

Optimisation et simulation de l'exploitation ferroviaire

François Ramond
SNCF Innovation & Recherche

Journée industrielle GDR RO MACS
3 décembre 2014



SOMMAIRE

INTRODUCTION

Présentation du système ferroviaire français, RO à la SNCF

EXPLOITATION FERROVIAIRE

Plan de transport, ressources et vision système

SIMULATION

Approches et cas d'utilisation

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Thématiques à investiguer

INTRODUCTION

Présentation du système ferroviaire français,
Recherche Opérationnelle à la SNCF

Le système ferroviaire français actuel...

➤ Depuis 1997, séparation entre

➤ RFF (Gestionnaire d'infrastructure)

- Propriétaire du réseau



➤ SNCF (Entreprise Ferroviaire et GID)

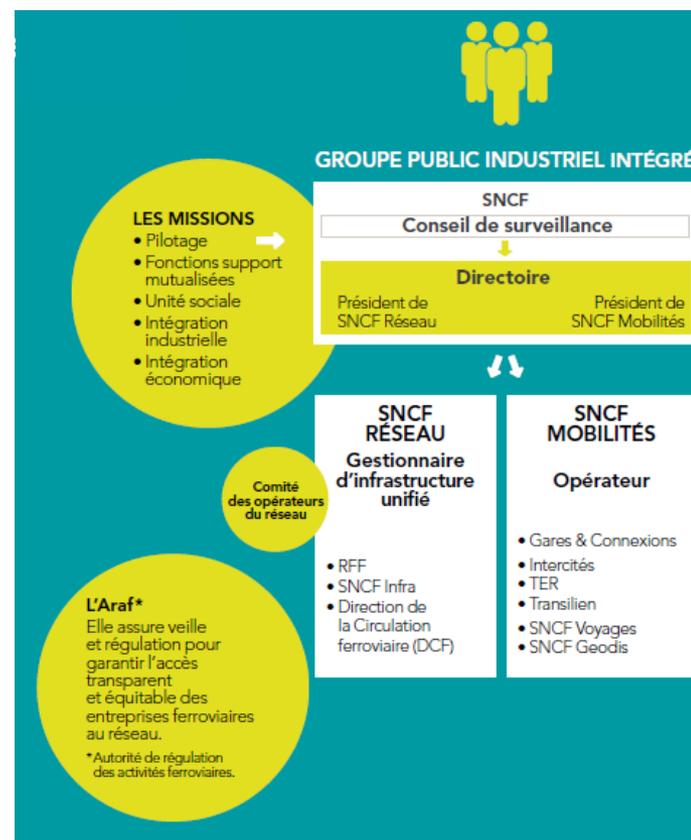
- Etablissement Public Industriel et Commercial
- + filiales = Groupe SNCF
- 5 branches

SNCF INFRA	SNCF PROXIMITÉS	SNCF VOYAGES	SNCF GEODIS	GARES & CONNEXIONS
Maintenance et travaux Dont Sferis et Euralscout Projets et ingénierie Systra Circulation ferroviaire Direction de la Circulation Ferroviaire (DCF ⁽¹⁾) <small>(1) Direction indépendante au sein de SNCF qui assure la gestion du trafic et des circulations ferroviaires en France pour le compte de RFF.</small>	TER (Service de Transport Express Régional ferroviaire et routier) Transilien (Transport ferroviaire en Ile-de-France) INTERCITÉS (Trains classiques moyenne et longue distance) Keolis (Transport public de voyageurs urbains et interurbains)	Transport ferroviaire grande vitesse -TGV -IDTGV -OUIGO -Eurostar -Thalys -TGV Lyria -DB/SNCF en coopération -NTV -Elipsos -TGV Italie -Westbahn Transport de voyageurs longue distance -IDBUS Distribution multicanale -Voyages-sncf.com	Geodis STVA Transports Ferroviaires de Marchandises (TFM) - Fret SNCF - Captrain - VFLI - VIA - Entreprises du transport combiné Gestionnaires d'actifs - Ermewa - Akiem	Gestion et développement des gares françaises Activité pluridisciplinaire en aménagement et construction - AREP - Parvis - A2C



