

*Ministère de l'Ecologie, du Développement durable
des Transports et du Logement*

PREDIT - Groupe Opérationnel IV

R-shift-R II

Subvention n° 09 MT CV 44

***Réorganisation du système de transport de fret ferroviaire
autour du concept R-shift-R***



Rapport final

Auteurs: Y. Tréméac, A. Margerie, P. Salini, O. Klein

Date: Décembre 2010

Suivi des modifications

Version	Statut	Date	Responsable
0	Version initiale (TLA) – structure du document	Juin 2010	Y. Tréméac
1	Version intermédiaire – ajout des contributions des partenaires : • Analyses complémentaires (A. Margery / TLA) • Simulation et évaluation (P. Salini / TLA)	Octobre 2010	L. Walle
2	Version intermédiaire – intégration des commentaires des partenaires (TLA)	Novembre 2010	Y. Tréméac
3	Version intermédiaire – intégration des commentaires des partenaires (TLA, A. Margery, LET, P. Salini)	Novembre 2010	Tous
4	Version finale – rapport final	Décembre 2010	Y. Tréméac

SOMMAIRE

1. Introduction	7
1.1 Contexte, objectifs et rôles des partenaires du projet	7
1.2 Objet et contenu du document, méthodologie retenue	8
1.3 Préambule	10
2. Description et analyses complémentaires du concept R-Shift-R	11
2.1 Présentation du concept	11
2.1.1 Système général	11
2.1.2 Composants du système	12
2.1.2.1 Rame	12
2.1.2.2 Wagon	12
2.1.2.2.1 Praticable	13
2.1.2.2.2 Balancelle	13
2.1.2.2.3 Système de fixation et de reprise de charges	14
2.1.2.2.4 Bogie	15
2.1.2.3 Équipements de manutention	17
2.2 Intégration aux organisations logistiques et aux territoires	18
2.2.1 Modèle de tracé et estimations de trafic	18
2.2.2 Mode de déploiement	20
2.2.3 Mise en service de liaisons cadencées	22
2.3 Gestion des flux	24
2.3.1 Intermodalité	24
2.3.2 Volume des conditionnements	25
2.4 Éléments de structure	29
2.4.1 Wagons	29
2.4.2 Convois	29
2.4.3 Conception des gares	30
2.4.3.1 Généralités	30
2.4.3.2 Zone d'embarquement/débarquement	31
2.4.3.3 Zone de transfert automatique	31
2.4.3.4 Zone de chargement/déchargement	32
2.5 Exploitation des terminaux	33
2.5.1 Manutention des contenants	33
2.5.2 Quais	38
2.5.3 Gares	38
2.6 Gestion de l'information	41
2.7 Fonctionnement au sein d'un port	41
2.8 Acceptabilité du concept	41
2.9 Gestion des modes dégradés	43
2.10 Analyse de solutions alternatives	44
2.10.1 Préambule	44
2.10.2 Description de solutions alternatives	45
2.10.2.1 Arrivée sur le terminal	45
2.10.2.2 Contrôle	45
2.10.2.3 Transfert route/terminal	45
2.10.2.3.1 Embarquement/débarquement de conteneurs sur praticables	46
2.10.2.3.2 Embarquement/débarquement de caisses mobiles sur praticables	46
2.10.2.3.3 Embarquement/débarquement de semi-remorques sur praticables	47
2.10.2.4 Transfert terminal/fer	47

2.10.2.5	Transfert terminal/route	47
2.10.3	Schémas de principe	48
2.10.3.1	Scénario 1 : opérations mono quai	48
2.10.3.2	Scénario 2 : opérations sur double quai	49
2.10.3.3	Scénario 3 : opérations sur double quai avec double capacité	51
2.10.3.4	Scénario 4 : opérations de type chantier combiné sans praticable	52
2.10.3.5	Scénario 5 : opérations de tapis roulant	53
2.10.4	Gestion des modes dégradés	55
3.	Modélisation et simulation	56
3.1	Principes de modélisation	56
3.1.1	Parti pris méthodologique	56
3.1.2	Mise en œuvre : les terminaux	57
3.1.3	Principes généraux de modélisation de l'articulation des flux	57
3.2	Cycles de chargement de semi-remorques sur praticables	59
3.2.1	Description du modèle de simulation	59
3.2.1.1	Processus de simulation retenu	59
3.2.1.2	Variables importantes	60
3.2.1.3	Modes de calcul	60
3.2.2	Premiers résultats	61
3.2.2.1	Cas d'une demande de l'équivalent de 4 trains/heure	61
3.2.2.2	Cas de trains espacés de 13 minutes, soit 230 PL par heure	62
3.2.2.3	Cas d'une gare d'extrémité en période de pointe	62
3.2.2.4	Sensibilité au temps de chargement moyen sur le praticable	63
3.2.3	Conclusion provisoire	63
3.3	Définition de scénarios de mise en œuvre	63
3.3.1	Scénarios techniques	63
3.3.1.1	Gare R-Shift-R type avec manutention horizontale sur praticables	64
3.3.1.2	Gare R-Shift-R dédiée aux semi-remorques	66
3.3.1.2.1	Départ	66
3.3.1.2.2	File d'attente	66
3.3.1.2.3	Déchargement sur le praticable	66
3.3.1.2.4	Variables importantes	66
3.3.2	Scénarios « pratiques »	67
3.4	Simulation des scénarios	67
3.4.1	Gares « pour boîtes »	67
3.4.2	Gare pour semis	68
3.4.3	Éléments techniques retenus (temps et coûts)	70
4.	Évaluation des scénarios	71
4.1	Résultat d'ensemble selon les scénarios techniques	71
4.2	Résultats de coûts dans le cadre des scénarios optimaux	72
4.3	Nature de la demande et évolution face à l'offre	73
4.4	Bilan environnemental	74
5.	Conclusions	76
6.	Annexes	77
6.1	Annexe 1 : Équations régissant les modèles de terminaux	77
6.1.1	Adaptation du modèle AxeFret	77
6.1.2	Équations des modules d'entrée	81
6.1.2.1	Boîtes	81
6.1.2.2	Semis	86
6.2	Annexe 2 : Coûts et formules de coûts	93
6.2.1	Éléments de coûts pour équipement des quais (solution nominale)	93

6.2.2	Éléments de coûts solution R Shift R II (alternative)	94
6.2.3	Coûts de plate-forme (gares) pour les semis	95
6.2.4	Coût de plate-forme (gare) pour les « boîtes »	99
6.2.5	Coûts annualisés	103
6.2.6	Coûts par UTI et par km	103
6.2.7	Coûts du personnel de conduite	104
6.2.8	Coûts des voies et autres coûts	105
6.3	Annexe 3 : données quantitatives	108
6.3.1	Vitesses et accélérations	108
6.3.2	Durées fixes	108
6.3.3	Distances et surfaces	108
6.3.4	Consommations	109

FIGURES

Figure 1	: vue d'ensemble du concept R-shift-R et découpage des zones	11
Figure 2	: schéma d'un wagon R-shift-R	12
Figure 3	: wagon R-shift-R chargé d'une semi-remorque	13
Figure 4	: schéma d'un praticable R-shift-R	13
Figure 5	: schéma d'une balancelle R-shift-R	14
Figure 6	: schéma décrivant les éléments de verrouillage d'une semi-remorque	15
Figure 7	: schémas des composants des bogies	16
Figure 8	: porte-praticable	17
Figure 9	: auto-manipulateur	17
Figure 10	: tracé de la route automatique pour poids lourds (projet RAPL)	18
Figure 11	: organisation générale d'un réseau	23
Figure 12	: organisation d'une zone urbaine logistique	23
Figure 13	: organisation générale de l'in termodalité	24
Figure 14	: gabarit des tunnels GB1 +	26
Figure 15	: profils des wagons d'origine et modifié	29
Figure 16	: position des éléments en zone d'embarquement pour une remorque (haut) et un porte-conteneur (bas)	32
Figure 17	: profil de la zone de transfert automatique	32
Figure 18	: profil de la zone de chargement/déchargement	32
Figure 19	: profil transversal des quais	32
Figure 20	: implantation des cellules ferroviaires dans une gare sans quai central	34
Figure 21	: implantation des cellules ferroviaires dans une gare avec quai central	35
Figure 22	: alignement des praticables en bordure du quai routier face à un wagon	36
Figure 23	: quart de gare intermédiaire sans quai central ou demi-gare d'extrémité	39
Figure 24	: gare intermédiaire sans quai central	39
Figure 25	: gare intermédiaire avec quai central	40
Figure 26	: équipements nécessaires suivant les modes de fonctionnement	40
Figure 27	: solution alternative – opérations mono-quai	48
Figure 28	: solution alternative – opérations double quai	49
Figure 29	: solution alternative – opérations double quai sans cisaillement	50
Figure 30	: solution alternative – opérations double quai à capacité doublée	51
Figure 31	: solution alternative – opérations type chantier combiné	52
Figure 32	: solution alternative – toutes opérations sur tapis roulant	54
Figure 33	: typologie des modèles de simulation (d'après Andrei Borshchev & Alexei Filippov, XJ Technologies)	56
Figure 34	: la gare comme boîte noire	58
Figure 35	: flux continu et flux discrétisé	58
Figure 36	: temps de cycle moyen	61
Figure 37	: nombre de poids lourds en attente	62
Figure 38	: coûts annuels par catégories de dépenses	72

Figure 39 : comparaison des consommations unitaires d'énergie pour le transport interurbain de marchandises (2000) selon la catégorie	74
Figure 40 : boutons et curseurs destinés à réguler la demande	77
Figure 41 : module de chargement Conteneurs	79
Figure 42 : module de chargement Semi-remorques	80

TABLEAUX

Tableau 1 : transports (UTI/jour) correspondant à 50 % de part de marché	19
Tableau 2 : Capacité volumétrique des différents contenants actuellement en service	26
Tableau 3 : capacité des rames suivant le nombre de wagons et le type de contenant	29
Tableau 4 : AMDEC du système R-Shift-R	43
Tableau 5 : tableau AMDEC solution alternative	55
Tableau 6 : simulations donnant les trafics optimaux	68
Tableau 7 : simulations donnant les trafics optimaux	69
Tableau 8 : scénarios de base et résultats	71
Tableau 9 : valeurs tutélaires de valorisation monétaire des émissions de CO ₂	75
Tableau 10 : investissement pour une gare d'extrémité, fréquence 15mn	94

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE, OBJECTIFS ET ROLES DES PARTENAIRES DU PROJET

Les solutions actuellement exploitées pour le transport combiné rail-route sur des voies à gabarit normal sont la « chaussée roulante » (Suisse, Autriche) et l'autoroute ferroviaire reposant sur la technologie de wagon surbaissé Modalohr. On peut leur rapprocher la solution grand gabarit mise en œuvre par Eurotunnel entre Calais et Douvres, ou encore les liaisons exploitées en transport combiné de conteneurs par divers opérateurs spécialisés. Le concept R-shift-R a donné lieu à une première ébauche de validation économique par modèle de simulation. Dans un contexte de réflexion à long terme, la présente étude aborde la faisabilité de structurer une offre compétitive du système de fret ferroviaire au travers de la mise en œuvre d'innovations de rupture tel que R-shift-R, utilisant au mieux les infrastructures existantes et améliorant les possibilités de circulation mixte fret/passager.

Le projet R-shift-R II a pour objectif de finaliser l'étude de viabilité du concept R-shift-R et poser les bases des développements ultérieurs à mener, ce qui nécessite de :

- Finaliser les réflexions sur le concept (intégration dans les chaînes logistiques, gestion des flux conteneurs et caisses mobiles, fonctionnement au sein d'un port, acceptabilité sociale du haut débit, exploitation des terminaux, cadencement type TER...) et simuler différents scénarios en intégrant les conditions d'exploitation ferroviaires ;
- Étudier la commercialisation de l'offre (e.g. opérateur virtuel, réservation par Internet...) et monter le plan d'affaires du concept, pour conclure quant à sa rentabilité.

Le projet poursuit une démarche initiée par les inventeurs du concept, puis au cours d'un précédent projet PREDIT. Il doit permettre d'obtenir les éléments de réponse nécessaires à des investigations plus poussées qui pourront être menées par la suite. Sur la base de la faisabilité démontrée du concept, différents prototypes pourraient ainsi être élaborés dans le cadre de programmes de recherche Européen (FP, Marco Polo) ou (bi-) national (DEUFRACO, PREDIT). Ce projet qui vise à rendre effectif la création, le développement et la mise en œuvre du concept R-shift-R (sur la base de la démonstration de sa viabilité) pourra se concrétiser au travers d'un pilote en conditions réelles d'exploitation. Le succès du pilote permettra de promouvoir au mieux le concept et d'accélérer la mutation vers un déploiement industriel et commercial généralisé. Dans le cadre de sa réalisation, différents partenaires cruciaux, acteurs potentiels du déploiement du concept, devront alors être intégrés (industriels, opérateurs ferroviaires, exploitants de terminaux, chargeurs, logisticiens, collectivités...).

Le projet s'organise autour de trois partenaires, chacun ayant fourni sa contribution attendue :

- Le Laboratoire d'Économie des Transports (LET) pour les aspects méthodologiques, économiques et sociaux ;
- P. Salini pour les aspects modélisation et simulation, et son expertise du transport ; les travaux de P. Salini ont notamment porté sur la constitution de modèles dynamiques de systèmes rail-route ;
- TL&Associés (TLA) pour la coordination du projet, les aspects logistiques, économiques et environnementaux, les technologies de manutention, les NTIC et l'intégration systèmes ;

TLA a fourni des éléments complémentaires nécessaires aux simulations lorsqu'ils étaient disponibles (après recherches bibliographiques et interviews des acteurs concernés e.g. industriels de la manutention). A. Margery, l'un des inventeurs du concept et actuel porteur principal de son développement, a été associé de manière cruciale aux analyses et à la validation des résultats. Il a notamment fourni les données de base nécessaires à l'analyse du concept R-shift-R.

1.2 OBJET ET CONTENU DU DOCUMENT, METHODOLOGIE RETENUE

Le présent document constitue le rapport final du projet R-shift-R II. Il intègre les résultats obtenus au cours des différentes phases du projet. La phase 1 avait pour objectifs de :

- Réaliser les analyses complémentaires requises pour finaliser la définition du concept R-shift-R (wagon, gare, équipements divers) ;
- Simuler des scénarios de mise en œuvre du concept afin d'en évaluer les impacts.

Il s'est ainsi agi d'étudier :

- L'intégration dans les chaînes de distribution (évolutions des organisations logistiques) et la répartition territoriale du marché (étude des trafics, spatialisation des gares) ;
- La gestion des flux conteneurs et de caisses mobiles ;
- L'exploitation des terminaux, en particulier :
 - La gestion des entrées/sorties camions et des flux induits à l'approche sur gare ;
 - Le niveau d'automatisation en fonction du couple fréquences/trafics ;
- Les systèmes d'information (ferroviaire, interface chargeur....) et les NTIC (transmission des données, suivi des marchandises, réservation) ;
- Le fonctionnement au sein d'un port ;
- L'acceptabilité d'un système haut débit ;
- Le processus de mise en service de liaisons cadencées du type TER (s'incorporant dans les flux journaliers) ; un soin tout particulier a été apporté à l'étude des questions relatives à la capacité du réseau ferroviaire existant.

Ces analyses ont permis de définir des scénarios de déploiement contrastés (réseau, fréquences, chronologie...) et de les évaluer économiquement. Différents scénarios ont ainsi été simulés.

La phase 2 a ensuite été lancée avec pour objectif de monter le plan d'affaires du concept. Sur la base des choix réalisés en phase 1, il s'est tout d'abord agi d'identifier les acteurs nécessaires pour le développement du concept et de ses différentes composantes, techniques mais aussi organisationnelles. Les plus prometteurs ont été ciblés, en fonction de leurs compétences, position actuelle sur le marché, capacité d'industrialisation / de production, motivation, stratégie de diversification...

Il s'est alors agi de monter le plan d'affaires du concept. Les aspects suivants ont été adressés :

- Le concept (présentation générale, historique du développement, propriété industrielle...)
- Le marché (sur la base des éléments obtenus en phase 1), afin de synthétiser les caractéristiques des marchés potentiels et des besoins associés, et définir la qualité de service requise
- La concurrence (pénétration de marché, analyse comparative, stratégies commerciales des produits concurrents, différenciation)
- La stratégie de développement, intégrant les aspects homologation, financement, communication, et commercialisation de l'offre
- Le plan d'action général et le planning de mise en œuvre
- Les ressources requises (humaines, techniques, financières)
- Les projections financières (rentabilité, ROI...)
- Les forces, faiblesses, opportunités et menaces pour le développement du concept
- Les conclusions

Ainsi, le marché a été caractérisé (segments, taille, pénétration) et la clientèle potentielle identifiée. La stratégie de développement a été étudiée ; il s'est notamment agi de réfléchir à de nouveaux « business models », et à de nouveaux mécanismes de partage de la valeur et de répartition des investissements / coûts / bénéfices pour les acteurs économiques. Cette étape a ainsi permis de définir des modes de gouvernance envisageables et d'identifier les acteurs susceptibles de participer au déploiement du système, dans le cadre d'une commercialisation généralisée. Les aspects commercialisation de l'offre (e.g. pool d'industriels, opérateurs...), services et modes d'exploitation associés ont été détaillés. Il s'est notamment agi d'étudier des concepts du type « opérateur virtuel », et les possibilités de vente directe du service par Internet. Il s'est plus généralement agi d'intégrer les concepts de e-business et e-transport. De même, le processus d'homologation à l'échelle européenne a été appréhendé. Un soin tout particulier a enfin été apporté à l'étude des besoins et modes de financement envisageables.

