en première ligne pour faire avancer le train

7ème journée "Optimisation des réseaux"

Vendredi 28 janvier 2011

DEMIURGE

Etudes de capacité et d'investissement

Conception d'horaires

SNCF – Direction de l'Ingénierie : Thierry LEPATRE, Bertrand HOUZEL
EURODECISION : Gérald PETITJEAN

EURODECISION
OPERATIONAL RESEARCH

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE

PLAN

1. Objectifs de DEMIURGE
2. Modélisation
   - Infrastructure
   - Circulations
3. Principes du moteur d'optimisation
4. Résultats
5. Expertise d'une grille résultat
6. Etudes de cas
   - Etudes de capacité : investissements en infrastructure
   - Etudes de robustesse : investissements en infrastructure et politique commerciale
   - Conception de grilles horaires cadencées

Les objectifs de DEMIURGE

- **Un outil d'aide à**
  - *la réalisation d'études de capacité :*
    - Évaluation de la capacité d'un réseau à absorber de nouveaux trafics
    - Orientation dans les choix d'investissements d'infrastructure
    - Détermination de la capacité résiduelle d'une grille
  - *la conception de plans de transport :*
    - Optimisation des grilles horaires actuelles et futures
    - Élaboration de grilles à partir des demandes commerciales (horaires, fréquences, cadencements, correspondances) selon un scénario d'infrastructure
  - *l'évaluation de la robustesse des grilles étudiées :*
    - Compactage de grille et calcul du taux d'occupation
    - Estimation de la capacité de rétablissement d'une grille suite à un incident (robustesse)

Principes et particularités de DEMIURGE

- DEMIURGE est un outil d'aide à la décision qui repose sur des techniques issues de la recherche opérationnelle :
  - Optimisation (sous contraintes, combinatoire)
  - Programmation Linéaire en Nombres Entiers
  - Branch & Bound

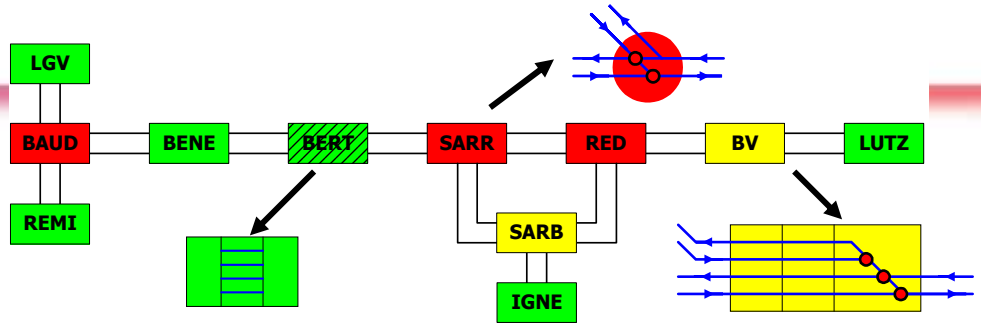
- DEMIURGE n'est pas un simulateur
  - Dans DEMIURGE, l'utilisateur doit modéliser son problème
    - Les simulateurs reproduisent la réalité à l'identique (plans de voie, implantation de la signalisation, appareils de voie, caractéristiques des matériels, …) et de manière « micro »
    - DEMIURGE repose sur une modélisation mathématique « macro » de l'infrastructure et des circulations
  - DEMIURGE calcule une solution « optimale »
    - Les simulateurs « déroulent » un plan de transport en respectant la chronologie des événements : progression temporelle des circulations sur le réseau
    - DEMIURGE calcule de manière « globale » une solution « optimale » : les meilleurs horaires et ordonnancements de circulations sont construits en fonction de différents critères choisis par l'utilisateur

Principes de modélisation

Description de l'infrastructure

contraintes d'exploitation :

- temps d'espacement
- temps de séparation entre itinéraires incompatibles
- temps de réoccupation des voies en gare
- blancs-travaux



Trains de base

Trains de la demande

Trains de saturation

Chaque train a un parcours fixé

Description des trains

contraintes commerciales

- horaires d'arrivée et de départ des trains dans les nœuds [min, max]
- durées des stationnement [min, max]
- temps de parcours [min, max]
- temps de parcours maximal global
- correspondances [min, max]
- cadencement

Résolution du problème d'optimisation sous contraintes

DEMIURGE calcule les horaires des trains dans les nœuds

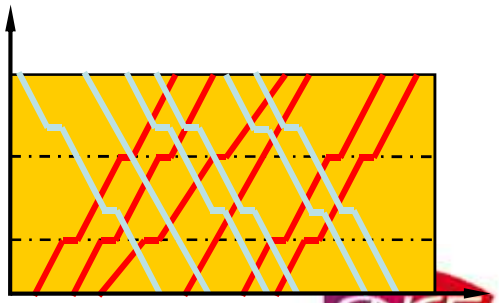
critères d'optimisation

- maximiser le nombre de trains de la demande et de saturation insérés
- minimiser les temps de parcours, de stationnement et de correspondance
- minimiser les modifications des horaires des trains de base (si autorisées)
- minimiser les violations des contraintes d'exploitation (si autorisées)

Les résultats

Grille horaire

- modifications des horaires de base
- violations des contraintes d'exploitation



Les paramètres

- amplitude de modification des horaires des trains de base autorisée
- amplitude de violation des contraintes d'exploitation autorisée
- nombre minimal de trains de la demande (resp. de saturation) à insérer
- temps de calcul
- méthode de résolution

EURODECISION OPERATIONAL RESEARCH

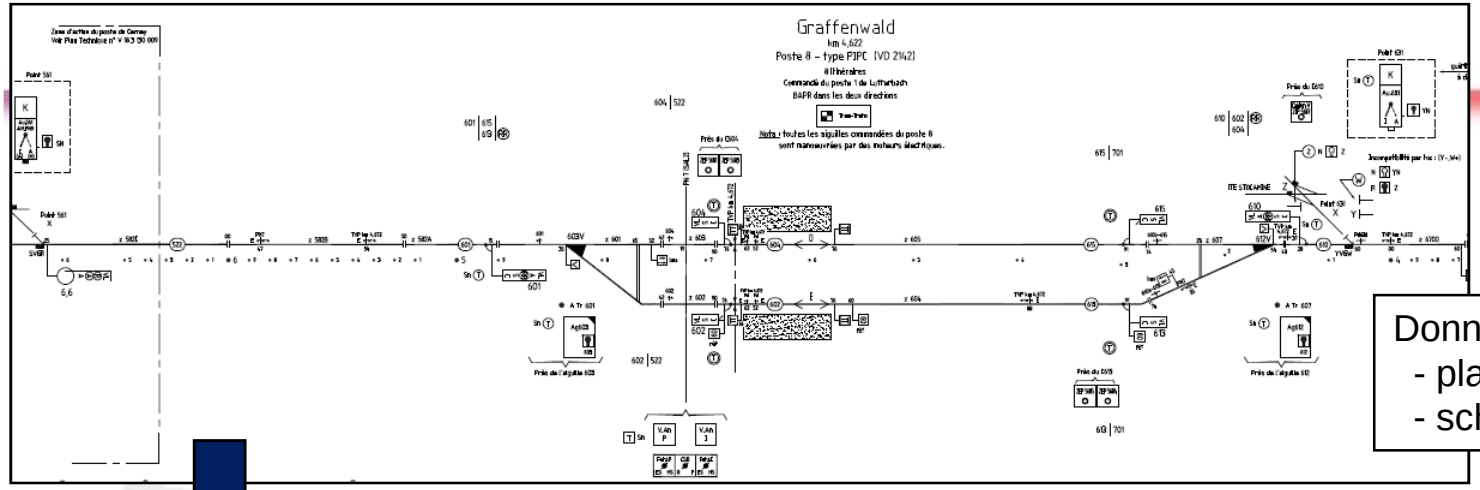
DIRECTION DE L'INGÉNIERIE SNCF

Modélisation de l'infrastructure

- L'infrastructure est modélisée sous forme de graphe :
  - Nœuds (gares et bifurcations)
  - Tronçons reliant les nœuds
- Chaque nœud et tronçon possède des voies et des itinéraires paramétrables selon le degré de finesse d'étude souhaité
- Contraintes d'exploitation définies pour une voie (ou pour une incompatibilité entre itinéraires) et par catégorie de train

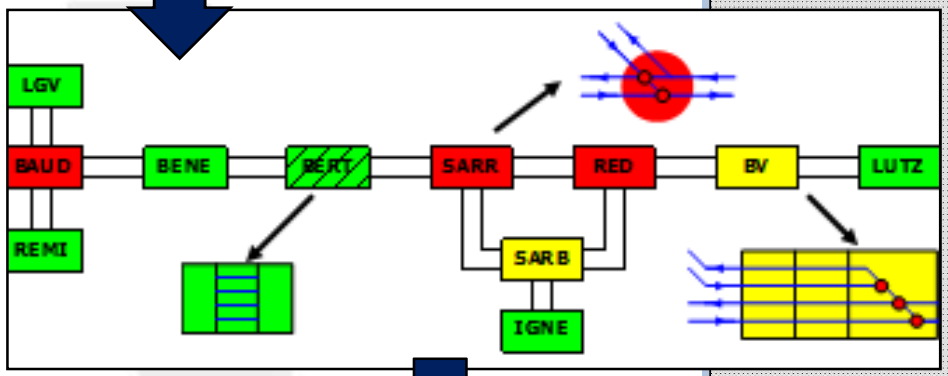
- Infrastructure paramétrable pour différents modes de signalisation et d'exploitation :
  - BAL
  - BAPR
  - TVM
  - VU
  - Voies Banalisées, IPCS
  - Gestion des interceptions correspondant aux périodes de travaux d'infrastructure