... et à partir du 1^{er} janvier 2015

- Réforme du système ferroviaire français
 - Regroupement de SNCF et RFF au sein d'un « Groupe Public Ferroviaire »
 - 3 établissements publics
 - EPIC SNCF
 - SNCF Réseau
 - SNCF Mobilités



La Recherche Opérationnelle à la SNCF

- Des travaux en RO depuis les années 60
- Activité aujourd'hui structurée en deux équipes
 - Innovation & Recherche
 - Développement de prototypes
 - Expérimentations
 - Identification de nouveaux sujets
 - Travaux prospectifs
 - Système d'information
 - Accompagnement dès les phases amont
 - Industrialisation
 - Evolutions des applications
 - Maintien en Conditions Opérationnelles

Problématiques traitées

➤ Historiquement

- Conception de roulements de matériel roulant
- Conception de grilles horaires
- Etudes de capacité du réseau
- Simulation de circulations
 - Compétences fortes jusque dans les années 1990-2000

➤ Séparation EF / GI appliquée de manière de plus en plus stricte

- Réorientation progressive des travaux sur des sujets purement EF
 - Planification des ressources de l'EF

➤ Depuis 2 ans

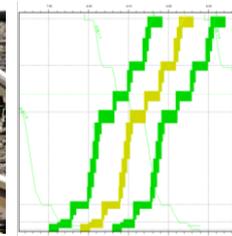
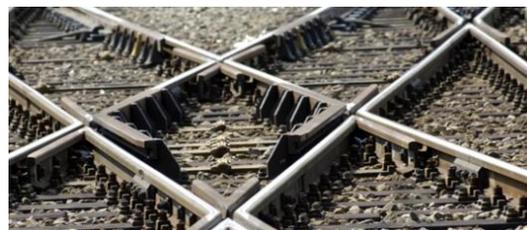
- Prise de conscience : impossibilité de traiter les sujets EF sans vision « infra »
- Retour des sujets exploitation ferroviaire incluant la gestion des circulations

EXPLOITATION FERROVIAIRE

Plan de Transport,
ressources et vision système

Exploitation ferroviaire

- Mise en œuvre des ressources nécessaires à la production d'un train
 - Sillon
 - Capacité d'infrastructure requise pour faire circuler un train donné d'un point à un autre à un moment donné
 - Matériel roulant :
 - Rame (US/UM), locomotive + voitures ou wagons
 - Agents de conduite et d'accompagnement des trains
 - Passagers : correspondances, information voyageurs
- Plan de transport : ensemble des planifications