Le présent rapport détaille ainsi :

- Le concept R-shift-R et les résultats de l'analyse des points complémentaires traités (chapitre 2 – principal rédacteur : A. Margerie) ;
- Les modélisations mises en œuvre et le résultat des simulations (chapitre 3 – principal rédacteur : P. Salini) ;
- L'évaluation des scénarios (chapitre 4 – principaux rédacteurs : TLA - P. Salini - LET) ;
- Le plan d'affaires du concept (chapitre 5 – principal rédacteur : TLA) ;
- Les conclusions obtenues (chapitre 6 – principal rédacteur : TLA) ;
- Les annexes (chapitre 7).

La méthodologie adoptée pour le projet a dès lors consisté en :

- Une analyse aux niveaux français et européen des études déjà réalisées en lien avec le projet et des rapports existants et disponibles ;
- Le traitement des bases de données de flux disponibles :
 - SITRAM 2005 pour les trafics intérieurs France (échanges entre départements) et les flux import/export ;
 - TRANSIT 2004 pour les trafics Italie-Péninsule Ibérique/France, et Péninsule Ibérique/pays étrangers (transit) ;
- La modélisation et la simulation de scénarios d'évolution du système de fret ferroviaire.

1.3 PREAMBULE

Les travaux de recherche de la phase 1 ont donné lieu à des réflexions conduisant les partenaires du projet à des points de vue différents sur la problématique (notamment le concept de haut débit et plus globalement la viabilité du concept R-shift-R II), parfois convergents, parfois divergents.

Certains questionnements n'ont ainsi pu trouver de consensus à l'issue de la phase 1, notamment concernant :

- La gestion des contraintes de gabarit ferroviaire ;
- Les modes d'exploitation sur les terminaux et les conditions opérationnelles associées, en particulier la réalisation des marches arrière par des tracteurs routiers sur le terminal, en termes de faisabilité ainsi que de temps élémentaire / productivité ;
- L'organisation d'un système ferroviaire haut débit, opposant notamment le concept d'axe dédié à celui de réseau ramifié.
- La spécialisation des gares d'extrémité ou intermédiaires avec un nombre d'équipements différents et l'utilisation d'un seul quai pour les deux sens ;
- L'hypothèse du cisaillement des voies ;
- L'organisation de la gare avec du personnel dédié pour effectuer les manœuvres.

2. DESCRIPTION ET ANALYSES COMPLEMENTAIRES DU CONCEPT R-SHIFT-R

2.1 PRESENTATION DU CONCEPT

2.1.1 SYSTEME GENERAL

D'une manière générale, le concept R-shift-R met en œuvre une architecture de rupture qui vise à répondre aux enjeux de développement du fret ferroviaire :

- Un même type de wagon susceptible d'embarquer tous les conditionnements utilisés à ce jour par le mode routier ;
- Une motorisation permettant de s'adapter en adhérence et en consommation au profil des voies (passage des cols de montagne) ;
- Un maillage fin du territoire avec des distances entre terminaux pouvant descendre en dessous des 200 kms, avec une extension géographique vers des zones moins denses ;
- Une rotation rapide des rames grâce à la désynchronisation des opérations de chargement/déchargement et d'embarquement /débarquement qui limite le temps d'arrêt sur chantier de transbordement ;
- Un pilotage des flux de contenants sur terminal afin de maîtriser les temps d'immobilisation des tractions routières.

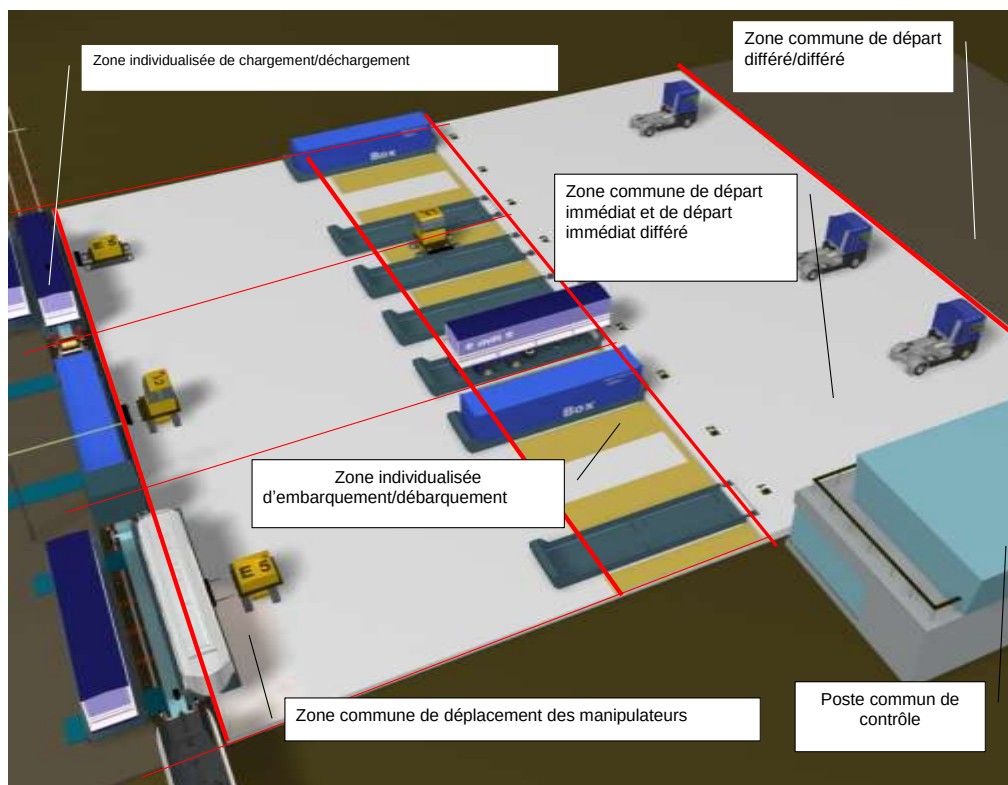


Figure 1 : vue d'ensemble du concept R-shift-R et découpage des zones

L'objectif est de proposer un service dont la tarification est comparable à celle de la route.

Cette innovation de rupture repose sur différents leviers technologiques :

- Un wagon monobloc court sans châssis démontable pourvu d'un plateau amovible (praticable) sur lequel est déposé le contenant (en l'absence de la rame) ;
- Une propulsion répartie sur chaque wagon ;
- Un bogie pourvu d'un mécanisme de variation de hauteur ;
- Un système de portage et de manutention automatique assurant les déplacements sur terminal depuis/vers des travées d'embarquement/débarquement route vers/depus des emplacements rames.

2.1.2 COMPOSANTS DU SYSTEME

2.1.2.1 Rame

Pour une longueur totale de 750 mètres une rame R-shift-R se compose d'un ensemble de 25 wagons doubles. Chaque wagon est doté d'une motorisation électrique afin notamment de faciliter le franchissement des lignes de montagne où la pente est importante ainsi qu'assurer une meilleure insertion dans la topographie des lignes nouvelles. A chaque extrémité de la rame se trouve un wagon de pilotage (de longueur identique, et doté du même type de motorisation) qui accueille le pantographe et les dispositifs de transformation du courant électrique capté.

2.1.2.2 Wagon

Le wagon R-shift-R est un wagon double à 3 bogies, de deux fois 12,75 mètres de long et 2,96 mètres de large : l'une des extrémités repose « tête-bêche » sur un bogie commun, l'autre sur un bogie qui lui est propre. L'ensemble est relié au groupe suivant par une attache de 3,40 mètres de long, ce qui conduit à un pas de wagon de 14,45 mètres.

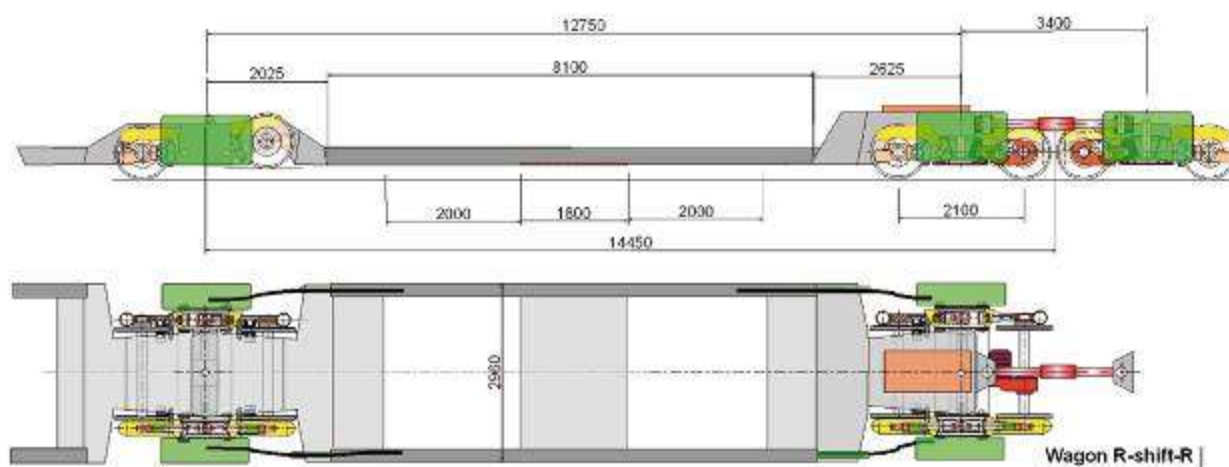


Figure 2 : schéma d'un wagon R-shift-R

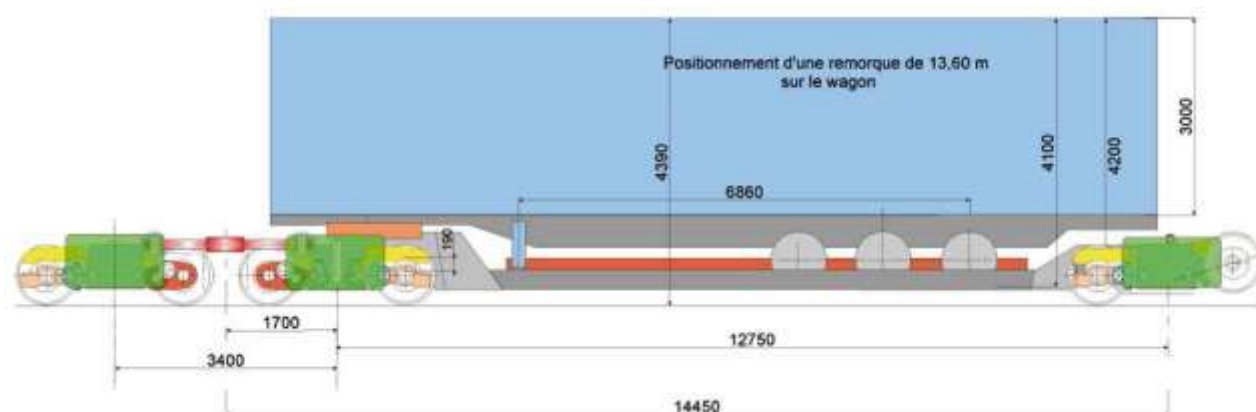


Figure 3 : wagon R-shift-R chargé d'une semi-remorque

2.1.2.2.1 Praticable

Base de tout le concept R-shift-R, ce plateau a pour rôle de rendre possible le fonctionnement des gares en l'absence des rames : le praticable n'est pas une exigence propre au wagon mais au fonctionnement des gares. Il est propre à chaque type de contenants. Conçu dans un souci d'allègement du système et afin de simplifier les équipements des gares il participe à absorber les effets des contraintes de la charge.

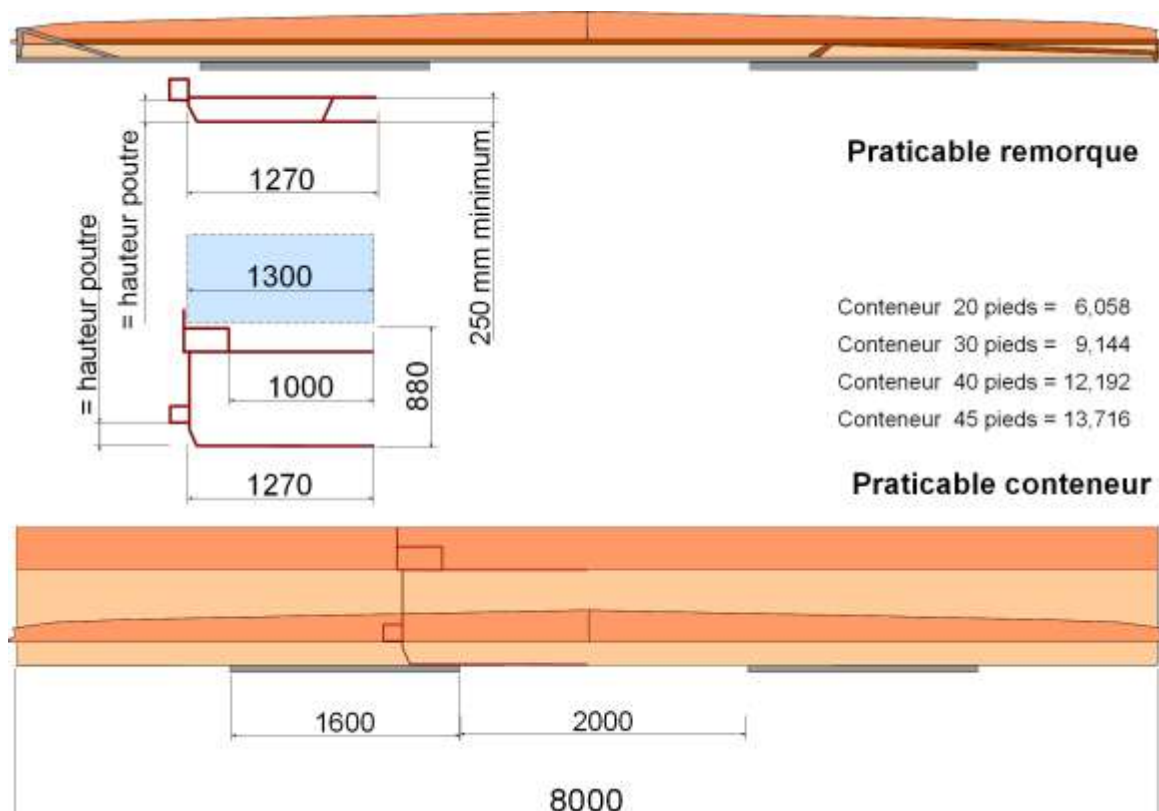


Figure 4 : schéma d'un praticable R-shift-R

2.1.2.2.2 Balancelle

Couramment appelé châssis dans un wagon classique, chaque balancelle est susceptible d'accueillir un praticable portant une semi-remorque, un conteneur ou une caisse mobile.

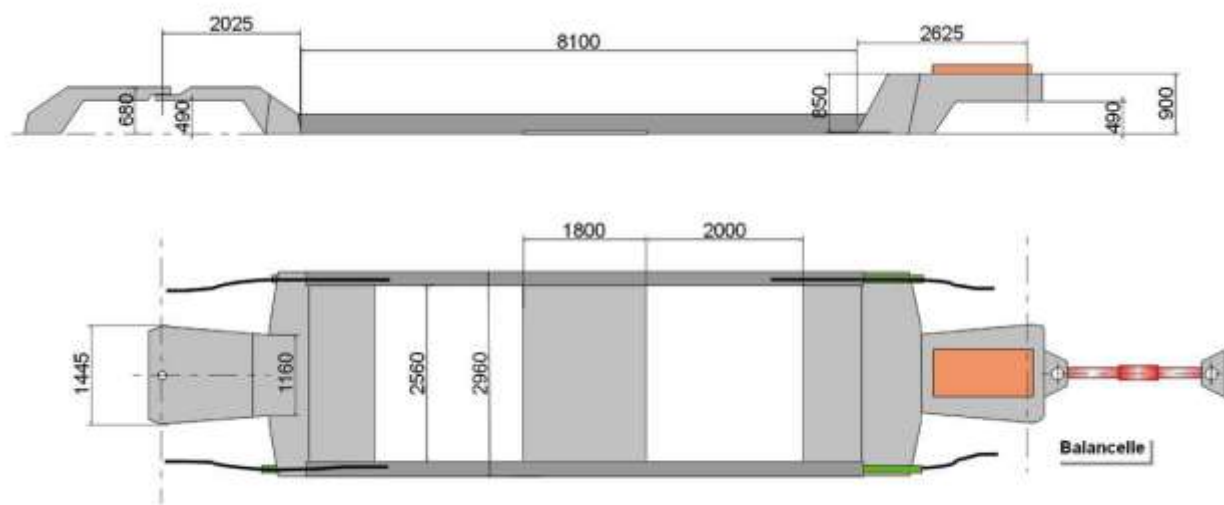


Figure 5 : schéma d'une balancelle R-shift-R

Le wagon ne peut se déplacer sans sa balancelle. Les liaisons avec les bogies qui la portent sont de deux types :

- Deux rotules de liaison (à chaque extrémité de la structure) la relient aux axes verticaux solidaires des bogies. Ces liaisons permettent d'articuler la rame dans tous les plans et d'assurer la transmission des efforts de traction/freinage en provenance du bogie moteur qui lui est propre et du bogie de freinage commun à deux balancelles ;
- Chaque balancelle repose sur quatre colonnes articulées sur des rotules. Cette construction a pour avantage de répartir et de ramener les effets de la charge dans les axes de chaque bogie, ce qui garantit l'égale répartition de la charge sur les deux essieux d'un même bogie. Cette condition est primordiale pour le bogie commun, une balancelle pouvant être chargée et l'autre vide.

Une balancelle se présente sous la forme de deux poutres latérales, d'une longueur de 8 mètres, qui sont soudées à chaque extrémité à un plateau. L'ensemble ainsi constitué mesure 12,75 mètres de long (entre les points d'appuis et de liaisons) pour une largeur de 2,95 mètres. La hauteur des poutres reste à définir.