Modélisation de l'infrastructure

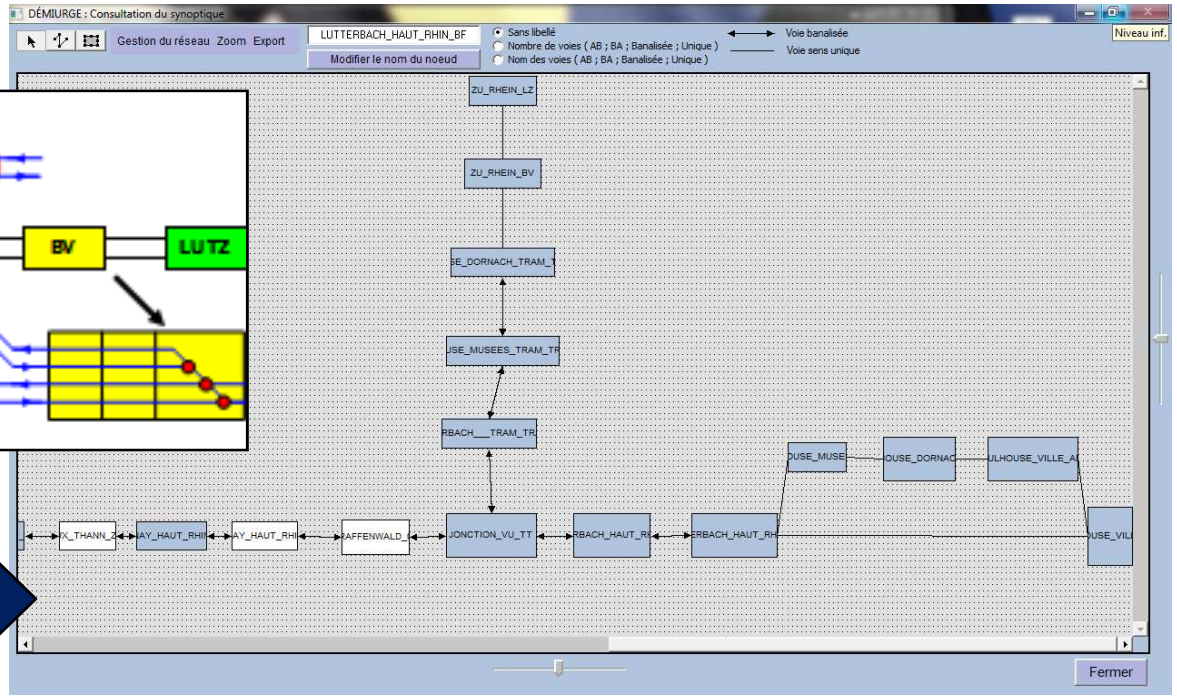


Données d'entrée :
- plans de voies
- schémas de signalisation

Modélisation macro
Contraintes d'exploitation

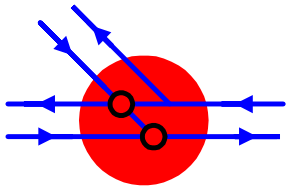


Modélisation
DEMIURGE

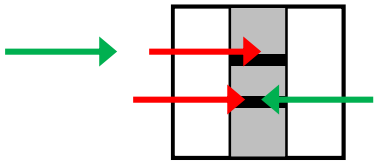


Les nœuds

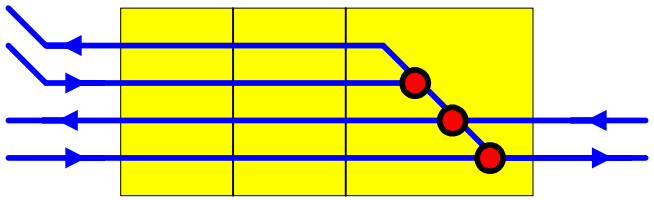
- Type des Nœuds et contraintes d'exploitation associées :
  - **LIBRE** : aucune contrainte
  - **COMPLEXE_BIF** : prise en compte des contraintes de séparation entre itinéraires incompatibles (cisaillement)



  - **SIMPLE_GARE** : prise en compte des contraintes de réoccupation des voies



  - **COMPLEXE_GARE** : prise en compte des contraintes de réoccupation et de séparation



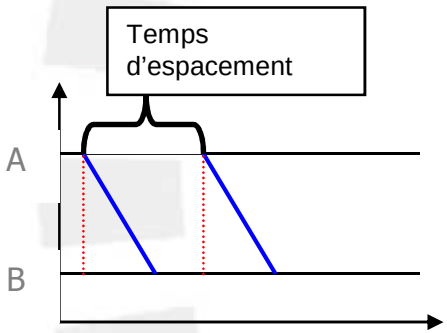
EURODECISION OPERATIONAL RESEARCH

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE SNCF

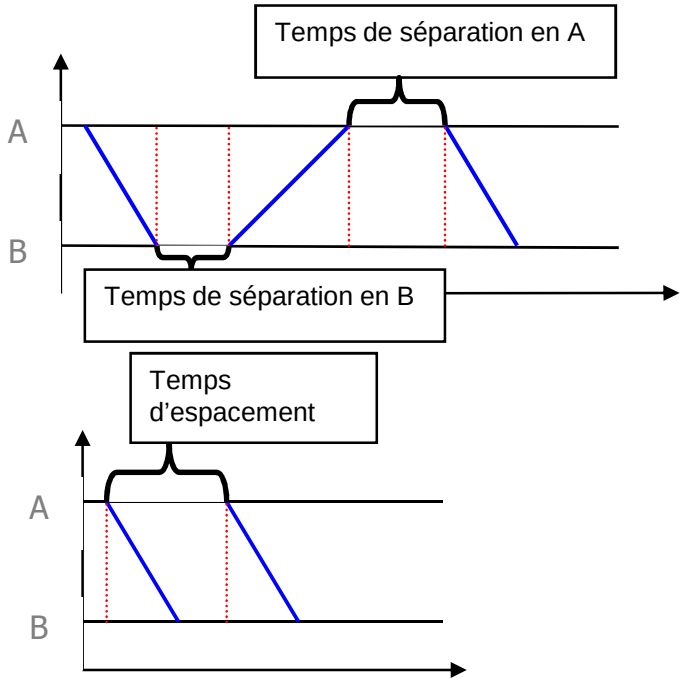
Les tronçons

- Tronçons :

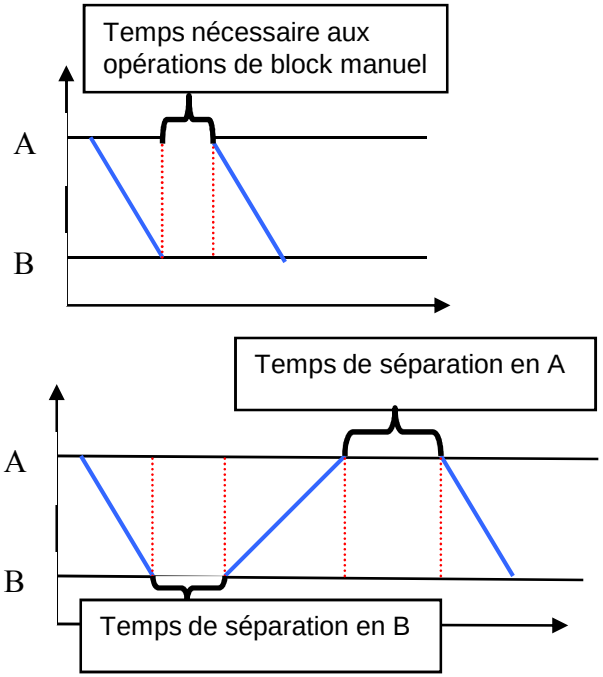
Voie A→B



Voie A↔B



Voie Unique

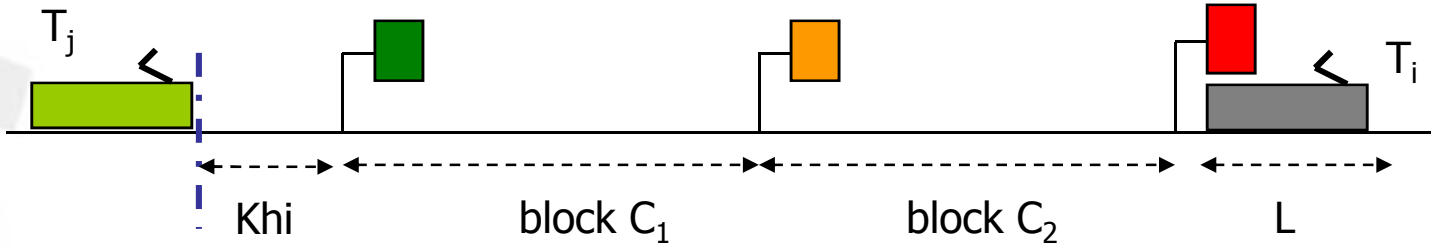


EURODECISION OPERATIONAL RESEARCH

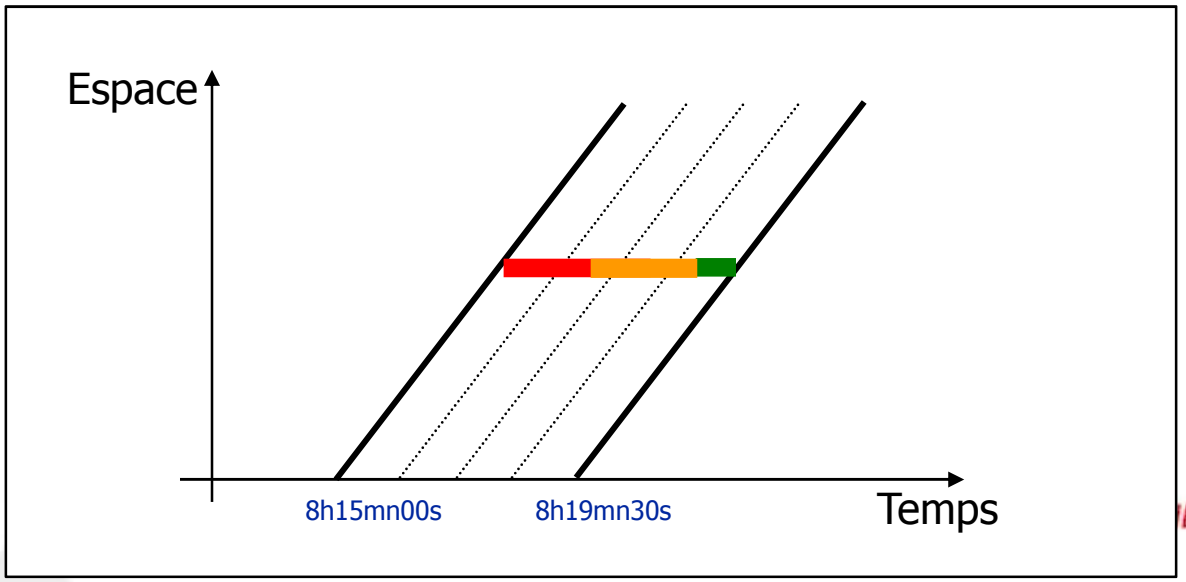
DIRECTION DE L'INGÉNIERIE SNCF

Les tronçons
Calcul du temps d'espacement

- Calcul du temps d'espacement entre 2 trains, à partir du schéma de signalisation (en BAL)



$$TpsEspacement(t_i,t_j) = (L+(C_1+C_2))/V_i+Khi$$



Modélisation des circulations

- 3 types de trains
  - BASE : trains du service actuel ou devant impérativement être insérés
  - DEMANDE : trains commerciaux à insérer
  - SATURATION : trains servant à évaluer la capacité résiduelle