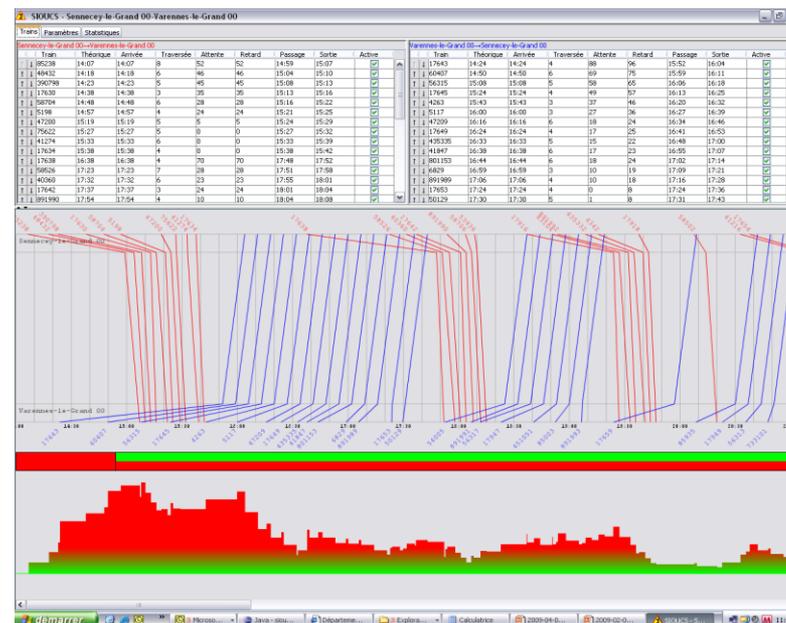


Sillons

- Ressource dépendant de la capacité du réseau et de la signalisation
- Etudes de capacité
- Conception de grilles horaires
- Impact des travaux (Interceptions, Limitations Temporaires de Vitesse)
- Utilisation des IPCS en cas d'incident

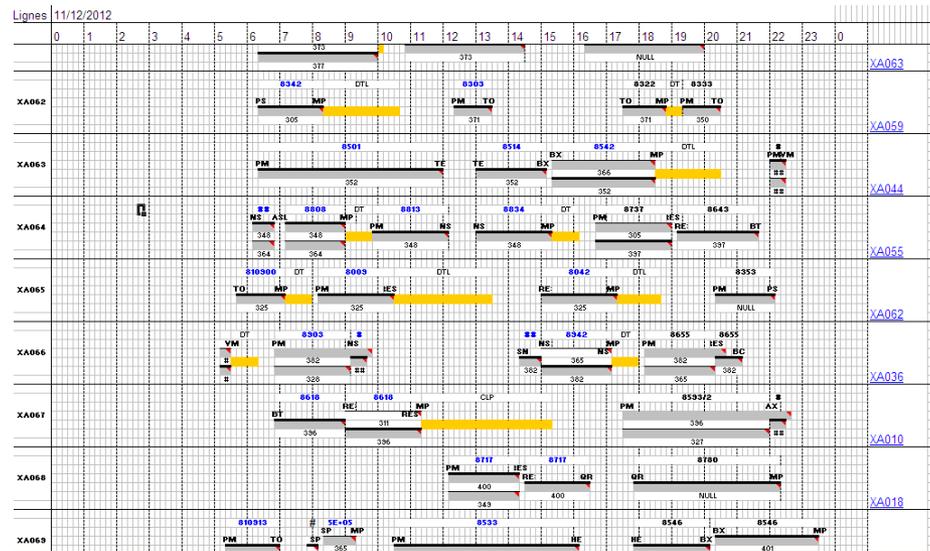


- Fluidification du trafic



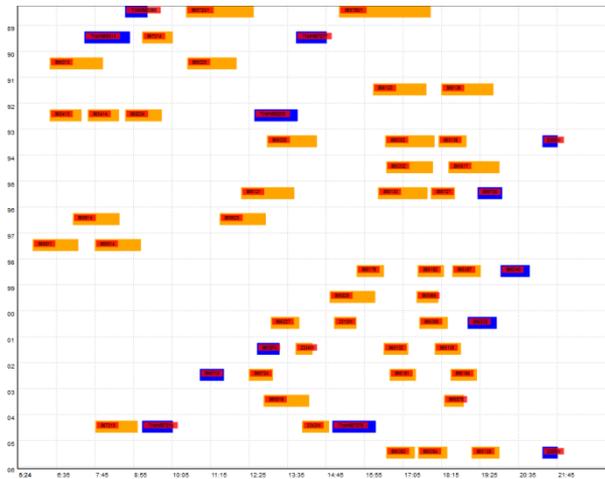
Matériel roulant

- Conception de roulements
 - Prise en compte des plages de maintenance
 - Robustesse
- Planification des manœuvres sur les sites de maintenance
- En gestion opérationnelle, affectation des rames en sortie d'ateliers



Agents

- Agents sédentaires
 - Conception de roulements cycliques
- Roulants
 - Conception de Journées de Service
 - Conception de roulements



ACRAS 1.1 - aménagement de roulement

Roulement proposé

Avertissement IMPORTANT : validation indispensable par un expert RH avant mise en oeuvre des roulements proposés.