2.1.2.2.3 Système de fixation et de reprise de charges

Le bridage d'un conteneur sur un praticable se fait manuellement au moment de sa mise en place sur le praticable. Il nécessite la présence d'un opérateur en gare (pour confirmer la bonne position du conteneur sur le praticable) et d'un conducteur (pour les manœuvres du tracteur). Dans le cas d'une semi-remorque, la reprise de charge se fait automatiquement au moment de la mise en place du praticable dans la balancelle.

Le bridage des praticables sur la balancelle se fait ensuite automatiquement avant le relevage des wagons, par un mécanisme intégré au wagon et commun à tous les praticables. Deux cas se présentent selon que l'on considère des semi-remorques ou des conteneurs.

La diversité du matériel routier induit différentes configurations au niveau de la position de l'axe d'articulation de la remorque appelé « cheville ouvrière ». Cet axe lui servira d'attache sur la balancelle par le système de reprise. La position de la remorque sur le praticable sera déterminée en fonction des conditions d'embarquement (répartition de la charge pour équilibrer la résultante

sur les essieux du wagon). La capacité d'adaptation du système d'immobilisation sera de l'ordre de 100 mm en hauteur et 950 mm en longueur.

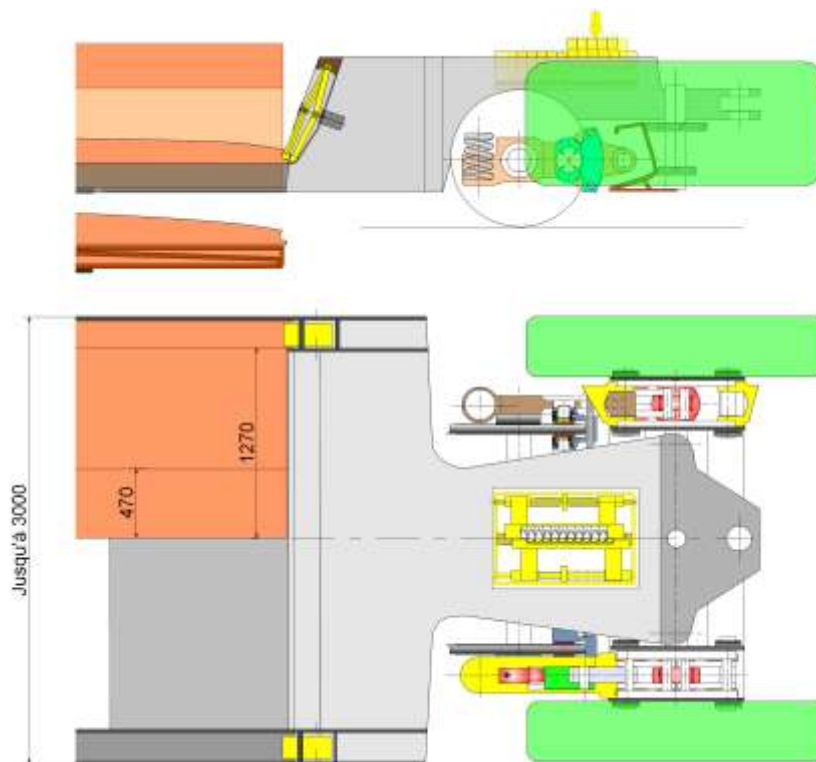


Figure 6 : schéma décrivant les éléments de verrouillage d'une semi-remorque

Les conteneurs seront quant à eux bridés sur leur praticable par le chauffeur au moment de l'embarquement, par un moyen mécanique manuel, solidaire du praticable, qui reste à définir. En cours de descente à l'intérieur du wagon le conteneur s'immobilise à quelques cm au dessus de la balancelle, le praticable reposant sur les poutres de la balancelle sur lesquelles il sera bridé automatiquement.

2.1.2.2.4 Bogie

Le bogie de la rame R-shift-R est conçu afin de répondre aux contraintes qui lui sont imposées, les deux plus importantes étant de permettre le déplacement de la rame par l'intermédiaire d'une motorisation multiple, et d'assurer une garde au rail variable de 60 mm à 250 mm, afin de respecter les gabarits en vigueur dans les zones contraintes (tunnels) et de favoriser le chargement/déchargement des praticables en gare.

Les sous-systèmes le constituant sont:

- La suspension (système de variation de hauteur, dispositif d'amortissement, organes tournants) ;
- Les freins (à disques sur jantes, structure supportant les étriers de frein) ;
- La motorisation ;
- Le châssis et le circuit hydraulique.

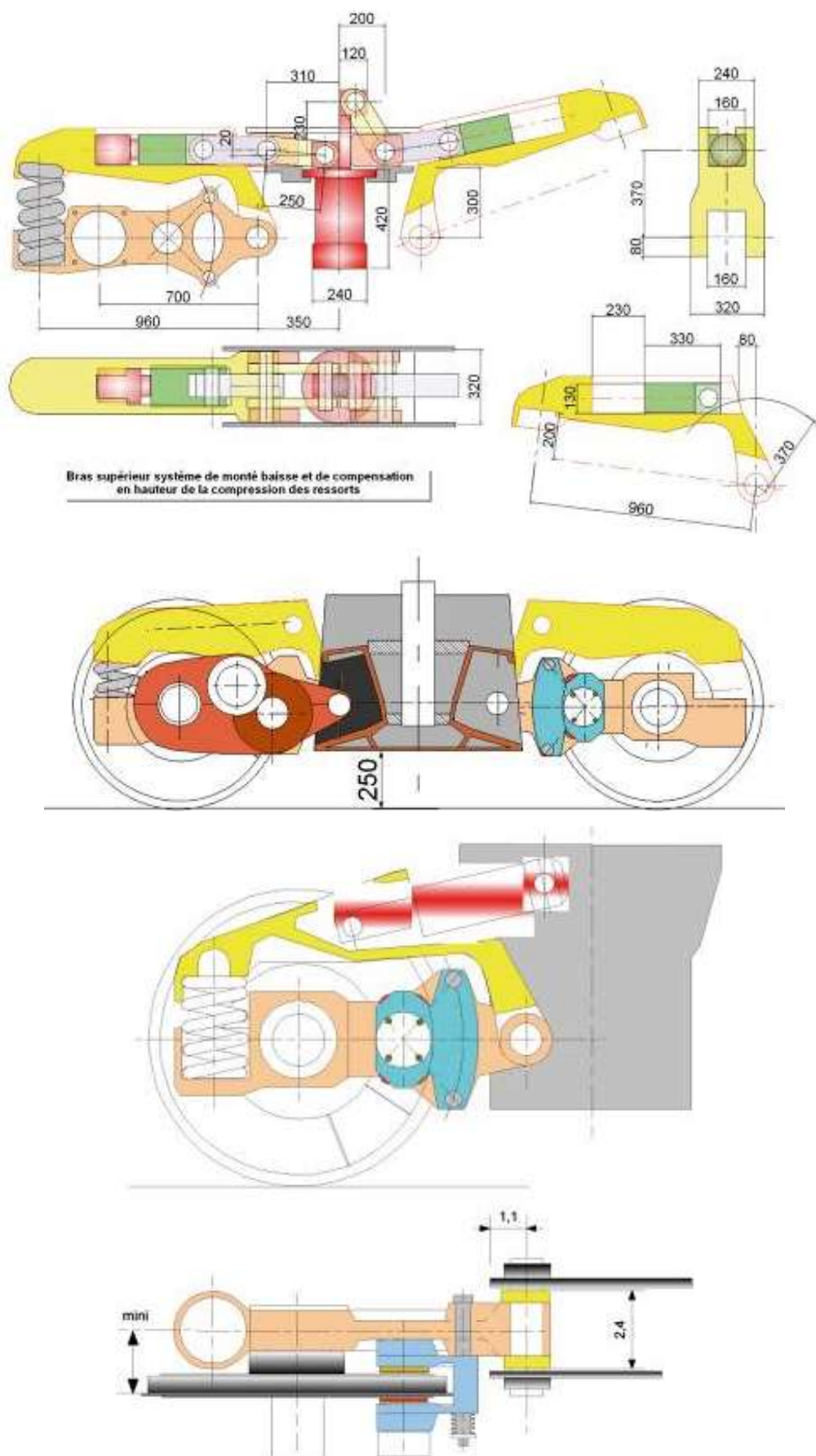


Figure 7 : schémas des composants des bogies

2.1.2.3 Équipements de manutention

La manutention s'organise principalement autour de deux types d'équipements :

- Le porte-praticable, fourche à trois palettes constituées d'un cadre métallique de faible épaisseur sans rigidité propre dans lequel sont incorporés les éléments porteurs de type coussin d'air ;



Figure 8 : porte-praticable

- L'automanipulateur, engin de faible puissance de forte adhérence, prend en charge les porte-praticables afin de déplacer les praticables ; il est muni d'un compresseur et d'électrovannes et peut être piloté (semi-) automatiquement ou manuellement selon les configurations et les flux à traiter.



Figure 9 : auto-manipulateur

2.2 INTEGRATION AUX ORGANISATIONS LOGISTIQUES ET AUX TERRITOIRES

2.2.1 MODELE DE TRACE ET ESTIMATIONS DE TRAFIC

La première étape de l'analyse est la prise en compte d'un cadre d'étude des capacités d'intégration au sein des chaînes logistiques (évolutions des organisations logistiques) et par rapport à la territorialité du marché (étude des trafics, spatialisation des gares).

L'étude AxeFret dont le modèle sert de référence à la simulation a été construite en considérant les données des travaux du projet RAPL (LIVIC, INRETS, LCPC) concernant la route automatique poids lourds.

L'étude considère un axe nord sud traversant la France, présentant un trafic important et dont les estimations sont connues. La logique d'exploitation de l'autoroute automatique poids lourds a conduit à définir un cahier des charges rigoureusement transposable à l'étude d'un axe ferroviaire, et aboutissant in fine à un nombre réduit de points d'entrée sur l'infrastructure, mais suffisant pour assurer un bon niveau d'accessibilité des territoires traversés. La même logique peut être retenue pour le rail, dès lors que l'exploitation repose sur la formation de trains. En revanche, le recours à une technologie de wagons automoteurs peut permettre une approche différente, reposant sur un grand nombre de points d'échanges (gares, mais aussi sites industriels, logistiques...).

La carte ci-dessous, tirée du rapport RAPL donne le tracé étudié et les points d'entrée sur le réseau. Plus le tracé est proche des grandes et moyennes agglomérations, plus le nombre d'entrées/sorties est important. Chaque entrée/sortie doit être adaptée au scénario de circulation et au débit en chaque point. Le nombre d'échangeurs est de 8, soit 6 échangeurs situés sur le parcours de l'autoroute. Ils permettent un accès commode au réseau autoroutier préexistant.



Figure 10 : tracé de la route automatique pour poids lourds (projet RAPL)

Sur la base de ce tracé, l'étude AxeFret a permis d'établir un potentiel approximatif d'unités de transport chargées et déchargées par points d'échanges, ramené en EPL (Equivalent Poids Lourd), en distinguant les transports montants (sud-nord) et descendants.

Les données de base font apparaître des déséquilibres entre trafics montants et descendants, bien entendu inexistant en pratique, à quelques triangulaires près. Il a donc fallu redresser les données de manière à présenter un tableau cohérent. Diverses méthodes sont possibles. La plus simple consiste à considérer que le sens le plus chargé génère nécessairement un flux opposé équivalent, et que les entrées sont nécessairement égales aux sorties. Le trafic est ainsi équilibré mais n'est pas identique pour tous les points d'échanges. Le tableau ci-dessous présente les résultats du calcul. La base de trafic retenue est celle qui a été utilisée pour le projet AxeFret ; elle résulte des estimations de trafic potentiel captable du projet RAPL, soit 50% du marché. Afin de garder une cohérence globale entre les travaux RAPL, AxeFret, OTRE et AxeFret RSR, cette base est identique pour les différentes modélisations.

Gare ou échangeur	Entrée Montante	Entrée Descendante	Sortie Montante	Sortie Descendante	Manutentions Montantes	Manutentions descendantes
Nord	0	1 745	1 245	0	1 245	1 874
Picardie	718	373	925	214	1 661	597
Ouest Idf	731	503	1 050	492	1 799	1 008
Sud Idf	356	309	150	264	515	581
Poitou	106	115	205	606	314	725
Bordeaux	287	575	45	400	339	989
Sud	1 421	0	0	1 644	1 546	1 646
Total	3 620	3 620	3 620	3 620	7 420	7 420

Tableau 1 : transports (UTI/jour) correspondant à 50 % de part de marché

Plusieurs contraintes sont par ailleurs à prendre en compte en termes de :

- Coût : maintenir le même niveau de prix porte à porte.
- Capacité et fréquence : disposer d'une capacité de transport permettant d'absorber la demande, tout en conservant une grande flexibilité horaire.
- Vitesse commerciale : effectuer le parcours porte à porte dans un délai inférieur ou égal au délai de transport actuel.
- Fiabilité et qualité : assurer un service avec un taux de fiabilité de 95 à 99 %, sans perte ni incident.
- Simplicité et réversibilité : disposer d'un service simple d'accès, et permettant au client de revenir à son organisation préalable à un coût modéré.

2.2.2 MODE DE DEPLOIEMENT

Les conclusions de l'étude AxeFret et du projet R-Shift-R aboutissent à un constat commun sur les conditions de rentabilité d'un concept de transport par le rail :

- Non embarquement du tracteur et de son chauffeur ;
- Temps d'immobilisation limité de la rame dans les gares ;
- Vitesse moyenne élevée (compétitive avec la route) ;
- Distance entre les gares permettant la desserte du territoire traversé ;
- Utilisation des infrastructures existantes possible au delà de l'axe dédié ;
- Universalité du wagon pour l'ensemble des contenants (caisses, conteneurs...) ;
- Utilisation massive des moyens mis en œuvre (rotation du matériel élevée) ;
- Fiabilité des services.

En revanche, les recommandations relatives au déploiement du concept divergent :

- AxeFret recommande :
 - Une utilisation massive sur une voie dédiée
 - Une adaptation du rythme des convois au rythme de l'activité des utilisateurs
 - La séparation des flux entrants et sortants ;
- Sans pour autant rejeter l'idée d'une voie dédiée, le concept R-shift-R cible une utilisation dense, diffuse et cadencée sur de larges territoires, en s'appuyant sur le réseau existant, suivant un mode qui s'apparenterait au TER des voyageurs.

Voie dédiée

Il semble que la vocation d'une voie dédiée, tenant compte des moyens financiers conséquents à mobiliser, se doit d'être considérée comme peut l'être une autoroute : un lieu de convergence de flux diffus. Il semble également nécessaire de prendre en considération la mise en place d'une opposition contre la réalisation d'infrastructures nouvelles et cela sur l'ensemble de l'Europe. La chartre d'Hendaye que tentent de promouvoir ces organisations auprès de la communauté européenne contre les LGV et ligne fret à grande vitesse en est la démonstration. Il convient donc de prendre en considération cette opposition. Il reste alors à trouver, les sillons disponibles sur le réseau RFF. Mais qui dit convergence de flux peut / doit vouloir dire :

- Interchangeabilité des contenants d'une rame à l'autre ;
- Reconfigurabilité des rames donc universalité des moyens roulants, quelque soit le réseau. Cette universalité englobe les gares avec leurs moyens de transferts et les wagons qui acceptent le plus large spectre des contenants qui utilisent la route.

Par ailleurs, la voie dédiée sous-entend son amortissement par / pour un seul emploi. Le fait de penser en termes d'infrastructure dédiée doit probablement présenter (pour les mêmes usures / maintenances) des coûts d'entretien très inférieurs dans la mesure où le trafic se poursuit et que sa maintenance se fait de jour. Les gains qui seraient ainsi obtenus compenseraient, pour partie, le surcoût de l'investissement.

Fréquence et cadencement liés à la demande

Ce second point de la proposition AxeFret renvoie au mode d'exploitation. Les modèles mathématiques « STEF » développés pour élaborer une stratégie de ferroutage montrent que l'exploitation des systèmes utilisés ou expérimentés à ce jour ne peuvent que perdre de l'argent ; mais STEF confirme surtout que cette situation financière se détériorera au fur et à mesure de la montée en puissance de leur utilisation.

Plusieurs facteurs doivent être considérés :

- L'équilibre quantitatif et temporaire des flux routiers captables (qu'ils soient montants ou descendants) n'est jamais obtenu, sauf à limiter la capacité de la ligne au niveau du sens le moins chargé ;
- Le retour à vide d'un nombre considérable de rame dans le cas où le transport serait lié à un cadencement irrégulier, cela pour être en mesure d'assurer le même service (aux mêmes heures) le lendemain ou dans un temps qui correspondrait au double du temps de déplacement entre deux centres d'extrémités ;
- La multiplication des quais pour satisfaire une demande horaire ponctuelle ;
- La gestion des personnels qui devient aléatoire et contraignante ;
- L'incapacité du réseau routier à répondre à la potentialité de l'offre ferroviaire dans la zone d'approche des gares.

Séparation des flux entrants et sortants

La présence sur le wagon d'un praticable et de systèmes automatiques en gare (automanipulateur et porte-praticable qui assure le transfert du contenant entre la zone d'embarquement/débarquement et la zone de chargement/déchargement) induisent la nécessité d'augmenter les équipements en gare et le nombre de praticables, et de mettre en œuvre un système automatisé pour recycler les praticables du côté arrivée vers le côté départ.