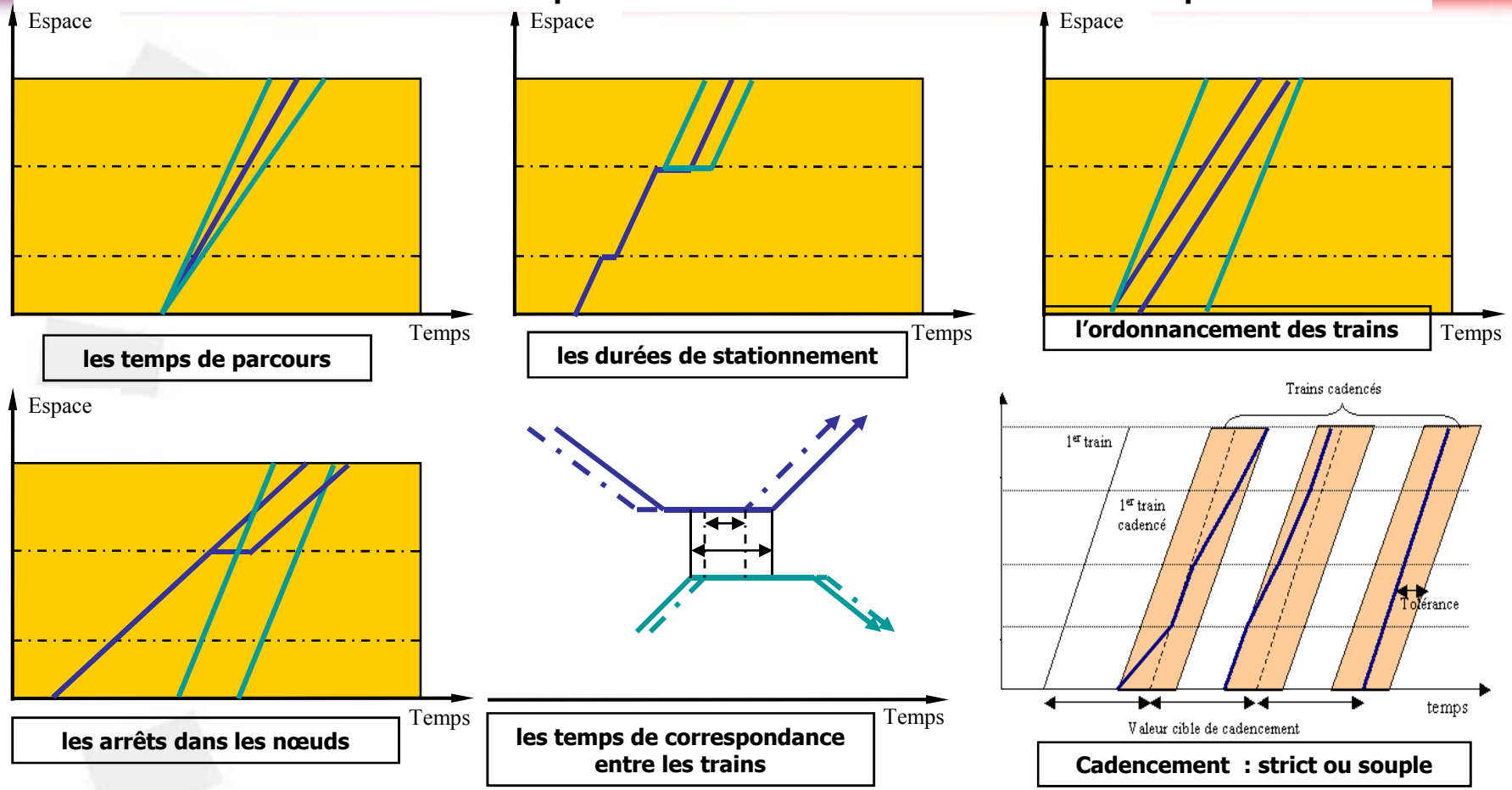
- Chaque train est défini par :
  - un identifiant unique
  - une catégorie (TGV, RE, TER, MA100, ME120, …)

- Pour chaque train, une description fine de :
  - Son jalonnement (nœuds parcourus, voies empruntées dans les nœuds et les tronçons)
  - Ses libertés et/ou contraintes en termes de temps de parcours min/max, d'horaires d'arrivée et de départ min/max, de temps de stationnement min/max
  - Sa politique commerciale (intervalle commercial, cadencement, correspondances, réutilisation, …)
  - Son temps de parcours global max

  - Fonctionnalité de routage : l'utilisateur peut donner définir plusieurs voies de passage possibles (dans les nœuds ou dans les tronçons)

Les leviers d'action « circulations »

Les horaires d'arrivée et de départ des trains en chacun des nœuds de leurs parcours



- **Routage des trains**
  - ✓ Choix des voies à quai (stationnement ou circulation) dans les gares
  - ✓ Choix des voies de circulation sur les tronçons