Connexion

Accueil

Guide d'utilisation

Comment ça marche ?

Contact

Le roulement numéro 677 a été généré

Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
R	R	o	o	o	R	R	-	-	-	-	-	R	R
x	x	x	x	R	R	o	o	o	o	o	R	R	o
o	o	R	R	R	-	-	-	R	R	R	x	x	x
o	o	R	R	R	-	-	-	R	R	R	x	x	x

Appels à la Reserve

Légende

o Matinée de 6h à 14h	o Soirée de 14h à 22h	x Nuit de 22h à 6h (?)	R repos
-----------------------	-----------------------	------------------------	---------

[Afficher les statistiques](#)

[Export Excel](#)

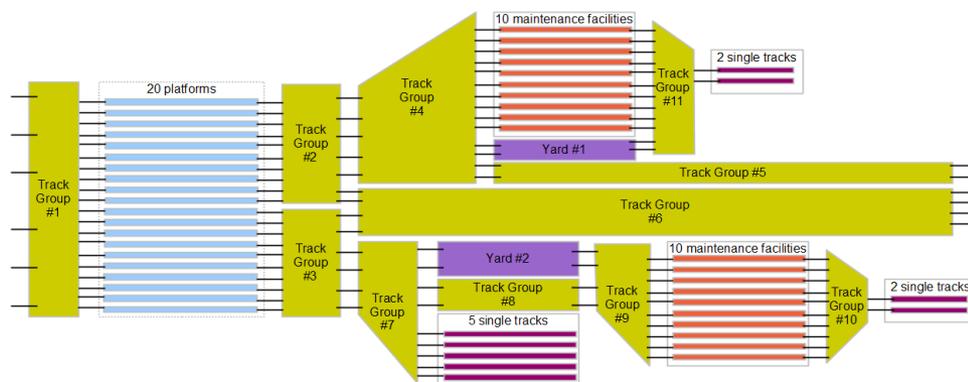
Passagers

- Conception des dessertes / emport client
- Prise en compte des correspondances
- Comportement des clients face à une offre multimodale
 - En amont du voyage
 - En temps réel
- Optimisation de l'information voyageurs
- Impact de l'affluence sur les temps de stationnement à quai



Problématiques aux interfaces

- Occupation des voies en gares
- Remisage des rames sur les grands sites ferroviaires



Vision système

- Couplages très forts entre ces différentes ressources
 - En cas d'aléa, le retard d'un train impacte :
 - Le train suivant sur le réseau
 - Le roulement matériel
 - Le roulement agents
 - Les trains en correspondance
 - Effets de propagation importants, surtout en zone dense
- Relation entre décisions prises et indicateurs associés : difficile à formuler
 - Ex : pour un scénario d'aléas donné, taux de ponctualité = f (plan de transport)
 - $f = ?$