Conclusions

Les premières conclusions pourraient se traduire à dire :

- Oui, à :
 - Une ligne dédiée dans la mesure où elle concentre les flux ;
 - La massification des trafics, en les étalant sur la journée et en diluant sur le territoire les points d'embarquement/débarquement pour rendre le ferroutage utile et acceptable pour les populations ;
- Non, à :
 - Une fréquence et un cadencement liés à la demande ;
 - La séparation des flux entrants et sortants.

2.2.3 MISE EN SERVICE DE LIAISONS CADENCEES

Le constat suivant peut être dressé :

- La vie sociale et économique d'un état, d'une région voire d'un département s'organise autour des lieux de production, distribution et consommation que sont les agglomérations.
- La majorité des flux de marchandises se fait en inter cité : le déplacement se fait entre deux cités, voisines ou séparées par un ou plusieurs lieux de vie.
- L'organisation de la collecte (notamment la gestion des multiples types de conditionnement) et la répartition des marchandises autour/dans de ces lieux de vie devront être optimisées.

Dès lors la manière la plus efficace pour transférer les camions de la route vers le rail est d'implanter les centres de transbordement en zone (péri)urbaine, au plus près des agglomérations pour augmenter l'efficacité des centres de regroupage/dégroupage. Le rapprochement et la multiplication des gares ont également pour avantage de ne pas concentrer les flux routiers sur des points d'embarquement / débarquement qui globalisent les nuisances donc provoquent le rejet, par les populations avoisinantes, de toute évolution des moyens ferroviaires. La prise en compte des processus portuaires ne change pas les conditions de fonctionnement du ferroutage.

Par ailleurs, les moyens ferroviaires (wagon, gare...) doivent être universels pour permettre de traiter tous les types de contenants et de circuler sur les différents réseaux en Europe.

Cependant l'implantation de ces centres doit répondre à des critères bien précis pour parfaitement remplir leur rôle. Une vision globale et pérenne du ferroutage impose que la mise en place des moyens nécessaires se fasse pour partie en se reposant sur le réseau existant, logique qu'impose l'implantation des gares en milieu urbain/périurbain ; comme pour le TGV.

Il faudra pendre en compte l'argumentation qui se développe sur la saturation des contournements ferroviaires des villes – saturation résultant soit d'utilisations parasites comme le wagon isolé, soit d'une mauvaise organisation ou encore d'un manque réel de capacité. Dans un certain nombre de cas cette perception semble également commandée par des problèmes de sécurité.

La solution de mettre en place un fonctionnement du type TER implique que la technologie retenue pour le matériel roulant soit compatible sur le plan des performances dynamiques avec celles des rames de voyageurs (au moins du type Corail) puisque qu'ils cohabiteraient et utiliseraient les mêmes infrastructures. L'évolution de RFF et de la SNCF sur le fonctionnement des réseaux « avec la mise en place progressive du cadencement » doit faciliter l'introduction des convois de fret dans la mesure où là encore les caractéristiques dynamiques des rames seront compatibles. Ainsi la mise en œuvre d'un ferroutage massif pourrait nécessiter :

- L'utilisation intensive des réseaux existants avec des points d'échanges route/rail situés au plus près des agglomérations ; ils sont implantés de façon à répondre aux besoins locaux de capacité, et s'appuie en milieu urbain sur le réseau tram, tram/train et des voies routières dédiées.
- La mise en place d'une ligne dédiée judicieusement implantée sur le territoire ; cette ligne assure la convergence et la répartition des grands flux nationaux et internationaux.

Ces deux réseaux s'interconnectent aux points d'intersection des voies sans nécessairement être le théâtre d'échanges route-rail mais simplement rail-rail. Les figures suivantes décrivent schématiquement l'organisation possible du réseau et d'un pôle d'échange urbain.

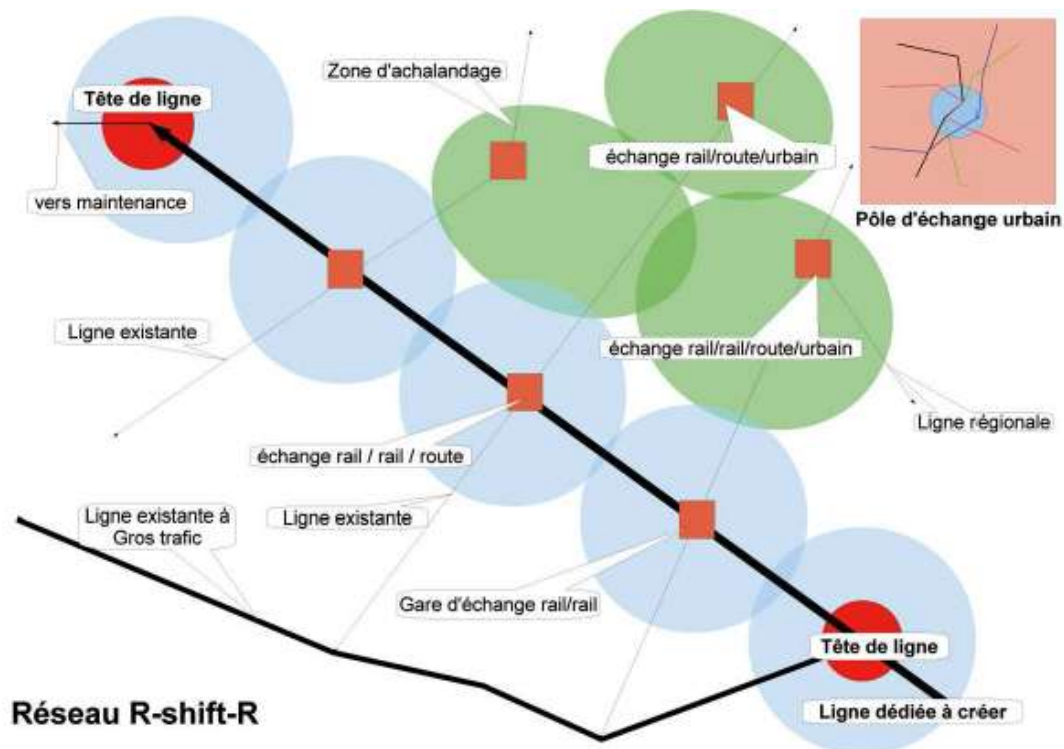


Figure 11 : organisation générale d'un réseau

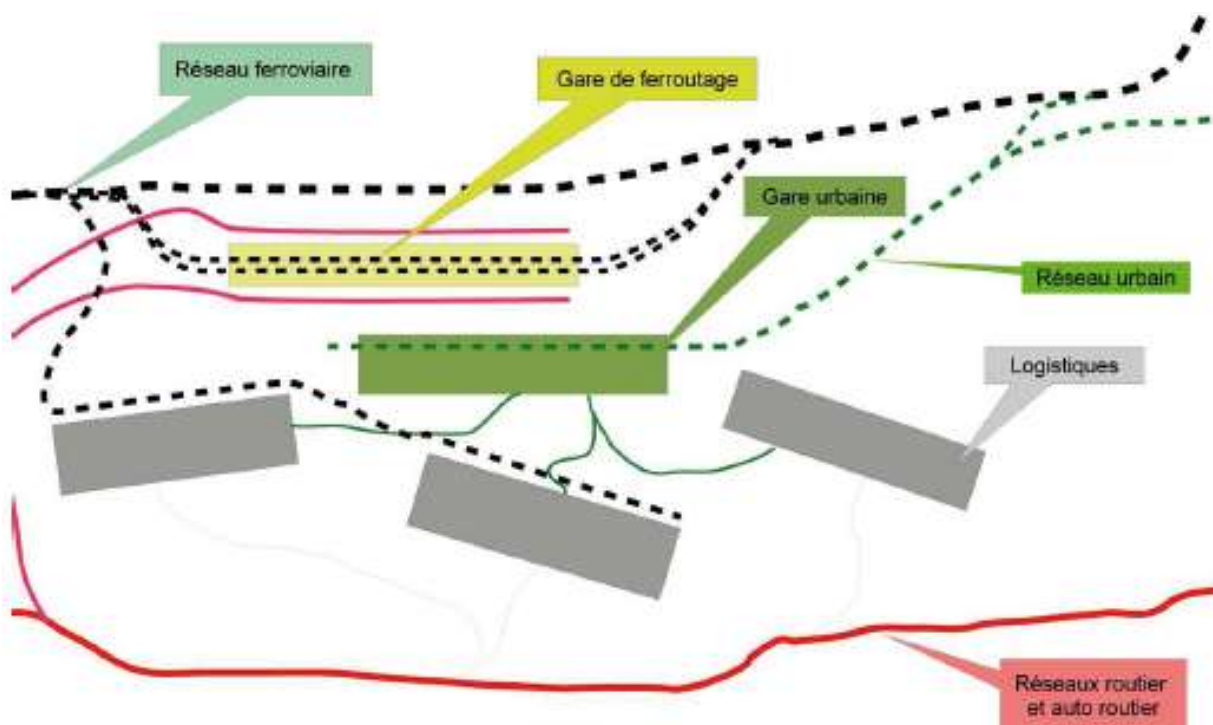


Figure 12 : organisation d'une zone urbaine logistique

2.3 GESTION DES FLUX

2.3.1 INTERMODALITE

La mise en place et le fonctionnement d'un réseau de ferroutage s'organisent autour de la ligne dédiée centre Europe qui se ramifie sur le réseau existant en une chaîne express de ferroutage. Ce réseau englobera progressivement l'ensemble des villes du territoire français puis Européen.

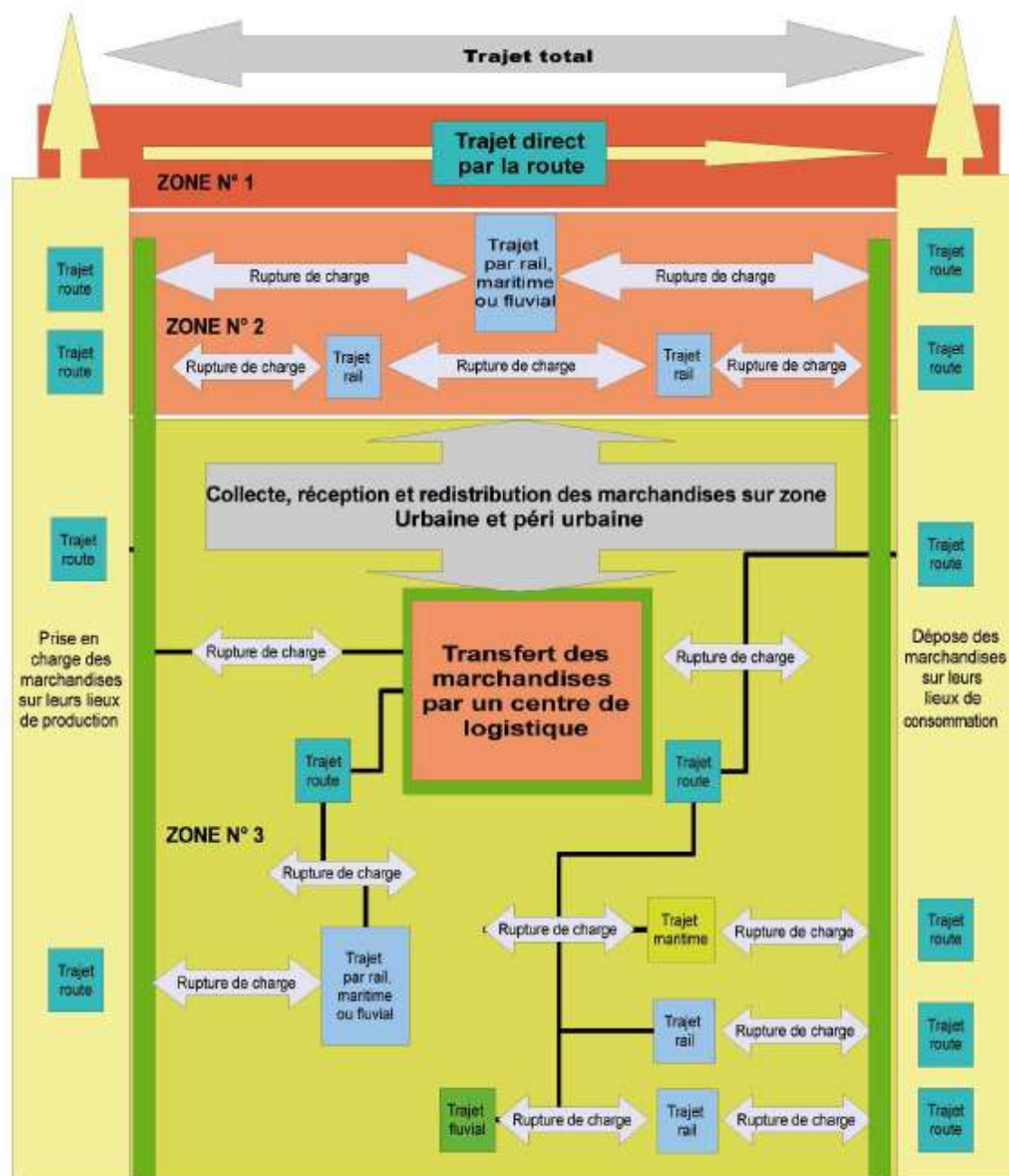


Figure 13 : organisation générale de l'intermodalité

Hormis quelques rares exceptions, les marchandises qui quittent / rejoignent leur lieu de transformation, de consommation, de distribution et / ou de stockage... pour un embarquement / débarquement sur mode de déplacement autre que la route le font à chaque extrémité par un

moyen routier. Ce passage par la route varie de quelques centaines de mètres (les ports, usines... entre autres) à plusieurs centaines de kilomètres.

La symbolisation (zone n°1) qui démontre la simplicité de la solution routière impose a contrario la présence du chauffeur et de son tracteur pendant toute la durée de l'action. C'est à ce schéma que doit se substituer le ferroutage ou plus largement l'intermodalité.

Pour le même déplacement, la zone n°2 entend se substituer à la première mais en réalisant la partie centrale de son voyage par un autre moyen que la route. Des « points de rupture modale » vont dès lors apparaître, ces ruptures de charge induisant des coûts liés à la multi modalité.

La zone n°3 centralise et s'organise autour de la logistique, avec pour objectif d'introduire de la valeur ajoutée, de gérer et d'organiser des flux dans le cadre plus global d'une chaîne de production. Cela revient à dire que le problème de l'intermodalité ne sera résolu qu'après avoir apporté des solutions viables aux difficultés qu'engendrent ces ruptures de charges. Sans être secondaire, le concept du wagon se relativise. Quatre leviers sont envisagés pour traiter ces difficultés :

- L'organisation de la collecte et de la livraison des remorques en gares ;
- L'automatisation des opérations de (dé)chargement ;
- Une conception revue des remorques porte-conteneur ;
- L'évolution du fonctionnement des gares et des ports.

Les divers cheminements affichés dans le synoptique de cette zone ne représentent qu'une partie des possibilités qu'offre la multi-modalité et confirment le rôle central de la logistique dans la collecte, la réception et la distribution des marchandises en et entre zones urbaines et périurbaines. Les conclusions suivantes peuvent ainsi être données :

- L'embarquement du chauffeur et de son tracteur enlève tout intérêt au ferroutage ;
- Les ruptures de charge qui surviennent en cascade, provoquent des coûts induits ;
- Les coûts additionnels ne devront jamais être supérieurs au gain que représente l'absence du chauffeur et de son tracteur pendant la plus grande partie du déplacement, cela en supposant que le prix du km parcouru soit sensiblement équivalent entre modes ;
- La réduction des temps et des distances d'utilisation de la route sont une nécessité.

2.3.2 VOLUME DES CONDITIONNEMENTS

L'étude du coût à la tonne-km à l'aide de STEF définit comme facteur principal les caractéristiques dimensionnelles des contenants. Le dimensionnement (m^3) se rapporte toujours à un contenant acceptable par un wagon. Le tableau suivant montre que le train routier avec ses 22 mètres de longueur utile est moins productif en terme de ferroutage que l'ensemble des autres conditionnements, car il impose pour chaque ensemble l'utilisation de deux wagons.

Conditionnement	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume (m3)
conteneur 20'	5,935	2,34	2,34	32
conteneur 40'	12,056	2,340	2,683	75,7
caisse europ. 45 '	13,582	2,347	2,690	85,7
remorque 13,6 m	13,600	2,500	2,900	98,6
train routier	22,000	2,500	2,550	70,13

Tableau 2 : Capacité volumétrique des différents contenants actuellement en service

La figure suivante donne le gabarit GB1+ avec l'inclusion d'une remorque sur le wagon R-shift-R.

