM

... EXEMPLE DE MODÉLISATION, CAS D'USAGE « PIQUETAGE PRO »

1 structure porteuse

1 ligne aérienne de contact

1 ligne aérienne de type feeder  
1 ligne aérienne de type CdPA



... EXEMPLE DE MODÉLISATION, CAS D'USAGE  
« CARNET DE MONTAGE EXE »

## 1 structure porteuse

- 1 poteau
- 1 fondation
- 1 suspension de ligne aérienne de contact
  - 1 armement isolé (hauban+console)
  - 1 couche basse
- 1 suspension de ligne aérienne de type feeder
- 1 suspension de ligne aérienne de type CdPA

## 1 ligne aérienne de contact

- 1 système de câble porteur avec pendulage
  - 1 câble porteur
  - X pendules
- 1 fil de contact
- 1 ligne aérienne de type feeder
- 1 ligne aérienne de type CdPA

- Hauteur hors sol
- Descente de charge
- ...

- Hauteur de fil de contact
- Encombrement
- ...

- Efforts verticaux supportés
- Efforts radiaux encaissés
- ...

- Tension électrique
- Tension mécanique
- Section équivalente de cuivre
- ...

Quelques exemples de propriétés associées

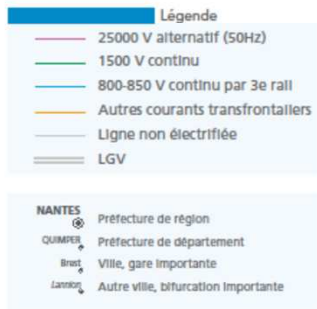
# LES PROJETS EN COURS ET FUTURS

**LIGNES ÉLECTRIFIÉES**  
SITUATION JUILLET 2017

Régénération catenaires avec suites rapides

Régénération sous stations

Electrifications frugales trains à batterie



Sources : Données Réseau RGI, avril 2017  
Document non contractuel

EOLE

SDMR

AFSB