Pour évaluer l'ensemble du plan de transport, on a recours à la simulation

SIMULATION

Approches et cas d'utilisation

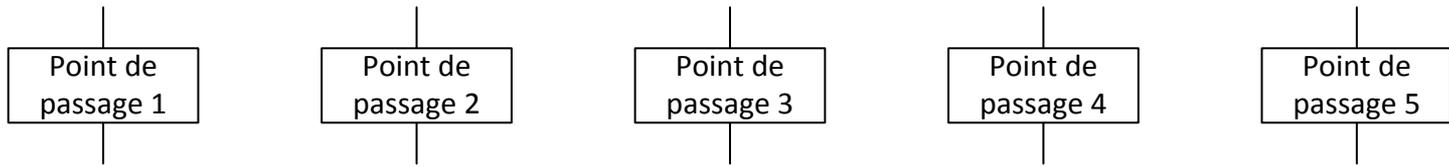
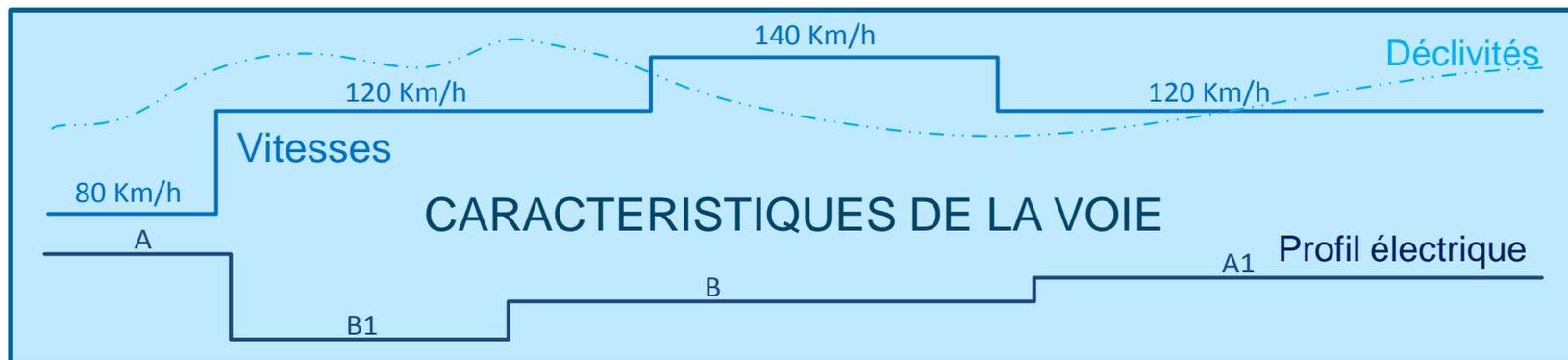
Intérêt de la simulation

- Evaluer le comportement du système sans avoir à passer par des tests « grandeur nature »
- Tester facilement des hypothèses
 - Modifications d'infrastructures
 - Débit d'une ligne en fonction du type de signalisation
 - Dégradation du service induit par une voie indisponible pendant une période donnée
 - Modifications de plan de transport
 - Modification de desserte ?
 - Influence des temps de stationnement, du comportement des mécaniciens...
- Aider à la prise de décision en amont
 - Dimensionnement
 - Planification
 - Politiques de gestion opérationnelle

Approches

- Plusieurs simulateurs ferroviaires sur le marché et en interne SNCF
 - Essentiellement basés sur de la simulation à événements discrets
 - Evolution du système non continue
 - Événements introduisant des ruptures
 - Passage d'un état à un autre
 - Recalcul de l'état du système lors de ces événements
 - Algorithme classique
 - File d'attente d'événements datés, triés chronologiquement
 - Tant que la simulation n'est pas terminée
 - Traiter le *premier* événement de la file (i.e. celui qui intervient le plus tôt)
 - Mettre à jour l'état du système
 - Générer les prochains événement
 - Mettre à jour ceux déjà existant
 - Re-trier la liste
 - Fin tant que
- Niveau de détails variable selon les besoins : microscopique / macroscopique