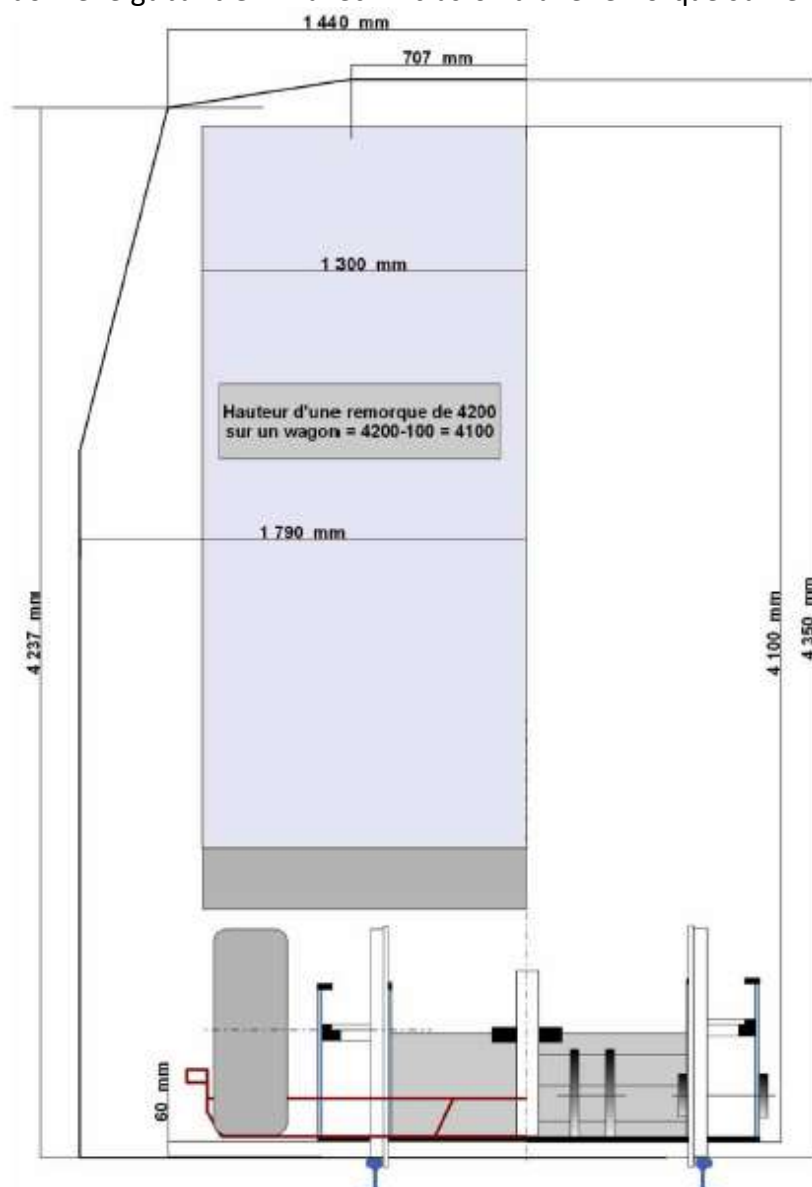


Figure 14 : gabarit des tunnels GB1+

L'approche globale R-shift-R considère :

- Qu'il n'y aura pas de développement possible du ferroutage en dehors d'une utilisation massive des réseaux ferroviaires existants ;
- Que le gabarit ferroviaire doit permettre l'interopérabilité et la compatibilité avec le mode routier ;
- Que les wagons, comme les remorques routières, doivent accepter la synthèse des contraintes dimensionnelles qu'impose la prise en compte de l'ensemble des contenants ;
- Que l'objectif est de limiter au maximum l'usage du mode routier.

En considérant que le problème majeur du trafic ferroviaire est et restera la disponibilité des sillons, l'évolution dimensionnelle des contenants représente un enjeu majeur. R-shift-R permet une charge de 44 tonnes, une longueur de 13,6 mètres ou 45 pieds (13,715 mètres), une largeur de 2,6 mètres et une hauteur de remorque de 4,2 mètres.

Il faut veiller à favoriser la compatibilité entre modes de déplacements et types de conditionnements et prendre en compte les limites d'évolutions dimensionnelles possibles :

Mode rail pour conteneur

La remorque porte conteneur aura une hauteur de plateau de dépose situé à 1150 mm du sol. Cette valeur est imposée par l'empilage en gare du praticable sur son porte-praticable et les différentes contraintes qu'imposent les équipements. Elle permet le transfert en automatique du conteneur de la remorque vers le praticable et inversement. L'utilisation du monte-et-baisse dans les passages contraints fait passer cette valeur à 960 mm ce qui laisse en théorie au conteneur une hauteur extérieure utilisable dans le gabarit GB1+ de $4237 - 960 = 3277$ mm.

Mode route pour conteneur

La remorque porte conteneur a comme précédemment une hauteur du plan de dépose située 1150 mm du sol ce qui laisse pour le conteneur un espace de $4200 - 1150 = 3050$ mm.

Mode rail pour remorque

Dans ce cas, la remorque est mise en place par roulage sur son praticable qui a lui une épaisseur d'environ 30 à 40 mm. On sait que l'espace disponible fait toujours une hauteur de 4237 mm. Dans cette configuration, l'ensemble constitué du wagon du praticable et de la remorque fait une hauteur au dessus du rail de $4200 - 100 + 30/40 + 250 = 4390$ mm pour circuler sur l'ensemble du réseau et de $4390 - 190 = 4200$ mm pour circuler dans les passages contraints.

Dans le calcul, la valeur de 250 représente la garde aux rails en position normale de roulage, 190 la valeur de descente du wagon pour utiliser les zones contraintes, 100 la valeur de dégonflage de la suspension. On confirme que le gabarit GB+ reste compatible avec une remorque de 4,2 m.

Il reste à déterminer la hauteur disponible entre le niveau de la balancelle (sur laquelle le point d'attache de la remorque repose) et les hauteurs de (4390 ou 4200) de l'équipage (wagon plus remorque) cela dans leurs deux configurations de roulage ; valeur qui ne change pas, quel que soit le lieu de circulation. Le plan de l'attache de la remorque se trouve comme précédemment à la hauteur de 1040 mm ramenée à 940 mm (par dégonflage de la suspension) du rail en position de roulage basse. Cette valeur de 100 mm se trouve annulée par la garde au rail plus l'épaisseur du plancher du wagon ; cela donne une valeur extérieure utilisable pour la caisse plus la partie du châssis située au point d'attache de la cheville ouvrière de la remorque de : $4390 - 190 - 1040 = 3160$ mm.

Mode route pour remorque

Dans ce cas, la remorque est soumise aux mêmes contraintes de construction que la remorque porte-conteneur. Le plan de la sellette se trouve comme précédemment à la hauteur de 1040 mm ; cela donne une valeur utilisable extérieure pour la remorque de $4200 - 1040 = 3160$ mm. Cependant, il faut construire un châssis beaucoup plus conséquent que celui d'une remorque porte-conteneur dans la mesure où les contraintes de la charge sont supportées par ce châssis.

En conclusion, le ferroutage (tenant compte des faibles déplacements routiers qui découlent de la mise en place d'un service de ferroutage) doit donc :

- Favoriser la mise en œuvre des remorques à petites roues (pneumatiques de 215-75 / R17, 5) et la standardisation des hauteurs de sellette à 1040 mm ;
- Favoriser la réalisation des remorques dont le plancher se situerait à 1150mm de hauteur ;
- Laisser aux contenants une hauteur commune au dessus de ce plancher de 3000 mm.

A terme un ferroutage optimisé conduira à utiliser (en France, ce qu'il s'agira d'étendre au territoire européen) :

- Des remorques de 3m de haut, 13,6m de long et 2,6m de large soit un volume extérieur de 106 m^3 ;
- Des conteneurs de 3,2m de haut, 13,716m de long et 2,6m de large, soit. un volume extérieur de 114 m^3 (sensiblement le même volume utile que la remorque compte tenu de l'épaisseur de parois).

Par ailleurs, la possibilité de gerber les conteneurs induit des contraintes sur le mode ferroviaire :

- Une capacité limitée des rames ;
- Un coût de réalisation élevé de nouveaux ouvrages ou de modification de l'existant ;
- La perte de l'universalité du wagon et de rendement pour les remorques ;
- De faibles performances au niveau du transfert des conteneurs en gare ;
- La perte d'intérêt pour une remorque porte-conteneur autonome (avec moyen de levage) ;
- Des conditions économiques non viables pour l'automatisation dans les ports.

Le gabarit GB1+ pourrait devenir sur le long terme le gabarit commun à la route et au rail. De plus une hauteur disponible de 3 mètres pour tous les conditionnements quelque soit le mode de transport semble possible.

Le concept R-shift-R semble dès lors pertinent, de par sa conception (wagon court) et la globalité de son offre (tout contenant, territoire, vitesse...). Issu du précédent projet R-shift-R, le tableau ci-dessous compare la capacité théorique de différentes approches, tout type de contenants confondus en rapport au nombre de wagons par rame.

Type de contenant	2 20'	1 40'	1 45'	SR 13,6	Train routier	Gerbage	Maxi 45'	Maxi 40'	Maxi SR	Nombre de wagons par rame
Volume (m^3)	66	75,8	85,7	98,6	70,13	171,5	95,6	84,6	102,0	
	3036	3487	3942	4536	3226		4399	3893	4692	46
	2904	3335	3771	4338	3086		4208	3724	4488	44
	2508	2880	3257	3747	2665		3634	3216	3876	38

	1716	1971	2228	2564	1823	4459	2486	2200	2652	26
	3300	3790	4285	4930	3506		4782	4232	5100	50

Tableau 3 : capacité des rames suivant le nombre de wagons et le type de contenant

2.4 ÉLEMENTS DE STRUCTURE

2.4.1 WAGONS

Les conclusions du chapitre précédent amènent à reconsidérer certains points de la construction du wagon, sans que cela ne remette en cause l'architecture du concept. Il serait possible de réaliser des wagons de 14,150 mètres au lieu de 15,750 mètres.

Dans cette configuration le wagon comme les gares R-shift-R restent compatibles avec tous les types de contenants. Les praticables ont une longueur de 8 mètres au lieu de 10, le diamètre de roues des bogies reste identique à celui des rames de marchandises actuelles, la masse de chaque wagon diminue d'environ 2 tonnes. Enfin la rame se compose de 52 wagons au lieu de 46 ce qui représente un gain de capacité d'environ 13% et entre 15 et 18% sur les coûts d'exploitation. Cette longueur ne peut cependant pas être inférieure à 14,450 mètres, pour garantir la continuité entre les différentes phases du cheminement des conteneurs, notamment leur passage portuaire. La rame est dans ce cas constituée de 50 wagons.

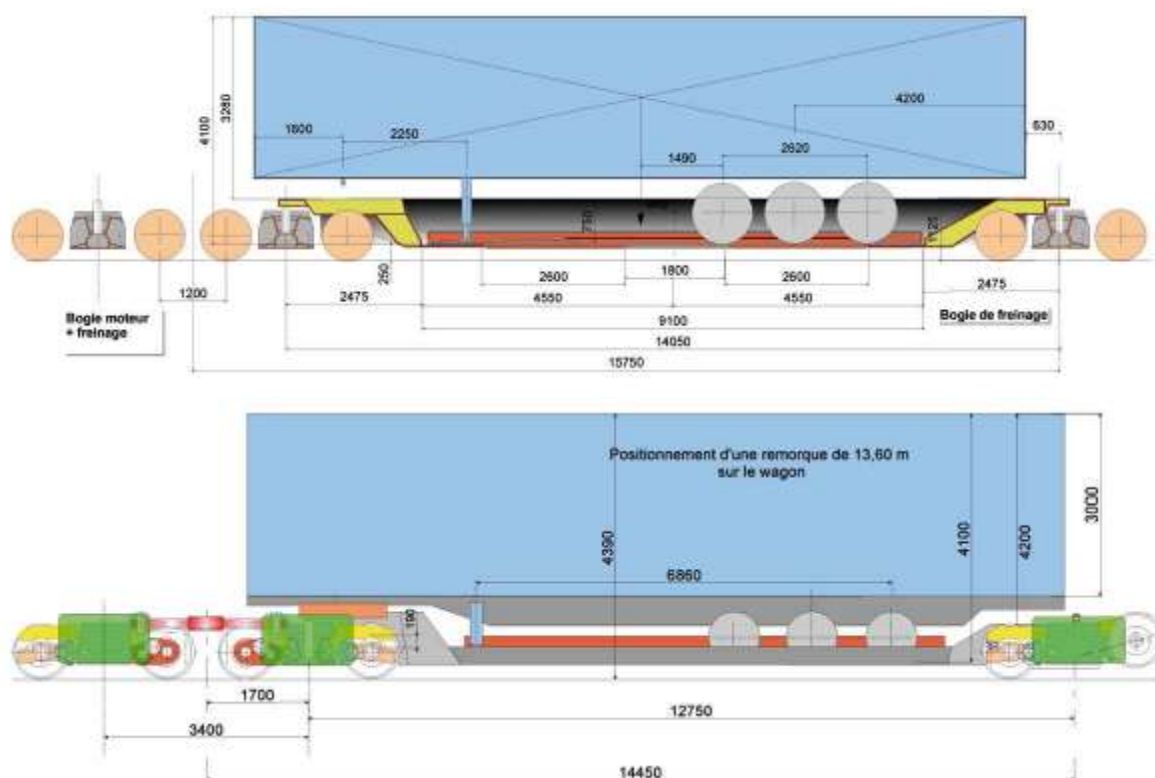


Figure 15 : profils des wagons d'origine et modifié

2.4.2 CONVOIS

Les longueurs des wagons comme celle des rames restent des éléments importants de la rentabilité d'un système de transport par le rail. Si le raisonnement de R-shift-R est basé sur des

rames d'une longueur de 750 mètres, l'utilisation des infrastructures existantes (et pour s'adapter à un besoin local de capacité) pourrait nécessiter la mise en œuvre de rames de moindre longueur.

Ces dernières viendraient (si nécessaire) se regrouper pour franchir un obstacle (tunnel, nœud ferroviaire, infrastructure saturée) ou encore pour concentrer des flux diffus de lignes secondaires en vue d'un parcours sur une ligne plus densifiée (par exemple dédiée). Dans ce cas il conviendra de pouvoir séparer / assembler les éléments dans le temps de chargement/déchargement d'un wagon, soit 15 minutes.

Une rame de 1500 mètres « hors tout » ne sera probablement jamais formée d'un seul tenant pour des contraintes d'exploitation. Pour pouvoir réaliser une rame en plusieurs éléments et rester compatible en longueur avec l'implantation au sol des équipements, il faudra peut-être accepter de légèrement dépasser la longueur de 1500 mètres (e.g. 1502,8 m). Ce principe permet de constituer des rames de 100 wagons auxquels il convient de rajouter les quatre wagons de commandes / servitudes. Elles peuvent, en revanche, être constituées pour répondre à une utilisation optimale des réseaux et aux réels besoins d'échanges d'ensembles autonomes de :

- Deux rames de 750 m ($50 \times 2 = 100$ wagons + 4 postes de pilotages = 104)
- Trois rames de 500 m ($32 \times 3 = 96$ wagons + 6 postes de pilotages = 102)
- Quatre rames de 375 m ($24 \times 4 = 96$ wagons + 8 postes de pilotages = 104)

Ces contraintes impliquent que l'élément de tête soit de la même longueur que le wagon pour rester compatible avec l'implantation des équipements des gares.

En conclusion la rentabilité du ferroutage est le résultat croisé de trois facteurs que sont : le volume du contenant, la longueur du wagon et la longueur de la rame.

2.4.3 CONCEPTION DES GARES

2.4.3.1 Généralités

Le mode de fonctionnement de la gare est directement lié au principe mis en œuvre en matière de matériels roulants. Il va de soi que la longueur des rames, leur mode d'assemblage, le principe de chargement / déchargement, la motorisation... influent sur l'implantation des équipements sur le sol des gares. Une difficulté supplémentaire est provoquée (comme nous l'avons vu pour R-shift-R) par la présence en tête de rame d'un poste de commandes ou, dans un concept conventionnel, par la présence d'un nombre variable de motrices. Si la longueur des postes de commandes n'était pas identique à celle des wagons, les zones neutralisées (par la présence des motrices) se déplaceraient en fonction de l'agencement de la rame qui se présente en bordure du quai. Les longueurs des deux éléments (les wagons et les deux postes de commandes) seront donc identiques.

L'observation de la variété des convois possibles permet de dire que :

- Les zones neutralisées imposent la mise en place en partie centrale de la gare de deux postes supplémentaires sur un total de 100 (102 ou 104). Ce complément ne concerne que les systèmes de traversée de fosse
- Dans le cas de solutions conventionnelles, où les motrices sont a priori interchangeables, variables en nombre et de longueurs indifférentes de celle des wagons, on aboutit à une impasse fonctionnelle en matière de modularité de composition des convois.

Pour intégrer ces contraintes, d'implantation longitudinale, les gares du concept R-shift-R limite le génie civil des quais à la réalisation d'un profil constant sans réservation particulière. Les équipements de transbordement des contenants peuvent s'implanter le long du quai en respectant le pas des wagons ; aucun travail de génie civil n'est nécessaire hormis le bridage (par systèmes rapides pour la maintenance) des équipements sur la dalle ou sur des profilages continus prévus à cet effet. La longueur du wagon peut être modifiée sans remettre en cause la structure du quai : il suffit de déplacer les équipements.

Nominalement un quai peut être décrit de la manière suivante :

- Il est constitué d'un ensemble de cellules de 28,9m de largeur sur 90m de profondeur capable de recevoir (alternativement, de part et d'autre de la voie) les équipements nécessaires au chargement/déchargement d'un wagon ;
- Cette surface se partage de part et d'autre de la voie ;
- Elle est parfaitement plate à l'exception des rails qui sont situés 60 mm plus bas ;
- Une réservation entre les rails est possible pour la mise en place du transbordeur central ;
- Les éléments de manutentions sont immobilisés au sol par un simple bridage.

La partie ferroviaire d'une gare (surfaces de transfert entre zones d'embarquement / débarquement et chargement / déchargement) se compose de deux rectangles de 722,5m de long et 30m de large, séparés par les rails. Elle résulte de l'assemblage connexe de cellules rectangulaires de 28,9m de large sur 30m+30m de long. Elle est ainsi formée par la répétition d'un même motif et d'un nombre de fois correspondant au niveau de trafic de la gare considérée et évolue au gré de son activité.

2.4.3.2 Zone d'embarquement/débarquement

Accolée à la partie ferroviaire la zone routière du quai permet l'embarquement/débarquement des contenants, quelque soit leur type. Un plan incliné est utilisé pour le roulage des remorques, permettant ainsi de gérer la variabilité des configurations des ensembles moyens de transport-contenants (notamment des hauteurs) et des besoins induits par la mise en place des contenants sur les praticables.