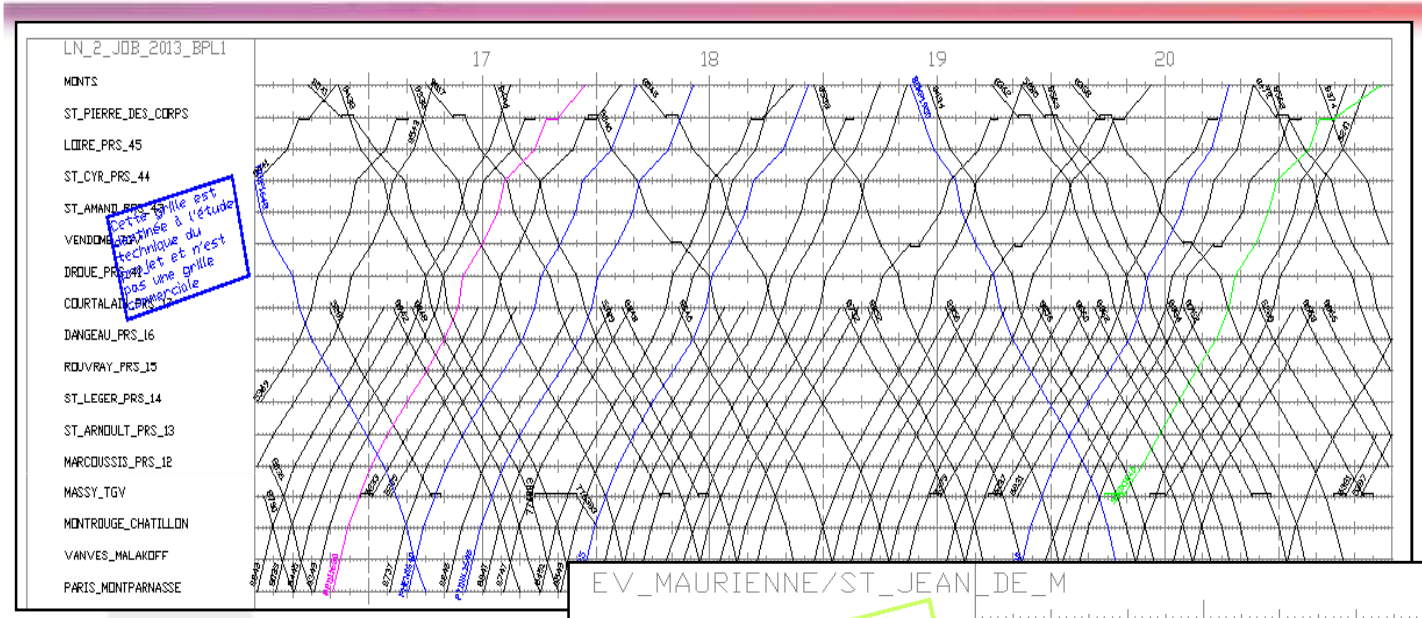
Le moteur de calcul

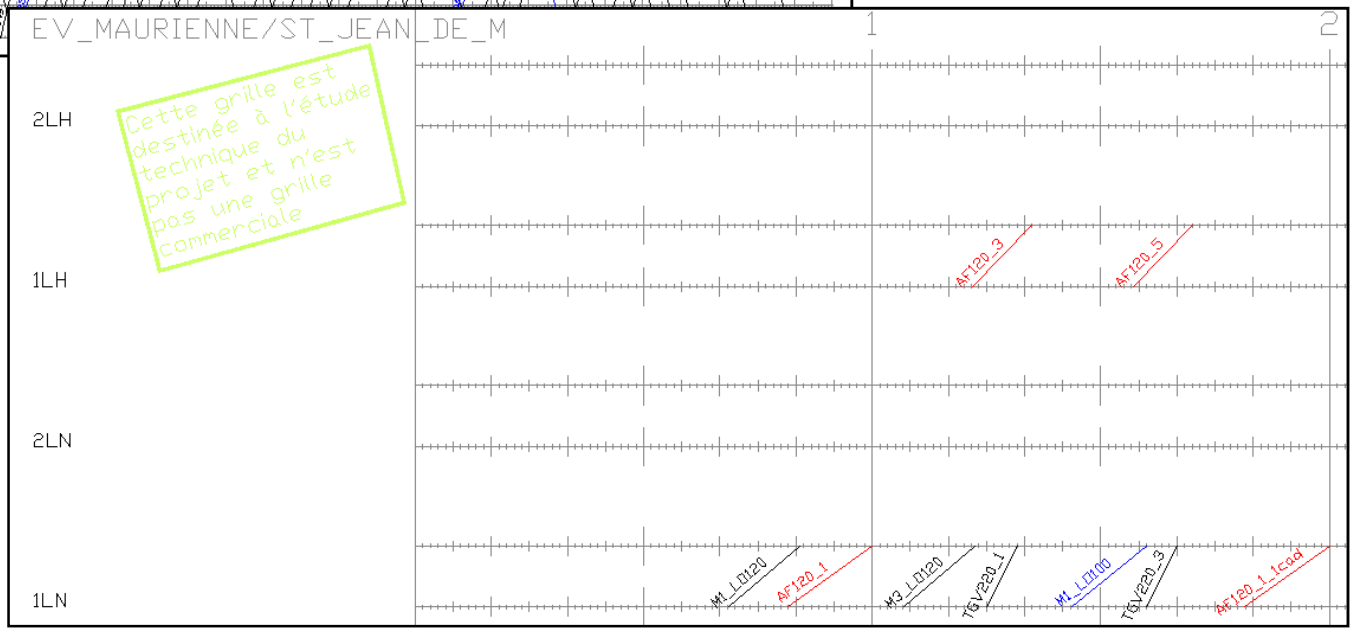
- Principes du calcul :
  - ***Programmation Linéaire*** en Nombres Entiers / ***Branch & Bound***

  - **Maximiser** :
    - le nombre de trains de ***demande*** insérés
    - le nombre de trains de ***saturation*** insérés
  - **Minimiser** :
    - les temps de ***parcours***
    - les ***horaires*** d 'arrivée et de départ
    - les temps de ***stationnement***
    - les temps de ***correspondance*** entre trains
    - les ***violations*** éventuelles des contraintes
    - les ***modifications*** éventuelles des horaires des trains de base fixés

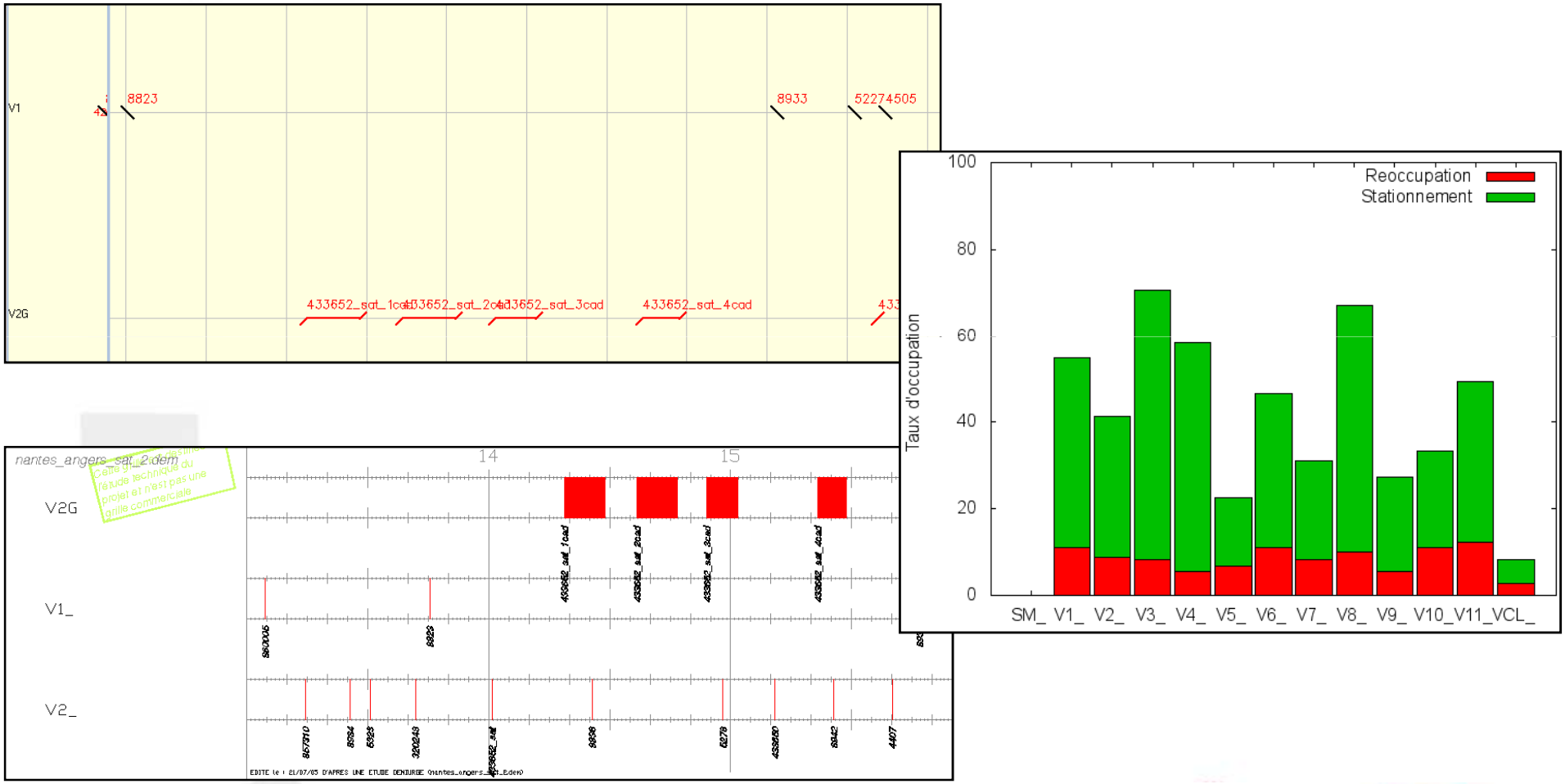
  - Détermination automatique des itinéraires d'un train dans le cas où plusieurs voies peuvent être empruntées à l'intérieur d'un nœud ou d'un tronçon.

GET : Graphique Espace-Temps
GOT : Graphique d'Occupation des voies d'un Tronçon





GOV : Graphique d'Occupation des Voies d'un nœud
Graphique du taux d'occupation des voies d'un nœud



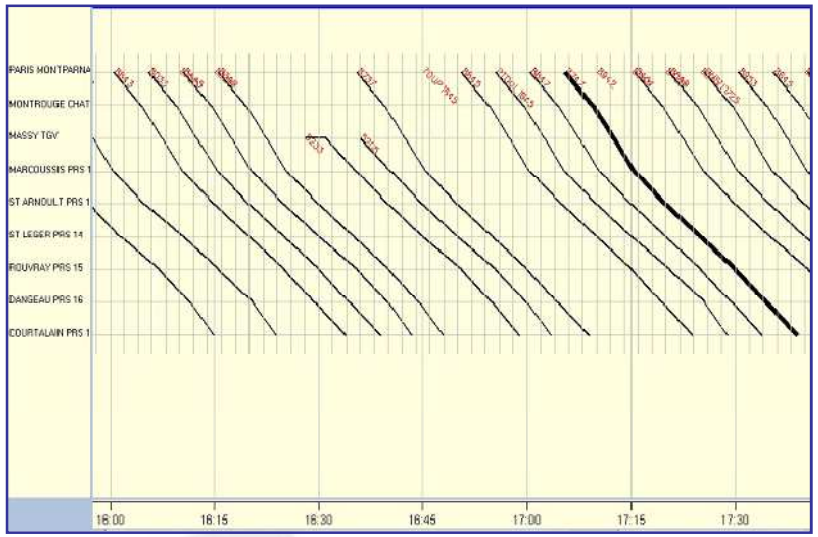
EURODECISION
OPERATIONAL RESEARCH

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE

Expertise de la grille résultat : compactage

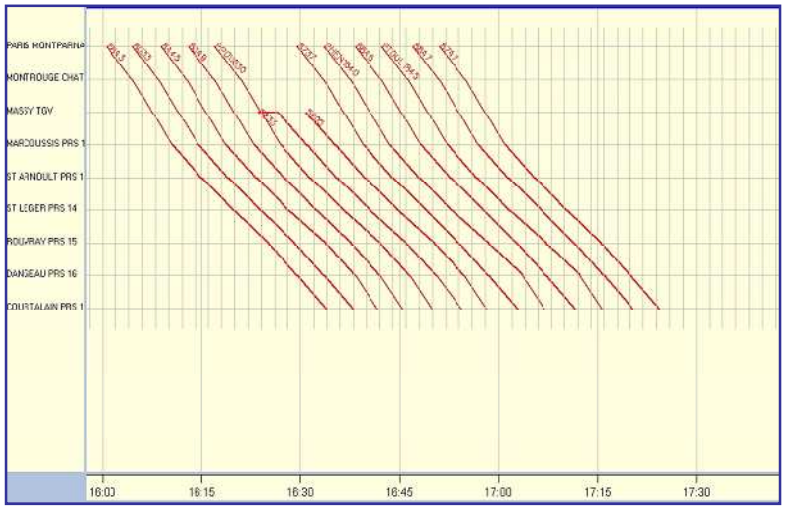
- Compactage du graphique et calcul du taux d'occupation :
  - Définition d'une manchette de compactage
  - Calcul de la marge en chaque nœud ou tronçon par rapport au train qui le précède