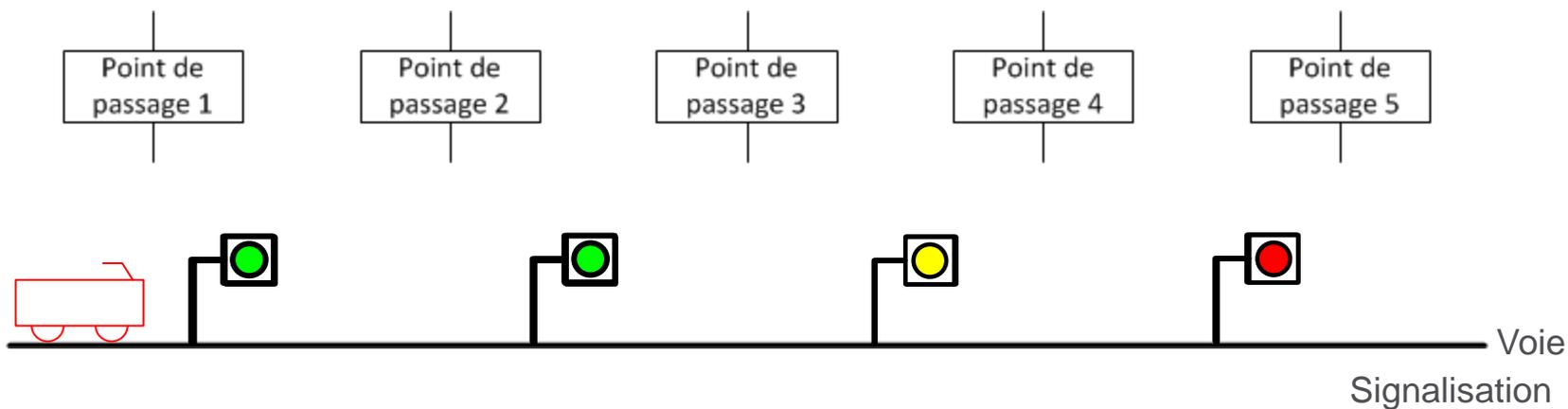
Simulation microscopique



Voie

Caractéristique physique Longueur, tonnage, a, b, c...	Accélération Courbes Effort / Vitesse	Freinage Courbes Décélération / Vitesse
Composition = Engins moteur + Matériel remorqué		