Le plan incliné sert de référence et de butée pour la mise en place du praticable et du porte-praticable par l'automanipulateur et délimite les zones de travail des deux premières parties de la gare. Ce plan incliné pourrait présenter une hauteur de 270 mm pour 2,7 mètres de long, ces valeurs restant indicatives car dépendant des dimensions exactes du praticable et du porte-praticable, qui eux dépendent de la poutre de la balancelle du wagon qui reste à calculer.

2.4.3.3 Zone de transfert automatique

Cette zone définit la surface de déplacement des porte-praticables par les auto manipulateurs. Son état de surface, son horizontalité ainsi que sa résistance à la charge sont déterminés par le cahier des charges du fournisseur des éléments porteurs à coussin d'air. La surface sera sans joint de rupture apparent entre les éléments qui la constituent. En limite gauche de cette zone, le premier transbordeur permet de faire traverser le contenant partant vers l'autre quai (rupture de plan due à la présence des rails). Les schémas suivants illustrent les éléments de cette zone pour les différents contenants.

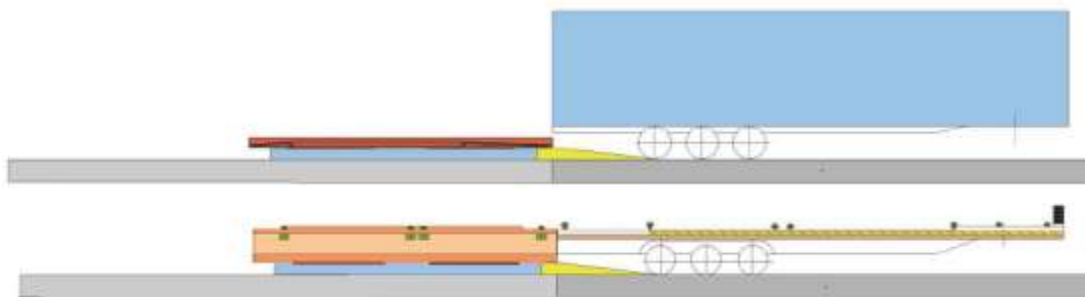


Figure 16 : position des éléments en zone d'embarquement pour une remorque (haut) et un porte-conteneur (bas)



Figure 17 : profil de la zone de transfert automatique

2.4.3.4 Zone de chargement/déchargement

La zone de chargement/déchargement incorpore le passage des rails qui constituent le niveau 0 de l'empilage. La zone de déplacement des automanipulateurs est positionnée 60 mm au dessus des rails. En partie centrale, une réservation est aménagée pour le passage des rails et un éventuel besoin de place en hauteur pour la mise en place du transbordeur central ; la profondeur, de ce dégagement, sera définie par la construction de ce transbordeur. Les transbordeurs centraux ne devront pas dépasser en hauteur le plan général de la gare soit +60mm des rails.

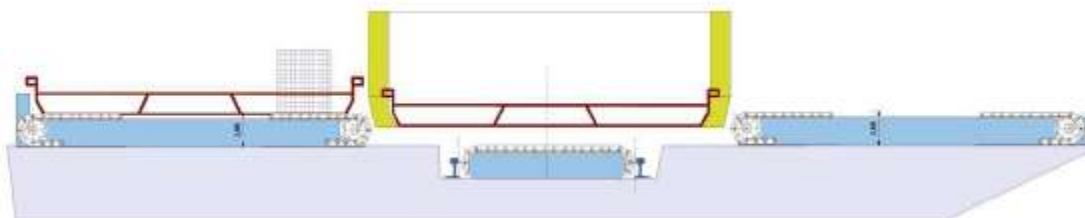


Figure 18 : profil de la zone de chargement/déchargement

Au final, le profil transversal d'un quai dans une vision d'un embarquement / débarquement routier du même côté, mais avec une utilisation alternée des deux côtés de la rame sera conforme au schéma ci-dessous, la partie gauche désert aux cellules 1, 3, 5..., la partie droite servant aux cellules 2, 4, 6, 8...



Figure 19 : profil transversal des quais

2.5 EXPLOITATION DES TERMINAUX

2.5.1 MANUTENTION DES CONTENANTS

Quatre types d'opérations devront être réalisés dans une gare intermédiaire :

- Déchargement / chargement simultané de N wagons sur des positions quelconques de la rame ; on rappelle pour mémoire que :
 - Tous les wagons déchargés doivent être rechargés même avec un praticable vide ;
 - Les contenants doivent être placés tête-bêche sur un wagon double ;
- Transfert simultané de rame à rame de N praticables ;
- Constitution/dislocation de convoi à partir de /depuis plusieurs rames,
- Séparation/assemblage d'une des rames d'un convoi pour la détacher/attacher à un autre convoi.

Une gare dispose pour remplir sa mission de deux entrées, l'une routière l'autre ferroviaire. Leur exploitation est complémentaire, indépendante et asynchrone. Le flux ferroviaire étant rigide, cadencé et prévisible (en fonction de l'activité propre de la gare et des informations reçues depuis la gare précédente), les conditions de fonctionnement sont idéales.

Pour le routier deux modes de gestion sont à envisager pour traiter les flux entrants et/ou sortants ils consistent à :

- Embarquer directement le contenant sur son praticable dès son arrivée en gare ; ce qui sera probablement la condition à rechercher pour les conteneurs puisqu'ils doivent disposer de leur remorque pour être mis en place, mais cela vaut également pour les clients qui sont passés par le réseau de réservation, ce qu'il serait souhaitable (voir nécessaire) de généraliser (à l'image du modèle à succès du TGV) ;
- Assurer un stockage temporaire des contenants entrants/sortants (remorques) pour harmoniser les débits entre des flux routiers et la fréquence ferroviaire si :
 - Des convois routiers peuvent se présenter en gare sans réservation ;
 - Le client accepte par exemple de différer son départ pendant les heures creuses des flux routiers.

Cela suppose un va et vient de moyens routiers le long du quai ferroviaire. Il faut donc mettre en place une organisation qui tend à égaliser le nombre de tracteur au nombre de wagons traités et cela rame après rame. Les schémas suivants illustrent les procédures de chargement/déchargement.

On peut aussi considérer que l'ensemble des contenants passe par la zone de stockage ce qui dissocie les deux réseaux routier et ferroviaire. Cette solution permet de ne pas faire pénétrer le chauffeur dans la zone ferroviaire. Le réseau routier se décompose dans ce cas en deux parties.

Ce mode de fonctionnement limite fortement les flux routiers en bordures des quais ferroviaire et répond aux critères essentiels pour le fonctionnement des gares à savoir « un wagon

déchargé/chargé = un camion », mais provoque, dans le cas extrême d'un passage systématique par le stockage, jusqu'à quatre ruptures de charge par wagon chargé/déchargé.

Cependant les contenants sont hétérogènes (semi-remorques, conteneurs de 20, 30 ou 40 pieds, caisses européennes de 45 pieds, caisses mobiles). Plutôt que de multiplier les procédures on recherchera les meilleurs moyens pour rendre compatible leur manipulation à l'embarquement/débarquement.

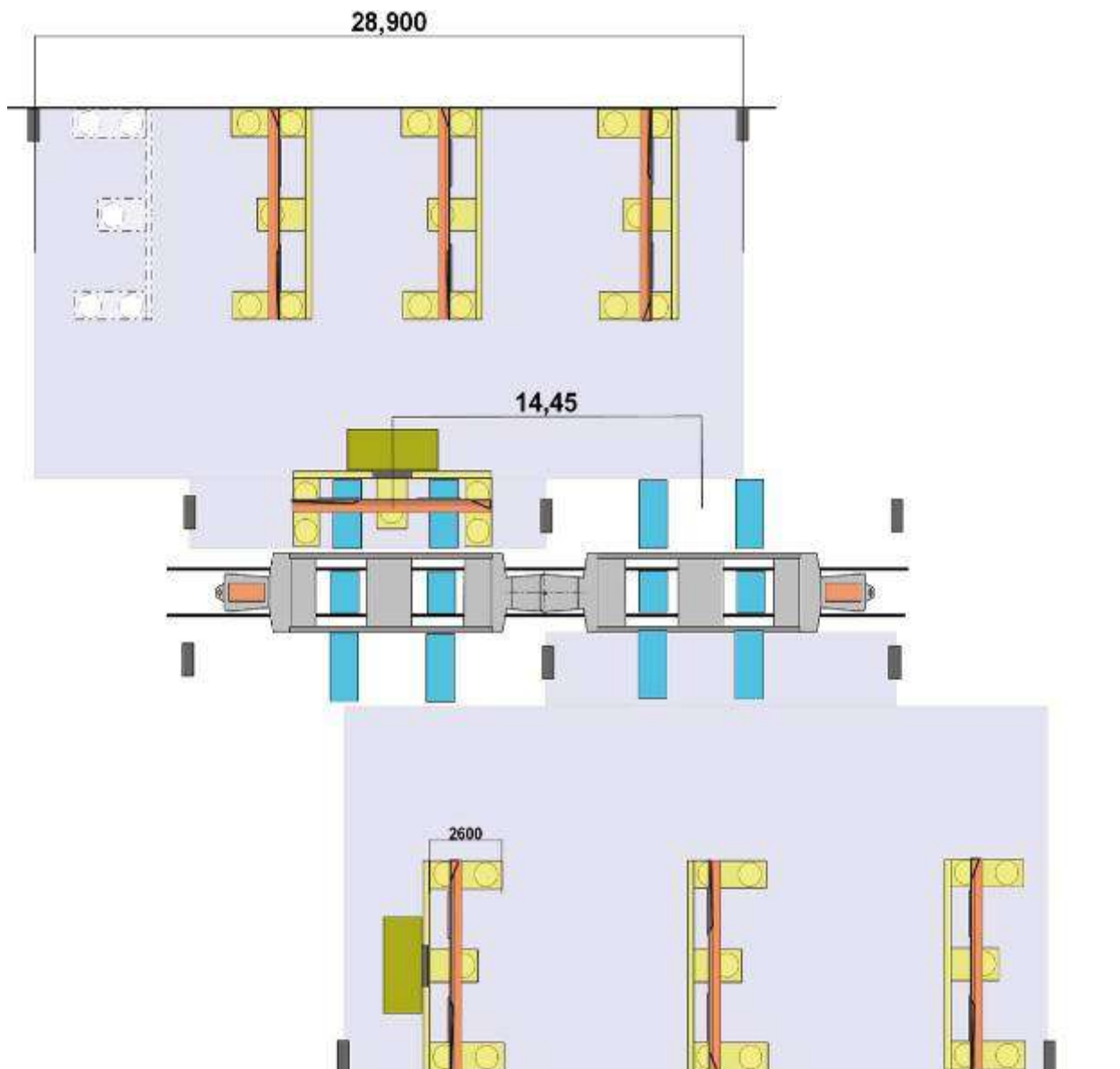


Figure 20 : implantation des cellules ferroviaires dans une gare sans quai central

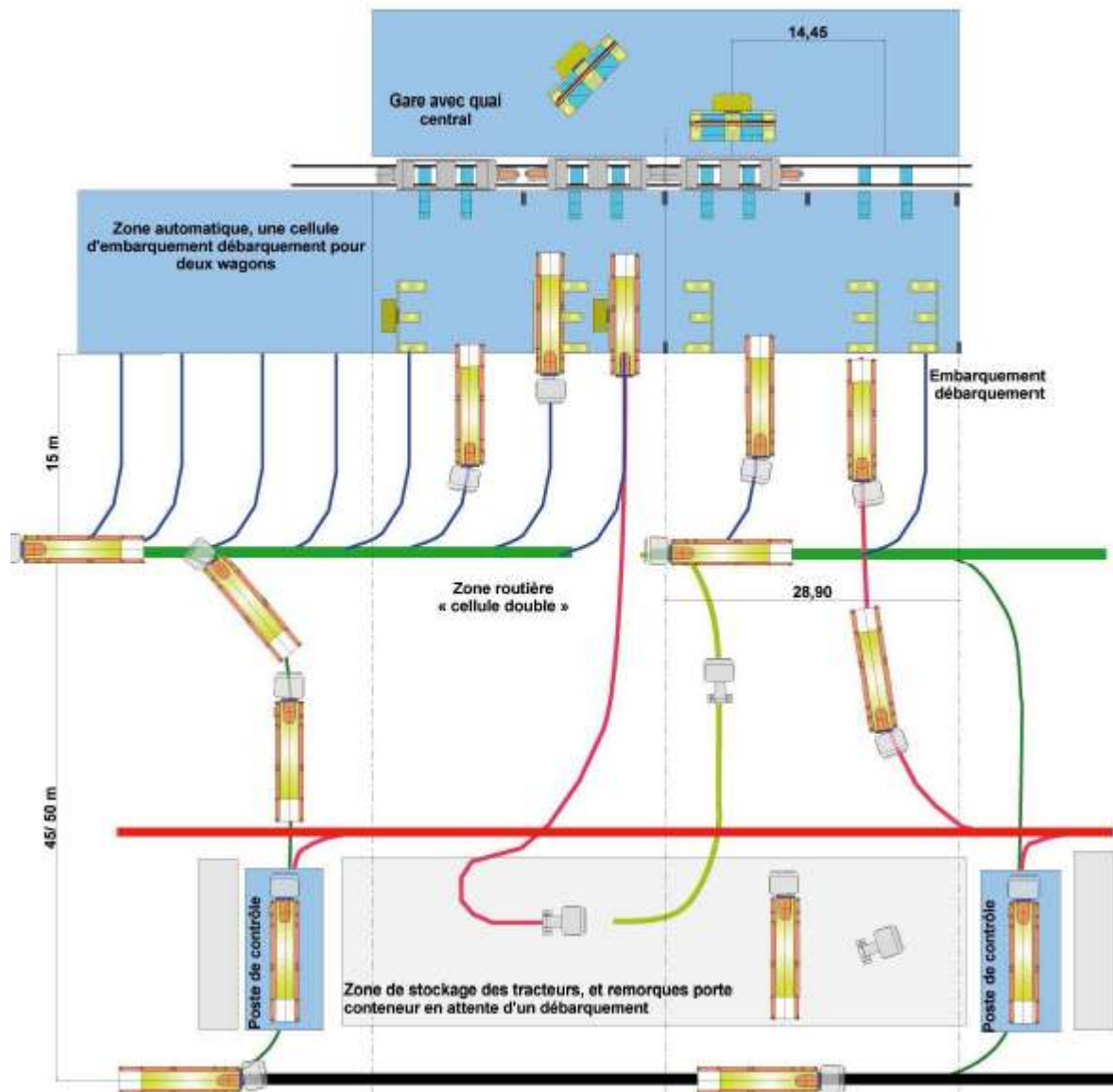


Figure 21 : implantation des cellules ferroviaires dans une gare avec quai central

Procédure à l'embarquement

Deux schémas sont possibles

1. Après avoir reçu l'autorisation de pénétrer dans la gare, le chauffeur se dirige vers la zone de contrôle. Il emprunte pour cela la ligne en noir sur le schéma précédent (accès contrôle), tracé qu'il quitte pour emprunter la ligne verte qui le conduira au travers du contrôle sur la section de ligne de retournement propre à ce poste, cela s'il a satisfait aux contraintes de contrôle. En cas de refus il rejoint la ligne de sortie (en rouge) et sort.

La position des postes de contrôles peut se situer en amont, ce qui permet une évacuation directe des contenants non conformes, sans remettre en cause le reste du cycle.

Le contrôleur lui assigne ensuite, suivant les informations dont-il dispose sur son ordinateur de gestion, la cellule et la position dans cette cellule qui lui est affectée et qui correspond à sa destination finale. Poste bien banalisé et qui se limite obligatoirement à la zone d'embarquement affectée au poste de contrôle que celui-ci soit directement dans la

zone de ferroutage ou en entrée de gare. Le préposé à l'embarquement (gare) confirme par informatique la bonne réalisation de l'embarquement, ce qui autorise l'action de l'automanipulateur (qui reçoit ses ordres de l'autorité de gestion de la gare). La ligne « accès - contrôle » est donc fractionnée en autant de tronçons qu'il y a nécessité pour faciliter l'approche par les convois du quai d'embarquement et cela quelle que soit la position des postes de contrôles. Chaque branche routière qui longe la rame n'approvisionne que 12 ou 13 wagons, dans notre représentation cette voie se divise arbitrairement en quatre branches. Cette ligne (noire) qui est représentée sur le plan d'un seul tenant peut naturellement se subdiviser en autant de branche que le poste de contrôle dessert de cellules. Depuis cette position, le chauffeur sera autorisé, sur un signal lumineux, à engager sa marche arrière sur un tracé au sol qui est matérialisé en bleu sur le plan, destination qu'il doit rejoindre pour déposer son contenant.

Suivant la fréquence des convois, chaque cellule peut dispose d'une à, raisonnablement, quatre alvéoles, qui sont elles-mêmes affectées d'une signalisation spécifique pour ne pas laisser au chauffeur le libre choix de l'alvéole, cela, dans la mesure où l'automanipulateur aura probablement déjà reçu des informations sur le programme qu'il devra réaliser et sera déjà en déplacement pour l'exécuter. A partir de là le chauffeur :

- Soit dépose sa remorque sur le praticable dans une position qui doit être précise (+/- 5cm), position que contrôlera l'ouvrier de quai avant d'autoriser le chauffeur à désolidariser son tracteur,
- Soit présente son conteneur suivant la procédure que définit le protocole du brevet (le terme de conteneur couvrant l'ensemble des conditionnements non roulant).