Grille origine



Compactage →

Grille compactée

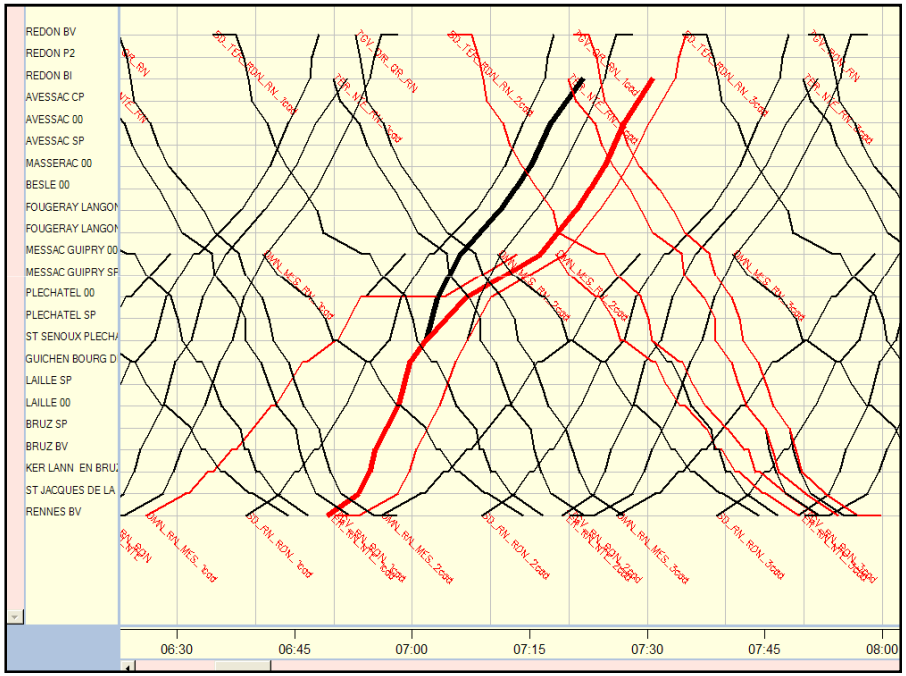


$$taux_d_occupation = \frac{durée_plage_horaire_de_compactage - somme_des_marges}{durée_plage_horaire_de_compactage}$$

Expertise de la grille résultat : robustesse

- Estimation des conséquences d'un petit incident
  - Détection des conflits et des trains impactés
  - Replanification des circulations ⇒ Estimation du délai de retour à normale

- Types d'incidents :
  - Sur-stationnement en gare
  - Allongement de temps de parcours sur un tronçon

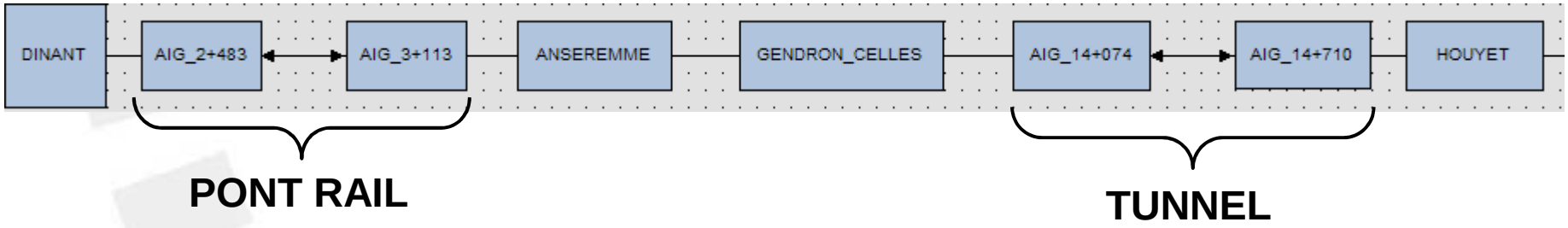


EURODECISION OPERATIONAL RESEARCH

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE SNCF

Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de capacité (saturation)

- Etude de capacité (saturation), avec différents scénarios d'investissement en infrastructure sur un tunnel et un pont (actuellement en Voie Unique)
  - Scénario 1 : situation actuelle
  - Scénario 2 : mise en double voie du pont
  - Scénario 3 : mise en double voie du tunnel
  - Scénario 4 : mise en double voie du pont et amélioration des temps de séparation sur les aiguilles du tunnel
  - Scénario 5 : infrastructure en totalité en double voie

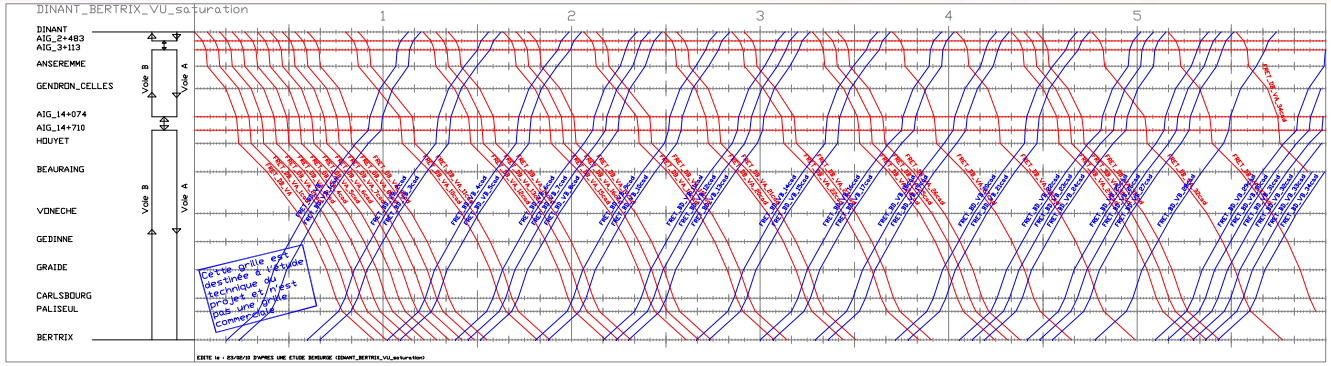


EURODECISION OPERATIONAL RESEARCH

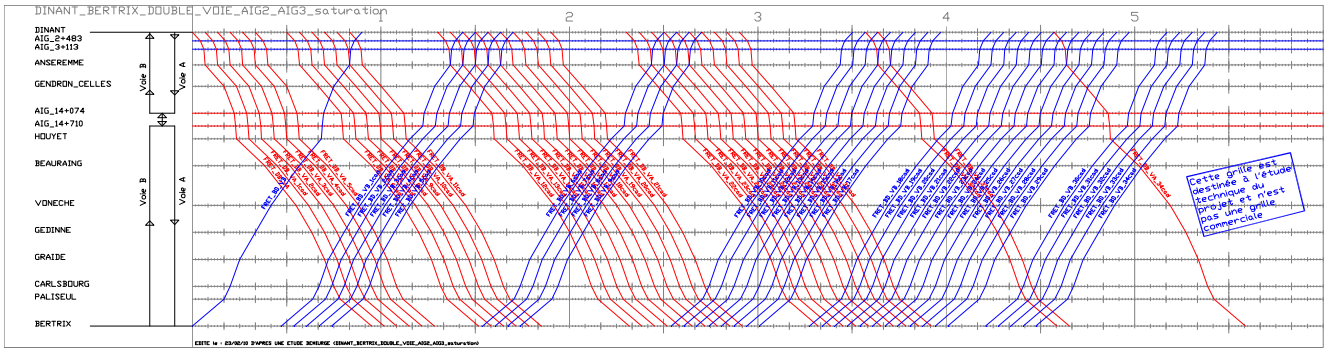
DIRECTION DE L'INGÉNIERIE SNCF

Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de capacité (saturation)

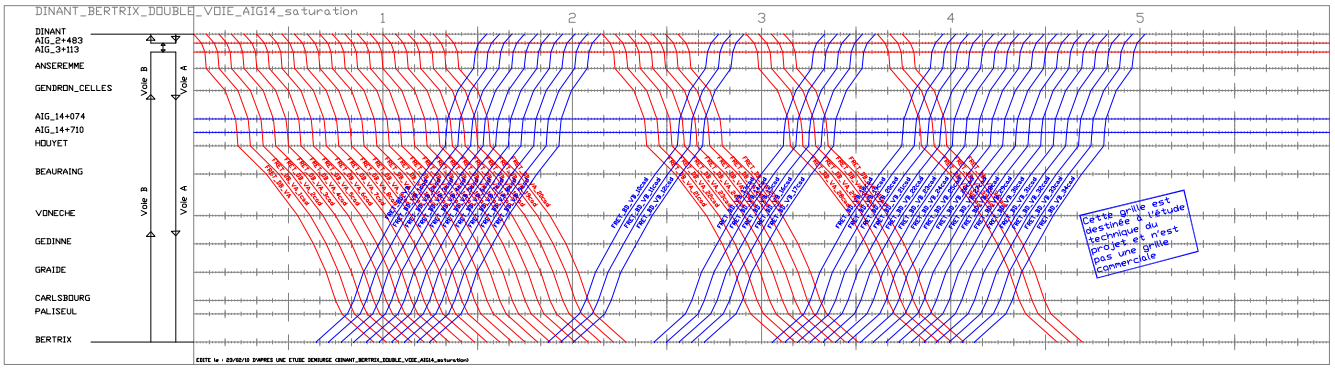
- Scénario 1 :



- Scénario 2 :

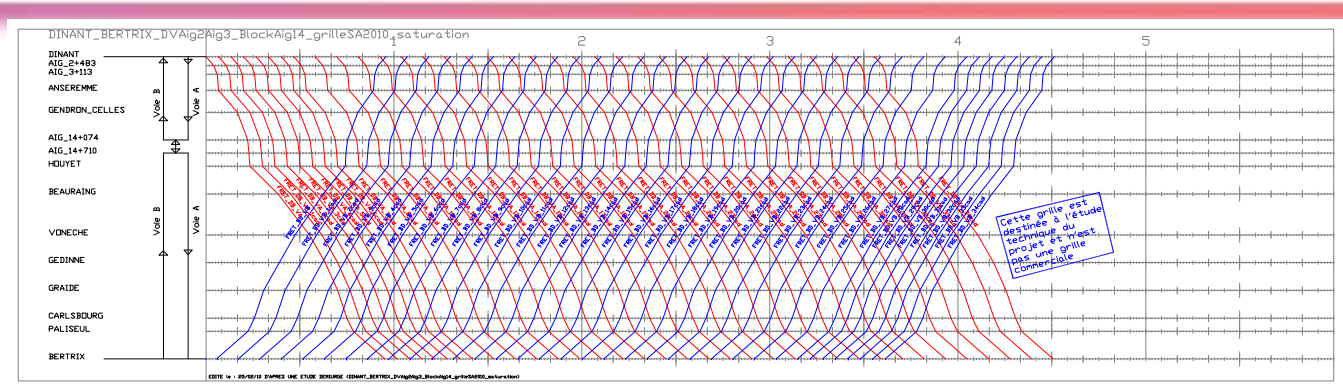


- Scénario 3 :