Simulation microscopique



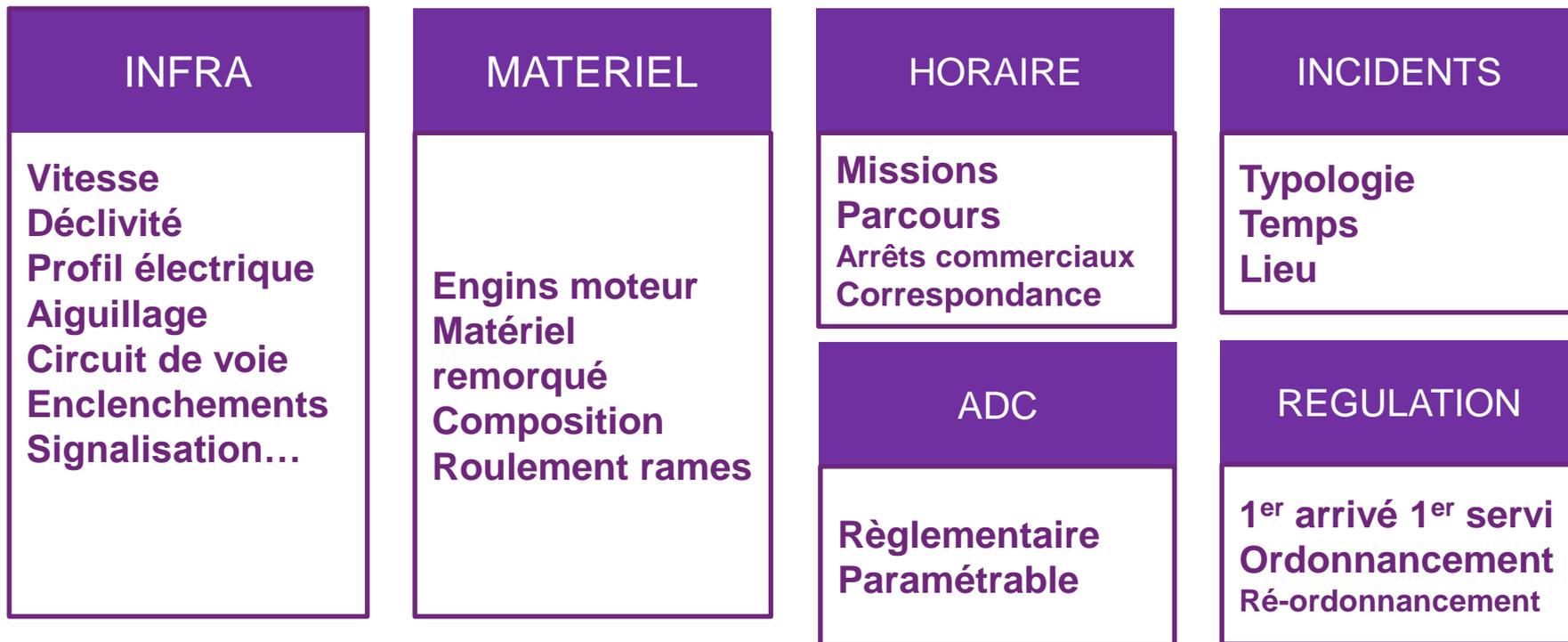
**CARACTERISTIQUES
DE LA VOIE**

COMPOSITION



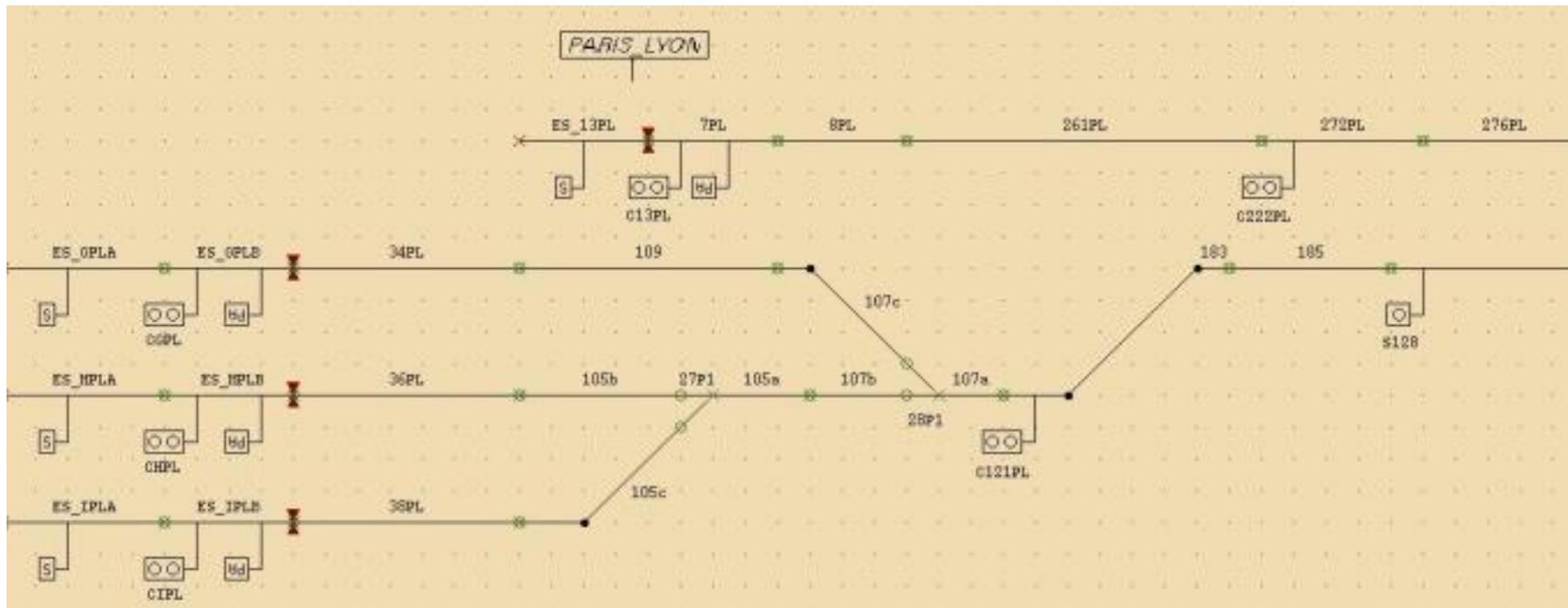
SIGNALISATION

Simulation microscopique



Un grand nombre de données à fournir

Simulation microscopique



Une infrastructure très détaillée (circuits de voie, aiguillages, signaux....)