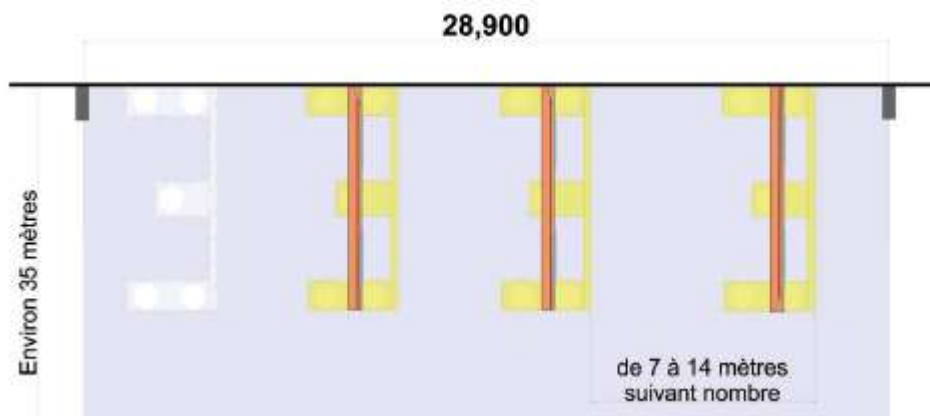


Figure 22 : alignement des praticables en bordure du quai routier face à un wagon

L'opération terminée le chauffeur rejoint la sortie (ligne en rouge), en coupant cette fois les tronçons de la ligne verte ; il laisse dans cette phase de travail la priorité au convoi qui éventuellement recule, situation qui statistiquement se produira. Il va enfin se positionner suivant les consignes particulières :

- En zone d'attente prévue entre les postes de contrôles avant de reprendre un chargement ;
- Déplacer son tracteur dans la même cellule pour prendre le contenant arrivant ;
- En zone de stockage ;
- Chez le client final pour prendre/déposer un contenant.

2. Le chauffeur pénètre dans la gare, passe au poste de contrôle et va simplement déposer son contenant dans une zone de stockage sur la position qui lui a été affectée par le contrôleur. Ce contenant sera repris ultérieurement par un moyen propre à la structure de la gare. Pour de là suivre la même procédure que précédemment.

L'opération de recul que doit réaliser le chauffeur pour assurer la dépose de son contenant peut se trouver simplifiée par la mise en place d'une caméra de recul, ce qui ne devrait pas poser de problème particulier dans la mesure où les tracteurs sont spécifiquement affectés à cette mission et que le besoin est le même aux deux extrémités de la chaîne. Si nécessaire certaines sociétés proposent des matériels bien adaptés.

Procédure au débarquement

Le responsable de la circulation ferroviaire dispose en permanence des informations d'embarquement/débarquement pour tous les convois qui ont quitté les gares situées de part et d'autre de sa position, ce qui lui permet d'anticiper la demande en véhicules pour réaliser les opérations de débarquements. Ces informations lui précisent les types de contenants à débarquer, leurs positions sur la rame et la destination finale de chacun d'entre eux. Plusieurs situations peuvent alors se présenter :

- La cellule où il vient d'embarquer un contenant devra en théorie, si la coordination des opérations est correctement réalisée, en débarquer un autre, mais comme les flux ne sont pas nécessairement équilibrés en temps, heure et jour, là encore, deux situations peuvent se présenter :
 - Le contenant est du même type : dans ce cas il convient simplement de manœuvrer le tracteur ou le porte-praticable pour le présenter face à l'alvéole de la même cellule qui va recevoir le contenant déchargé pour le débarquer ;
 - Le contenant n'est pas du même type : dans ce cas le responsable du quai fait appel à un véhicule approprié en attente dans la zone prévue à cet effet. Il dispose pour cela du temps de roulage qui le sépare des deux gares adjacentes
- La cellule n'a pas reçu de contenant à l'embarquement dans ce cas on reprend la procédure avec un praticable vide. A ce stade le choix du praticable vide peut avoir une importance pour favoriser le rééquilibrage des besoins (type de praticable) d'une gare sur l'autre.
- Les différents schémas précédents montrent comment les déplacements se font pour les opérations de (dé)chargement :
 - Les entrées sur les lignes noires,
 - Les sorties sur les tracés en rouges,
 - Les marches arrière sur les tracés en bleus,
 - Les lignes vertes supportent les deux sens de circulation.

En cas de croisement les tracteurs qui effectuent une marche arrière sont toujours prioritaires.

Si l'on reprend les plans n° 9, 10 et 11 du dossier annexe (section 1) d'une gare on observe que celle-ci dispose de 2 x 4 voies pour répartir de la circulation routière par sens ce qui implique un certain nombre de passages au-dessus des voies et l'implantation de giratoires notamment à l'intersection des points B et C. On peut observer sur les mêmes plans le niveau de saturation (en

nombre) de chaque intersection de voies. Une gare est symétrique suivant ces deux axes, axe 1 le sens, axe 2 le milieu de la rame.

Il faut savoir que le pas des praticables en attentes dans les cellules sera d'environ 8/10 mètres ce qui ne doit pas poser de problèmes de sécurité pour les personnels. On peut sans risque dire que deux opérations peuvent se faire simultanément dans la même cellule, cela est d'autant plus vrais que le quai dispose de contrôleurs dépendants de la structure gare pour assurer la sécurité. Pour mémoire le pas moyen des sas dans les centres de logistique est de 5 à 6 mètres et les chauffeurs sont laissés libres de leur manœuvre.

2.5.2 QUAIS

En fonction des besoins et de la configuration de chaque gare, il est possible de déterminer deux modes de fonctionnement pour les quais :

- Utilisation en quinconce des deux côtés de la rame, ce qui double la longueur de la cellule pour faire l'ensemble des opérations. Le quai dispose pour cela d'autant de passages de fosse que de nombres de wagons qui seront déchargés / chargés pour la gare considérée. Chaque sens ferroviaire fonctionne indépendamment l'un de l'autre, et on peut trouver des gares intermédiaires avec un quai montant et un quai descendant. Les gares d'extrémités, qui fonctionneraient suivant ce schéma pourraient se déployer autour d'un seul quai pour les deux sens de circulation ; elles disposeraient pour chaque cellule d'un équipement complet et d'un nombre de cellules correspondants au nombre des wagons qui constituent la rame.
- Chaque gare intermédiaire comporterait toujours un quai montant et un quai descendant mais disposerait cette fois d'une partie centrale commune qui lie les deux sens. Cette solution présente l'avantage de permettre le transfert de contenant de rame à rame et de recycler les contenants dans le cas d'un dysfonctionnement de l'un des quais d'une gare situé en amont. Le quai central permet de desservir les rames montantes et descendantes avec les mêmes automanipulateurs. Ce principe peut limiter l'activité d'une gare dans la mesure où l'on ne peut pas implanter plus de trois praticables face à chaque wagon. En contrepartie, on sait que l'on ne réalise pas l'ensemble des transbordements dans ces gares entre route et rail, ce qui permet d'utiliser les cellules disponibles pour de nouveau augmenter le nombre de praticables, ce qui naturellement augmente les distances de parcours des automanipulateurs.

2.5.3 GARES

En prenant en compte les descriptions des différentes zones et procédures proposées, il est possible de constituer des schémas de gares selon leur utilisation (extrémité ou intermédiaire). Au regard des schémas qui sont proposés d'autres implantations sont possibles.

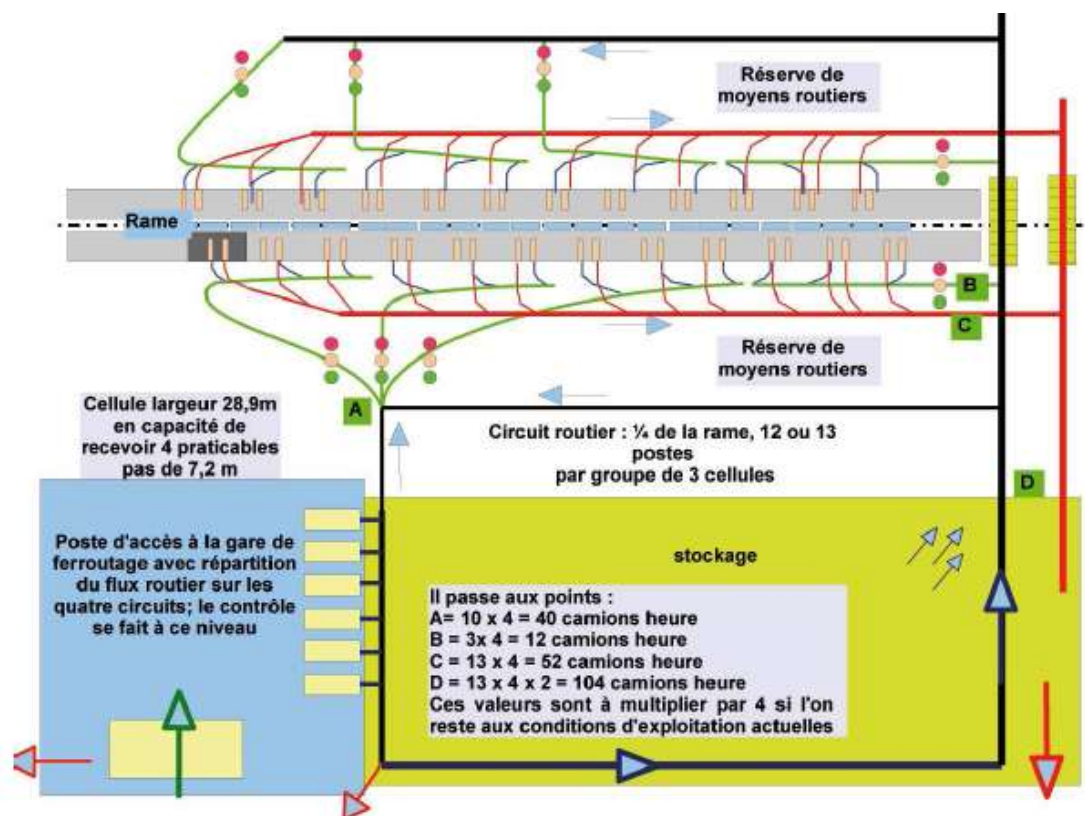


Figure 23 : quart de gare intermédiaire sans quai central ou demi-gare d'extrémité

Gare avec embarquement et débarquement du même côté, répartition des actions des deux côtés de la rame.
L'implantation des différentes fonctionnalités se fera en fonction des surfaces disponibles

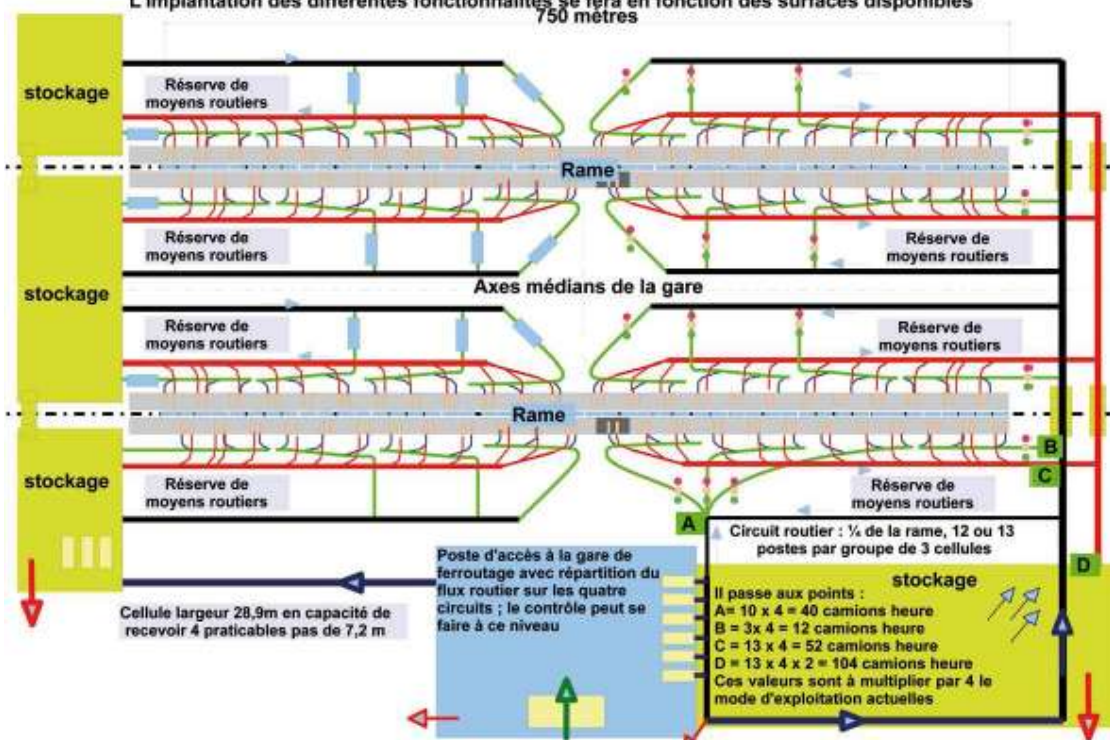


Figure 24 : gare intermédiaire sans quai central

Gare avec quai central commun aux deux sens, actions d'embarquement/débarquement d'un seul côté, approche routière par les deux extrémités de la rame

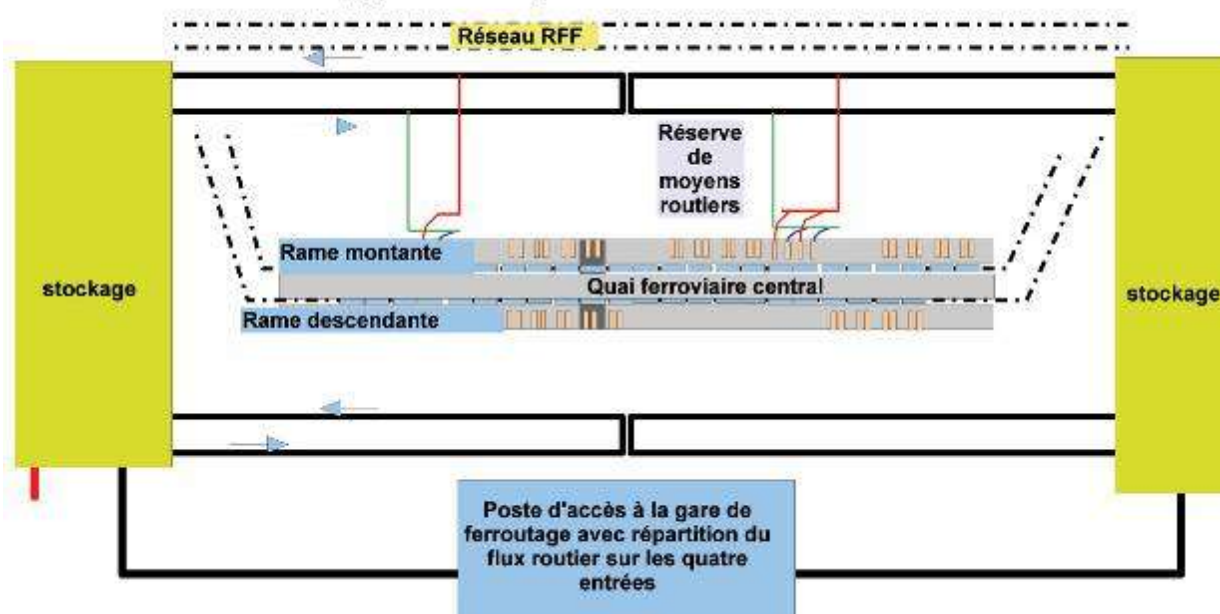


Figure 25 : gare intermédiaire avec quai central

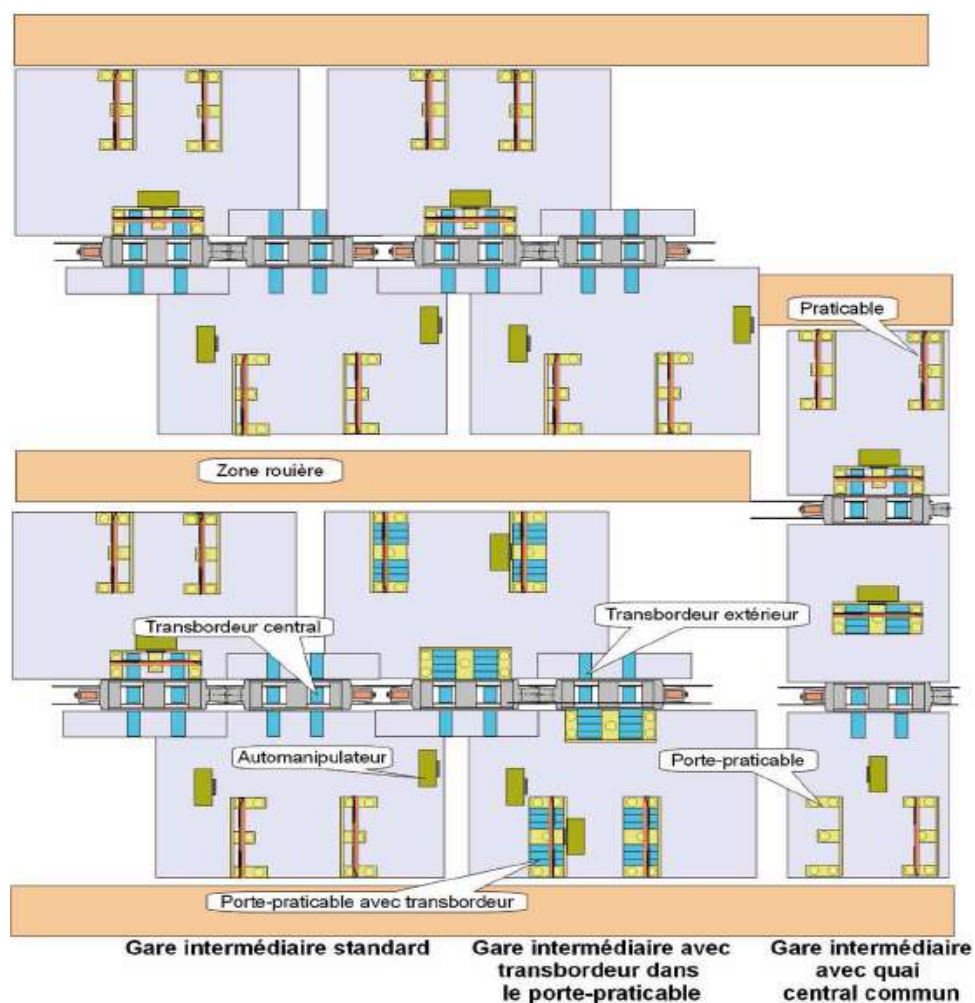


Figure 26 : équipements nécessaires suivant les modes de fonctionnement

2.6 GESTION DE L'INFORMATION

Les systèmes d'information (ferroviaire, interface chargeur, suivi, traçabilité...) sont de plus en plus répandus et utilisés afin d'augmenter l'efficacité et la sécurité du transport.