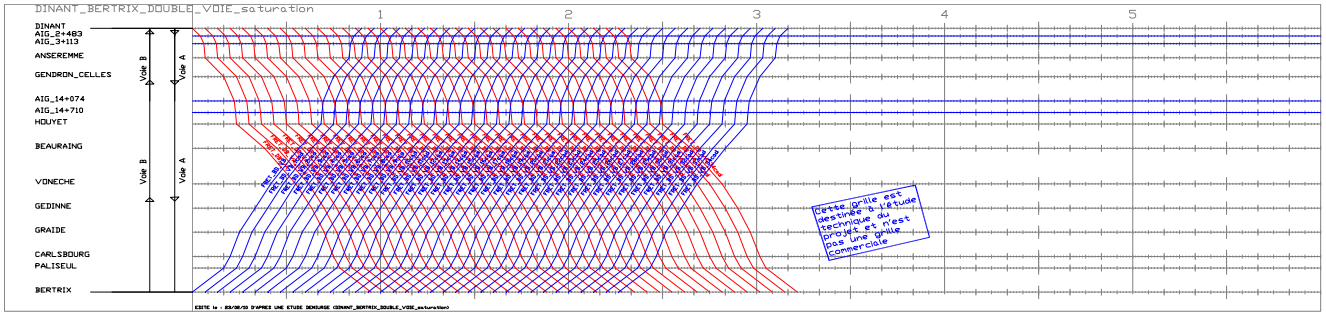


Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de capacité (saturation)

- Scénario 4 :



- Scénario 5 :

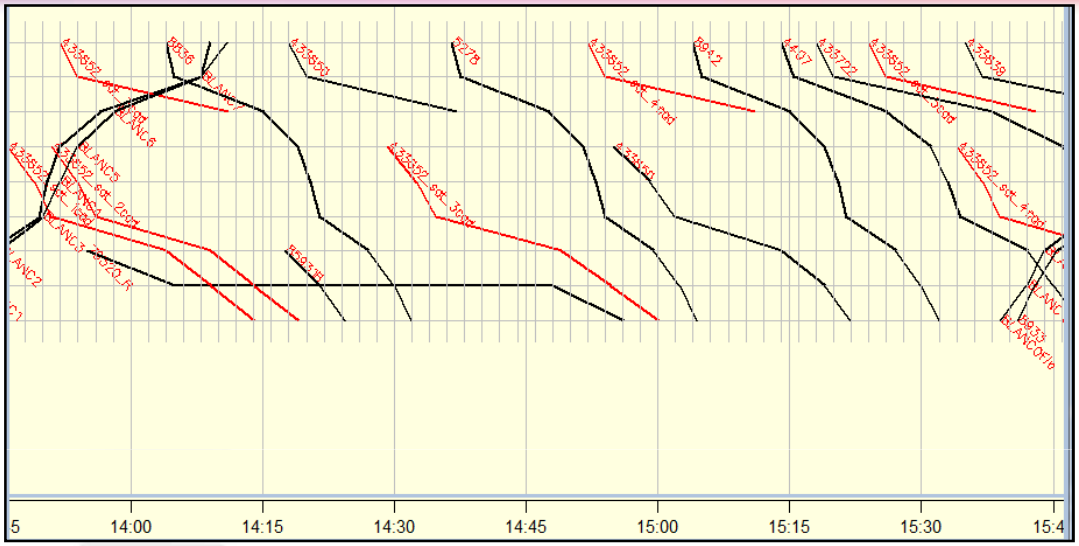


	Durée pour insérer 35 trains	Gain en capacité
Scénario 1	06h28mn	
Scénario 2	05h35mn	+14%
Scénario 3	05h01mn	+21%
Scénario 4	04h30mn	+30%
Scénario 5	03h13mn	+50%

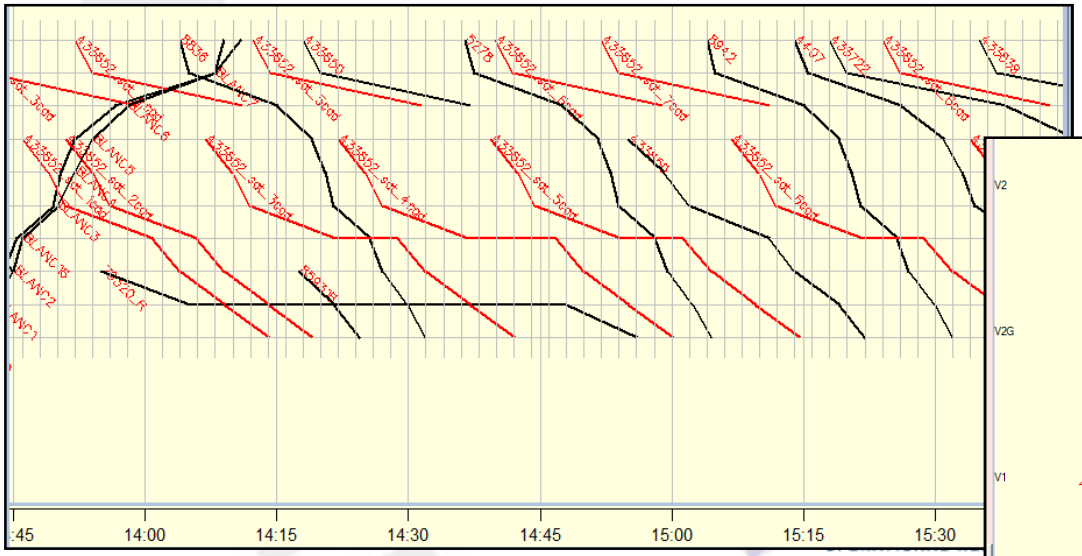
Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de capacité (saturation) et Routage

- Etude de capacité (saturation), avec différents scénarios d'investissement en infrastructure
  - Scénario 1 : situation actuelle
  - Scénario 2 : ajout d'une voie d'évitement fret dans un nœud et utilisation du routage
    - voie principale sans arrêt du train
    - ou voie d'évitement avec arrêt facultatif du train (30 minutes d'arrêt max)

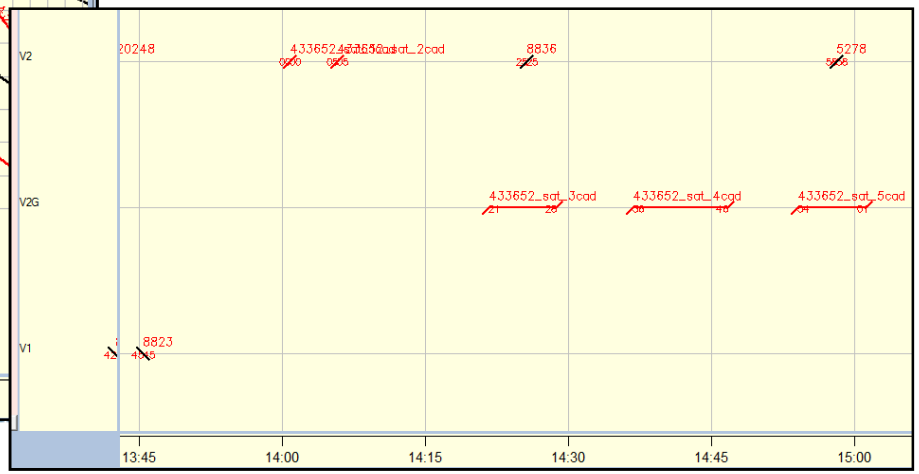
Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de capacité (saturation) et Routage



- Scénario 1 : 11 trains insérés

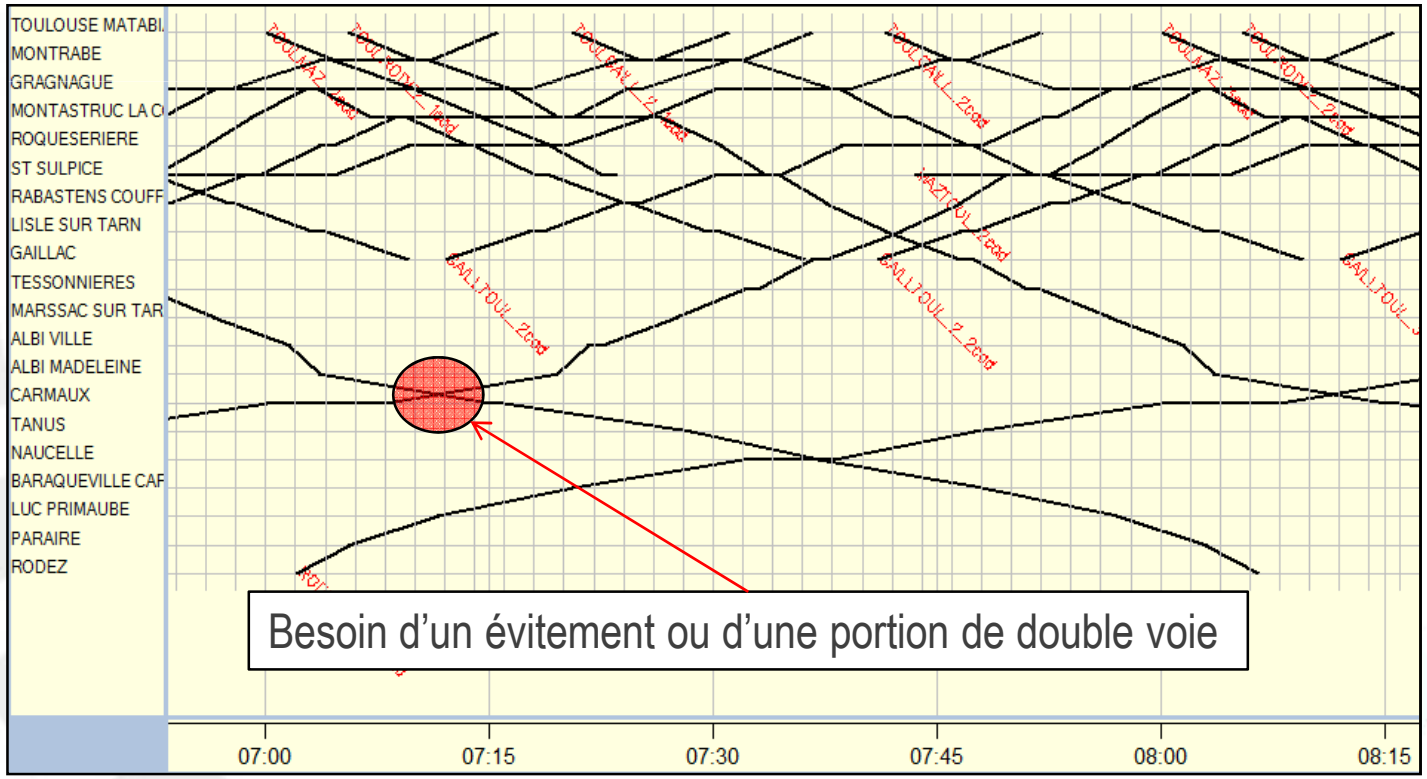


- Scénario 2 : 18 trains insérés



Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Détermination des investissements en infrastructure