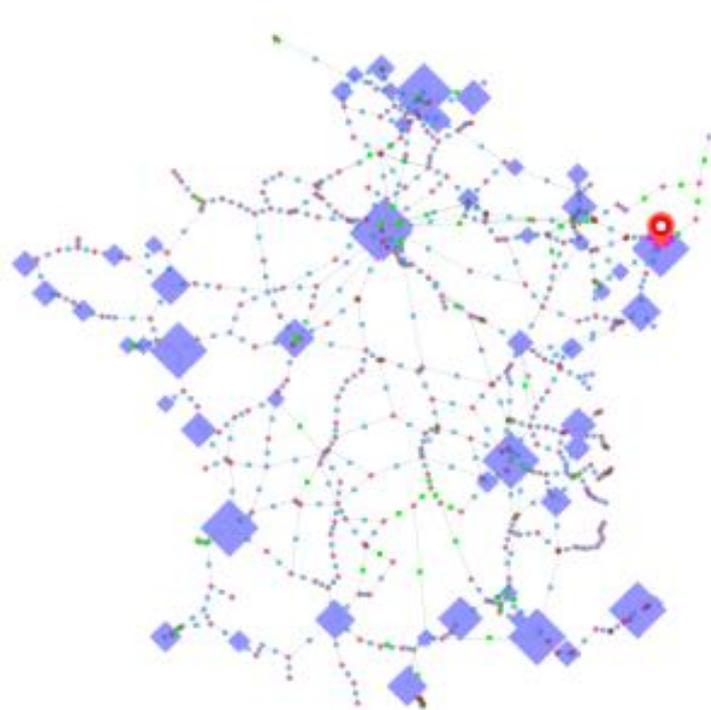
Simulation microscopique

➤ Cas d'usage

- Périmètre géographique et temporel restreint
- Calcul de temps de parcours effectifs
- Etudes de capacité
- Orienté sillons / gestion des circulations
- Temps de calcul : de quelques dizaines de secondes à quelques minutes

Simulation macroscopique

- Une infrastructure décrite de manière plus agrégée
 - Nœuds
 - Tronçons
- Comportements approximatés
 - Temps de parcours sur les tronçons
 - Espacements entre les trains
 - Capacités de remisage dans les nœuds
- Prise en compte des roulements matériel, agents et passagers



Simulation macroscopique

➤ Cas d'usage

- Périmètres étendus
- Etudes de robustesse de nouveaux modes d'exploitation du matériel
 - Tests de nouveaux roulements
- Aide à la négociation de plages travaux
- Anticipation des aléas prévisibles en pré-opérationnel : impact sur les ressources matériel et agents
 - Limitation Temporaire de Vitesse ou tronçon coupé
 - Incident sur un train
 - Test d'hypothèses (détournement, changement de desserte / composition, limitation...)
- Prise en compte en opérationnel du report des voyageurs en situation perturbée
- Optimisation de l'ordonnancement des trains en cas de perturbations
 - Moteur de simulation utilisé comme fonction d'évaluation de la fonction objectif
- Temps de calcul : de quelques 1/10^{ème} de secondes à quelques secondes

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Thématiques à investiguer

Conclusion

- L'exploitation ferroviaire
 - Des ressources de nature hétérogène très couplées les unes aux autres
 - Beaucoup de « contraintes dures »
 - Des volumétries importantes
 - Un large éventail de problèmes de décision
- Un recours à la simulation pour la vision système
 - Différentes approches envisageables en fonction des contextes

Perspectives

- Poursuivre les travaux de validation des résultats, notamment en zone dense
- Coupler optimisation et simulation de manière plus systématique
- Prise en compte accrue des clients
 - Meilleure connaissance de la mobilité de nos clients
 - Conception de plans de transport optimisés par rapport à la demande client
- Investir l'aide à la décision en gestion opérationnelle
 - Projection d'une situation courante
 - Evaluation permanente de la stabilité du système (risques de divergence)
 - Info voyageurs : évaluation de l'impact sur l'affluence

Merci de votre attention !