- Conception d'une grille horaire
  - Sans dégrader la demande commerciale (temps de parcours, cadencement, desserte, …)
  - Mais en détectant les investissements nécessaires en voie unique
    - Utilisation des violations des contraintes d'exploitation

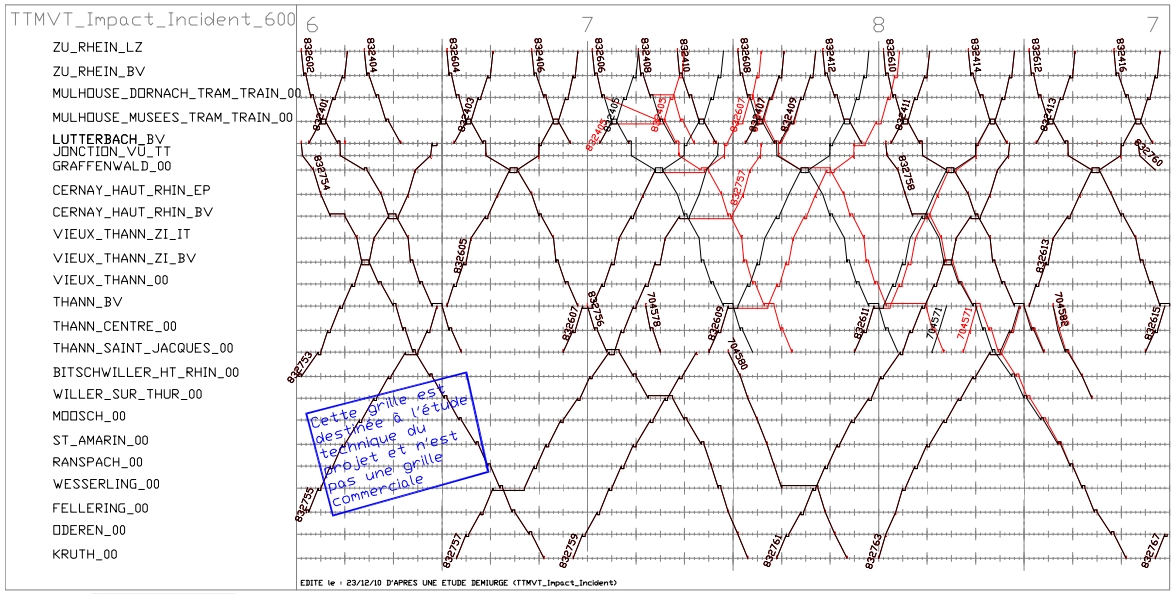


Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de robustesse

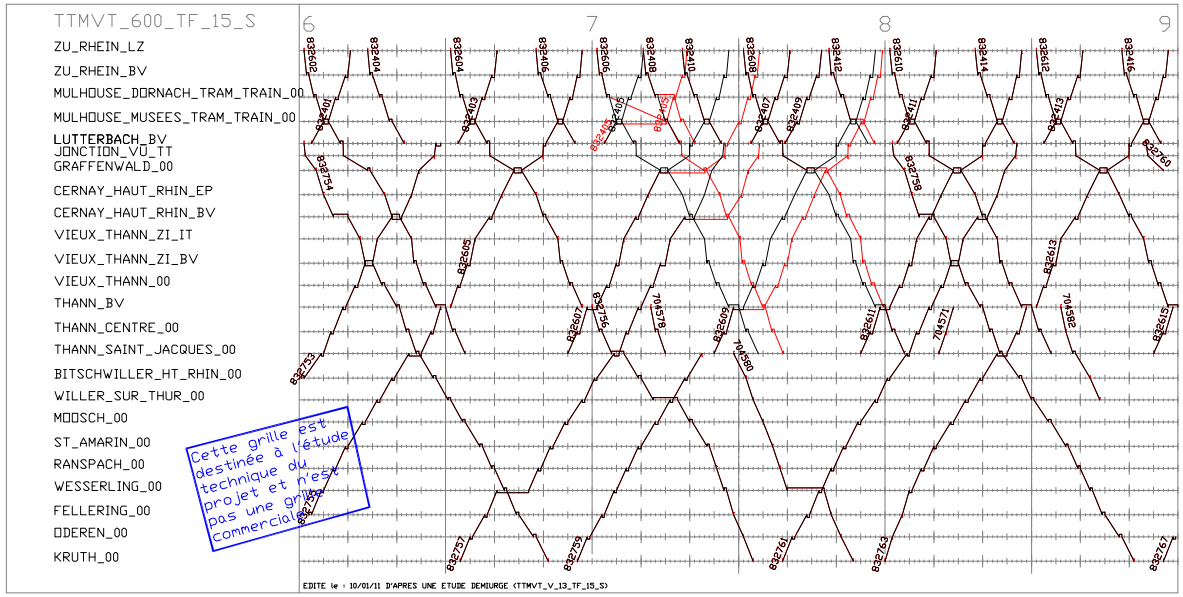
- Etude de robustesse, avec différents scénarios d'investissement en infrastructure et de respect des arrêts commerciaux
  - Scénario 1 : situation actuelle
    - Temps de formation d'itinéraires de 45 secondes (mesurés sur le terrain)
    - Respect des arrêts commerciaux théoriques
  - Scénario 2
    - Amélioration des performances de l'infrastructure : temps de formation d'itinéraires de 15 secondes
    - Réduction possible des temps d'arrêt à 30 secondes

  - Incident étudié : allongement de temps de parcours de 10 minutes sur un tronçon
  - Estimation du nombre de trains touchés et des délais de rétablissement

Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Etude de robustesse



- Scénario 1 :
  - Nombre de trains touchés : 17
  - Délai de rétablissement au nœud incident : 59mn30s
  - Délai de rétablissement global (sur toute l'infrastructure) : 01h35mn08s

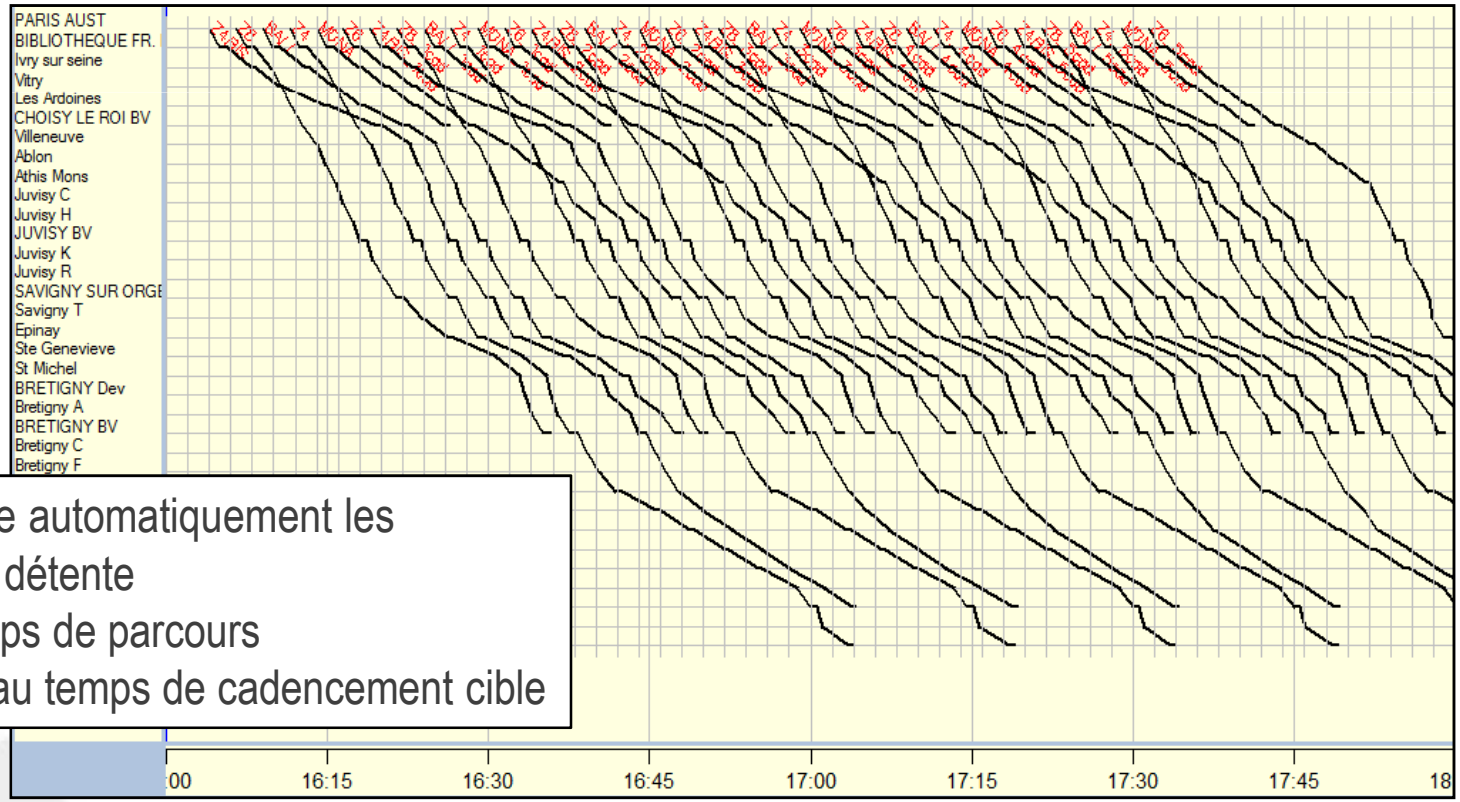


- Scénario 2 :
  - Nombre de trains touchés : 10
  - Délai de rétablissement au nœud incident : 45mn54s
  - Délai de rétablissement global (sur toute l'infrastructure) : 55mn13s

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE

Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Conception de grille cadencée en zone dense

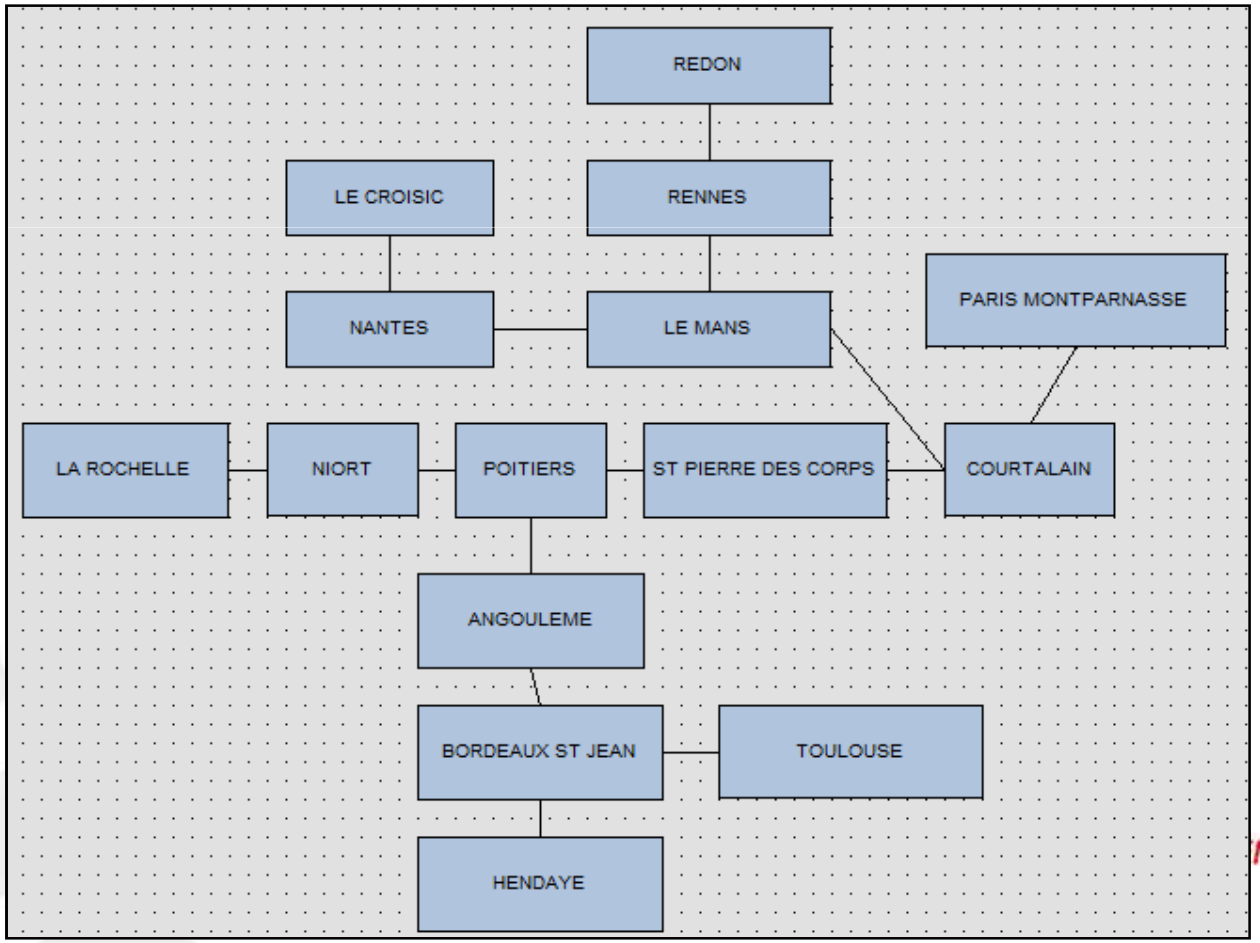
- Cadencement de 6 missions (RER C)
  - Chaque mission est cadencée au ¼ d'heure, avec une tolérance de 90 secondes
  - L'horaire de départ du premier train de chaque profil au nœud BFM est compris entre 16h et 16h15
  - Etude réalisée sur 1 heure de pointe (1 heure 30 minutes de plage horaire d'étude)



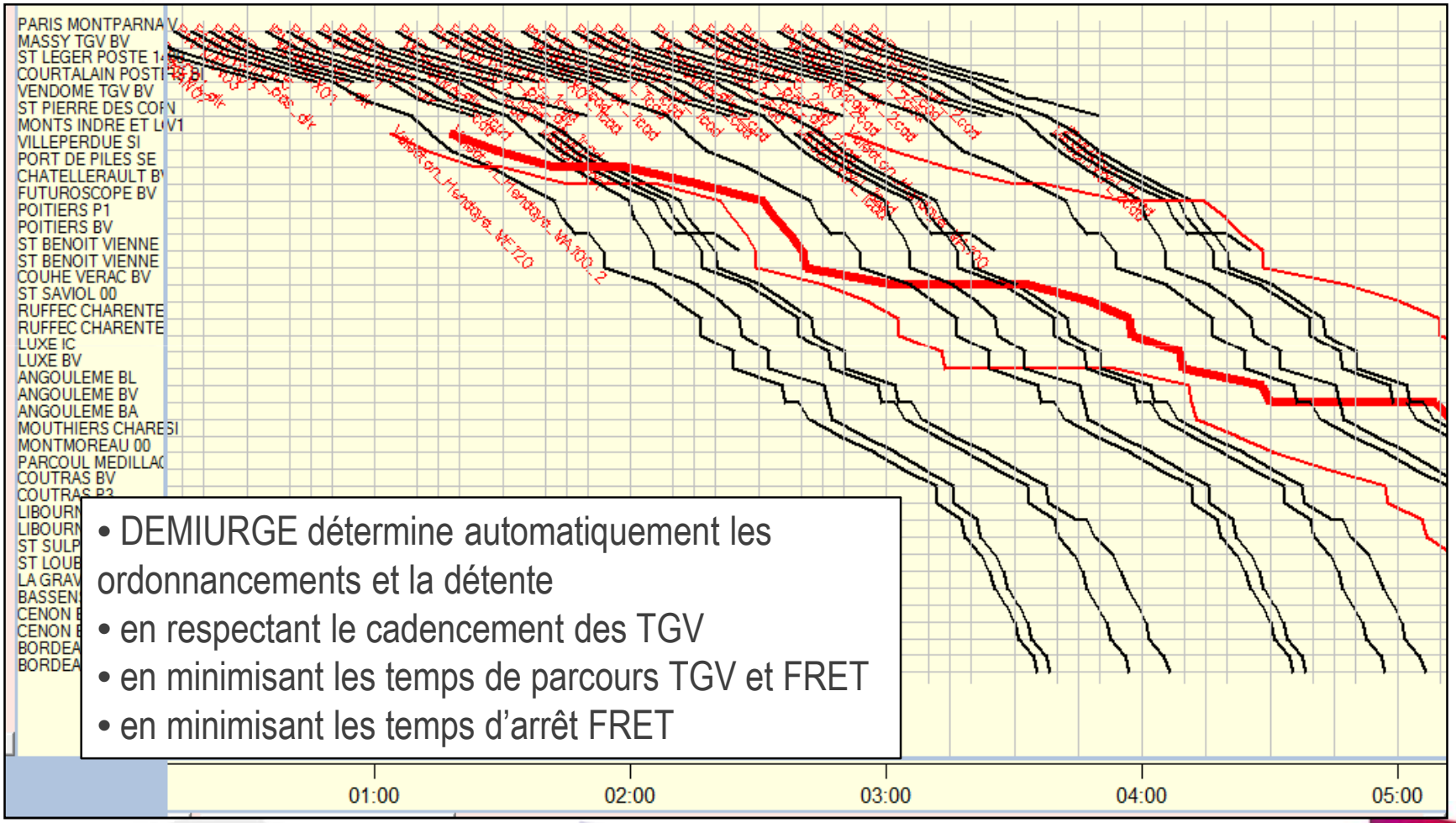
- DEMIURGE détermine automatiquement les ordonnancements et la détente
- en minimisant les temps de parcours
- en minimisant l'écart au temps de cadencement cible

Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Conception de grille cadencée sur un grand axe TGV

- Cadencement sur l'axe LN2
  - 13 profils TGV cadencés à l'heure (cadencement strict)
  - Insertion de 3 sillons FRET sur la partie Ligne Classique



Exemples d'études réalisées avec DEMIURGE
Conception de grille cadencée sur un grand axe TGV



- DEMIURGE détermine automatiquement les ordonnancements et la détente
- en respectant le cadencement des TGV
- en minimisant les temps de parcours TGV et FRET
- en minimisant les temps d'arrêt FRET

EURODECISION
OPERATIONAL RESEARCH

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE

SNCF

Contacts

- **Direction de l'Ingénierie SNCF :**
  - thierry.lepatre@sncf.fr
  - bertrand.houzel@sncf.fr

- **EURODECISION :**
  - www.eurodecision.com
  - gerald.petitjean@eurodecision.com

EURODECISION
OPERATIONAL RESEARCH

DIRECTION DE L'INGÉNIERIE SNCF