On peut citer les différents systèmes à prendre en compte et les concepts associés envisagés :

- Réservation à l'embarquement : un contenant a besoin de services extérieurs pour embarquer/débarquer/changer de train. D'une façon générale cette réservation pourra être indexée comme pour les voyageurs à une tarification horaire.
- Suivi des contenants : la connaissance du contenu n'est pas nécessaire et ne relève pas de la prestation ferroviaire, par contre un suivi en temps réel du train ou d'un wagon grâce à l'utilisation de puces RFID et de moyens de géo localisation (GPS, Galileo) apportera des informations utiles pour l'exploitation et pour communiquer avec les clients.
- Transmission des données gare à gare : le nombre de convois à gérer entre/par gare est fonction de la distance entre gare, de la vitesse de la rame, de la fréquence des convois et du nombre de directions. Chaque gare disposera d'un système de gestion des flux de gare à gare ; les données captées pourront être centralisées par un superviseur qui gèrera entre autres les aspects commerciaux ; un second système, propre à chaque gare, permettra de gérer le déplacement des auto manipulateurs et les liaisons avec la rame ; il sera compatible avec le système embarqué de chaque auto manipulateur et de chaque wagon.
- Sécurisation des marchandises : les contrôles d'entrée permettront de s'affranchir des détériorations préalables ; par ailleurs la manière dont les conteneurs sont embarqués apporte une sécurité naturelle contre l'ouverture des portes. Il reste à traiter la partie stockage pour laquelle un appui arrière peut empêcher certains cas de vols.

2.7 FONCTIONNEMENT AU SEIN D'UN PORT

Le fonctionnement du concept au sein des ports relève des aspects aménagement du territoire et de son intégration au sein des processus et des flux de circulation portuaires. Étant donné les contraintes d'espace des ports européens, on privilégiera la réduction de l'espace occupé avec les modes les plus compacts exposés préalablement. Par ailleurs, un bateau pouvant charger/décharger 2000 conteneurs sur un seul port, il importe de considérer des solutions appropriées pour gérer un afflux massif de boîtes.

2.8 ACCEPTABILITE DU CONCEPT

La technicité et l'ambition du concept R-shift-R, et sa comparaison avec les techniques classiques (train complet, wagon isolé) met en exergue un certain nombre de facteurs :

- Le premier point à considérer est la problématique de l'emploi liée à l'utilisation de chantiers automatisés : si une gare R-Shift-R sera créatrice d'emplois, permettra de rendre une compétitivité aux organisations logistiques l'utilisant, et favorisera le développement d'industries à proximité, la diminution du nombre de poids lourds sur les routes aura un impact sur la profession des routiers. Ce point est à mettre en relation avec la concurrence venue de l'Est pour les transports et les parts de marché des dernières années.

- Le second point important à discuter avant l'implantation d'une gare R-Shift-R qui pourra se trouver proche des centres villes et donc de lieux d'habitation est la relation au voisinage, notamment en termes de nuisances sonores. Il est difficile aujourd'hui d'établir un bilan du niveau sonore d'une gare attendu que certains équipements n'existent pas encore, on sait toutefois que l'activité liée au haut débit et à l'utilisation intensive de moyens de manutention produira des nuisances sonores à surveiller, notamment les phases de dépose des contenants sur les praticables susceptibles d'engendrer des chocs. A cet effet, il serait bon de mener une campagne de tests de mesure préalable sur des chantiers de transport combiné et d'obtenir des ordres de grandeur pour les engins de manutention afin d'établir un bilan prévisionnel. Les méthodologies et bases de données développées dans le cadre par des initiatives européennes comme EFFORTS, SILENCE, CALM, ou HARMONOISE pourront notamment être utilisées. Les résultats obtenus devront être mis en perspective avec le bilan positif dégagé par la diminution du nombre de camions sur les routes et autoroutes, générateurs de nuisances sonores importantes.

Enfin, différentes barrières au développement du concept ont été identifiées :

- Individus : peur de changer, manque de confiance, motivation faible.
- Sociétés : protection du secret, manque de temps, leadership/management pour favoriser/gérer la collaboration entre partenaires du projet, peur du risque, stratégies différentes entre partenaires, climat social.
- Administration : réglementation (concernant l'automatisation notamment), règles institutionnelles, harmonisation des procédures à l'échelle européenne.
- Finance / économie : impact du fonctionnement d'une gare sur les salaires par rapport au fonctionnement classique (primes de risque, astreintes, ...), capacité d'investissement des sociétés, coûts d'industrialisation.
- Développement technologique : innovation, interfaces entre modules, temps de mise sur le marché, méthode d'approche.
- Opération / maintenance : adéquation aux besoins du marché, prise en compte des besoins des utilisateurs finaux (modularité).
- Connaissances (formation) : programmes de sensibilisation à la solution développée, sessions de formation à l'utilisation et à l'exploitation d'une gare pour appropriation par les utilisateurs potentiels, établissement des procédures et gestion des modes dégradés.
- Marketing / commerce : masse critique, accès au marché, compétition avec autres concepts, évolutivité/généricité de la solution proposée.
- Communication : confidentialité des informations et données sensibles, gestion de la PI, communication entre les différents acteurs.
- Géographie : sites de test, caractéristiques environnementales (résistance à la variété des climats), manque d'espace disponible.
- Culture / histoire : adaptation des procédures pour supprimer la barrière de la langue pour une solution à l'échelle européenne, différences de cultures.

- Idéologie : opposition idéologique sous deux aspects principaux : protection du business (adaptation à de nouveaux métiers, une nouvelle organisation), protection des travailleurs et acquis sociaux (rigidité face au changement, peur de la réforme).

2.9 GESTION DES MODES DEGRADÉS

Dans la construction d'une solution technologique, qui plus est visant un trafic haut débit, il est nécessaire de songer aux modes de fonctionnement dégradés du terminal afin de valider que les pannes des composants ont été envisagées et que des solutions alternatives existent.

Le tableau ci-après décrit les principaux composants du système et les solutions de repli en cas de panne ainsi qu'une estimation des impacts sur les coûts.

Élément	Risque	Solution	Contrainte	Impact
Parking attente	saturation	Augmentation du nombre de places	Surface disponible, nombre de tracteurs	Moyen
Poste de contrôle	saturation	Augmentation du nombre de guichets pour absorber les pointes	Personnel supplémentaire	Faible
Chargement / Déchargement par tracteur	Accident	Choix autre file Présence 1 cavalier sur terminal pour déchargement et évacuation	Nb files disponibles Taux d'utilisation cavalier	Faible Moyen (~100 k€/an)
	Temps d'opération	Formation chauffeurs Augmentation des marges pour les manœuvres	Temps / coût Surface du quai	Moyen Moyen à Fort
Praticable	Insuffisance Circuit transp	Circuit approvisionnement praticables vides	Encombrement terminal, automatisation	Moyen
Zone manipulation	Bouchon	Taille zone, automatisation, gestionnaire de flotte	Coût	Moyen
Obturbateur voie fer	Panne, blocage train	Déverrouillage possible manuel	Blocage train	Fort (sillon / exploitation)
Ligne ferroviaire	Retard	Parking d'attente, décalage réservations	Respect sillons attribués	Moyen si nombre de sillons suffisant

Tableau 4 : AMDEC du système R-Shift-R

2.10 ANALYSE DE SOLUTIONS ALTERNATIVES

2.10.1 PREAMBULE

La solution nominale R-Shift-R présentée dans la section précédente a été analysée et discutée entre les partenaires du groupement, et certains points de désaccord par rapport à celle-ci sont apparus au cours des échanges et pendant le processus de modélisation servant de support à la simulation de flux dynamique d'un terminal R-Shift-R :

- La spécialisation des gares d'extrémité ou intermédiaires avec un nombre d'équipements différents et l'utilisation d'un seul quai pour les 2 sens dans le premier cas peut être discuté.
- L'hypothèse du cisaillement des voies n'est pas forcément la meilleure solution en termes de fluidité du trafic par exemple, des variantes peuvent être considérées.
- L'organisation de la gare avec du personnel dédié pour effectuer les manœuvres : ceci revient à l'embauche spécifique de personnel de manutention qui ne fluidifiera pas forcément les échanges, même si on peut penser que l'idée de base de faire effectuer les manœuvres de marche arrière par la même équipe tend à augmenter les performances, des problématiques de rupture de charge pour changer de tracteur, de possible incompréhension du personnel du terminal avec les chauffeurs routiers peuvent grever la productivité du concept rapidement.
- Le principe de dépose en marche arrière du conteneur ou de la semi-remorque avec des angles de braquage serrés, une marge de manœuvre faible, et enfin un nombre de camions simultanés effectuant le même type de manœuvres au voisinage élevé, s'il apparaît comme réalisable, rendent le concept fragile au regard de la durée d'exploitation et du risque d'accident engendré par le nombre de manœuvres à effectuer dans une journée.

Il a donc semblé naturel de réfléchir à une ou des solutions capables de traiter n'importe quel type de flux de marchandises. Une telle solution permettrait de maximiser le potentiel de captation de marché et minimiser le risque industriel et financier associé à son déploiement. La solution à apporter doit permettre la mixité des modes de traitement (remorque, conteneur, caisse mobile). Ce problème est d'autant plus complexe que la répartition par type des unités à manutentionner n'est constante ni dans le temps, ni dans l'espace (variabilité naturelle du marché qui influe sur les plans de chargement des trains), sauf à imposer des contraintes de coût qui paraissent a priori insurmontables. Dès lors deux approches différentes sont envisageables :

- L'unification maximale des traitements : dans ce cas, la manutention horizontale est possible, mais dégrade la productivité, et nécessite une réserve de manipulateurs (et une zone pour les stocker) ;
- La maximisation des débits, capacités et possibilités de développement : il convient ici de dissocier les zones, ce qui induit un surinvestissement et une gestion complexe (car aléatoire) des espaces, qu'il faudra dédier en fonction inverse du rendement des techniques de manutention. Pratiquement, dans une logique de partage d'espace, cette situation est théoriquement problématique puisqu'elle réduit la capacité utile réelle. Il faut donc probablement ici disposer de terminaux plus grands présentant une capacité d'accueil grossièrement égale au moins au double de la capacité théorique nécessaire. En

pratique cette contrainte pourrait être partiellement révisée en fonction des évolutions techniques du moment et de leurs parts de marché moyennes respectives, ce qui conduirait à une modification progressive de la forme des gares.

Les chapitres qui suivent présentent une solution reposant sur des chantiers multi techniques et tentent d'évaluer sa viabilité dans un contexte de haut débit et de haute fréquence.

2.10.2 DESCRIPTION DE SOLUTIONS ALTERNATIVES

2.10.2.1 Arrivée sur le terminal

Un système de réservation de place est envisagé (par Internet, SMS, serveur vocal) afin de garantir la plus grande souplesse et l'optimisation des ressources. La circulation sur un même espace de tracteurs routiers et de véhicules téléopérés ou autonomes est à proscrire pour des raisons évidentes de compatibilité, d'autant plus avec une solution impliquant des manœuvres de la part des camions (angles morts, temps de réaction, masquages...). On s'attachera donc à délimiter des zones distinctes. Un parking d'attente devra être prévu à l'entrée du terminal avant les postes de contrôle (en dehors) ; lorsque le terminal tourne à plein régime et est proche de la saturation, il permet d'éviter l'accumulation de bouchons sur le terminal, de lisser les entrées aux heures de pointe et de traiter les cas où le transporteur s'arrête avant les postes de contrôle (pour vérification, parcequ'il est en avance...). Une voie d'attente peut être prévue à l'intérieur du terminal en sortie de poste de contrôle pour faire face à un encombrement ponctuel dû à un incident ou dysfonctionnement causant un retard de traitement de la chaîne et amenant rapidement un engorgement des files.

2.10.2.2 Contrôle

Le camion, son chauffeur et le chargement se présentent à l'un des postes d'accueil pour le contrôle des papiers, la pesée de la marchandise et l'assignation d'un poste d'embarquement. Un opérateur par poste de contrôle est nécessaire. A la sortie du poste, le conducteur est dirigé vers l'une des trois voies possibles : pour le transfert des conteneurs / caisses mobiles, celui des semi-remorques, et la voie de sortie (e.g. rejet de marchandise, papiers non conformes).

2.10.2.3 Transfert route/terminal

Les praticables sont spécialisés pour recevoir soit une semi-remorque soit un conteneur ; il est possible de les rendre identiques (e.g. ajouter des twist-locks automatiques, réaliser une solution escamotable), ce qui aurait l'avantage de la généricité mais augmenterait le coût de production.

Dans le cas où le verrouillage des contenants sur les praticables ne serait pas automatique pour les conteneurs ou caisses mobiles, l'opération de verrouillage serait à réaliser au moment du débarquement du contenant sur le praticable, lorsque le chauffeur est présent et peut effectuer cette opération.

La première étape consiste à séparer en deux files les conteneurs ou caisses mobiles à décharger ou les semi-remorques à dételer : le processus étant différent, il faut différencier les flux pour éviter les bouchons. Pour garder une cadence compatible avec le débit cible, plusieurs stratégies sont envisageables afin de garantir une fréquence de manutention permettant de charger suffisamment de praticables pour constituer des trains complets indifféremment du type de contenant (50 contenants pour les trains classiques, voire plus pour des trains longs) :

- Mettre autant de postes à décharger les conteneurs et caisses mobiles (les semi-remorques sont débarqués par des chauffeurs ne nécessitent « que » de la surface d'opération) que de camions potentiellement présents en embarquement et débarquement, soit autant dans un sens que dans l'autre, ce qui en termes d'encombrement, de stratégies de déplacement, et d'économie paraît peu réaliste,
- Gérer de manière différenciée la voie route et la voie fer afin de garantir une fluidité dans les deux sens et minimiser les arrêts de chaque côté des flux.

Cette deuxième solution est celle qui est choisie, les paragraphes suivants s'attachent à décrire les solutions envisagées pour embarquer les différents types de contenant.

2.10.2.3.1 *Embarquement/débarquement de conteneurs sur praticables*

Plusieurs solutions sont possibles :

- Embarquement du contenant par un portique de parc sur rails directement sur le praticable ; dans ce cas, il faut autant de portiques que de conteneurs à décharger pour un train, divisé par le temps de manœuvre additionné du temps de bridage sur le praticable (si non automatisé sur le praticable), par rapport à l'objectif de fréquence d'un train.
- Débarquement du contenant du camion par un portique sur un praticable, avec verrouillage automatisé ou non, vers un banc de transfert roulant motorisé agissant comme un stockeur entre les portiques et les praticables. Dans ce cas, il faut un portique par banc de transfert. A l'extrémité des bancs de transfert qui se rejoignent en une voie unique, par le biais d'un changement de direction, se trouve un espace de stockage sur rouleau permet de trier les conteneurs et les préparer en attendant le bon train, ou de les affecter à une position où un porte-praticable peut venir les chercher quand une place est libre. On peut déposer le conteneur sur un praticable (prévoir en ce cas un acheminement de praticables vides vers chaque position qui sera pris par le portique avant chaque déchargement), ou acheminer directement les conteneurs vers le stockeur. Selon le nombre de postes de transfert, on dessine des voies de longueur différente qui se rejoignent, avec un dispositif d'anti-collision permettant de gérer la vitesse des tapis pour individualiser les conteneurs et constituer une file continue à partir des X postes de déchargement.

La taille du stockeur peut être ajustée aux contraintes et à l'activité du terminal. Le stockeur possède un système de rouleaux dans deux directions permettant de réaliser des mouvements en X/Y pour le stockage et l'acheminement des praticables chargés vers des espaces de reprise par les manipulateurs. Différents degrés d'automatisation peuvent être envisagés afin de réduire la main d'œuvre nécessaire sur le terminal. Les camions peuvent se garer le long de la voie de circulation, plusieurs voies pouvant être alignées à 25m d'intervalle, le portique englobant la voie d'opération et le tapis roulant vient alors chercher le conteneur et le camion peut reprendre la voie de circulation et s'en aller ou aller chercher une autre boîte pour le retour.

2.10.2.3.2 *Embarquement/débarquement de caisses mobiles sur praticables*

L'embarquement / débarquement des caisses mobiles ne s'effectue pas de la même manière que pour les conteneurs. En effet, celles-ci doivent être manipulées par le bas du châssis, avec un système de câbles ou de pinces, alors que les conteneurs peuvent être débarqués plus rapidement en utilisant les boîtes de coins supérieures. Par ailleurs elles ne sont pas gerbables donc occupent une place au sol plus importante que les conteneurs qui peuvent être empilés. Cela entraîne une

spécialisation des portiques qui traitent ce flux ; une fois déposées sur les praticables et sur les bancs de transfert, le cheminement est le même que pour les conteneurs.

2.10.2.3.3 Embarquement/débarquement de semi-remorques sur praticables

L'embarquement des remorques s'effectue sur une voie séparée de la zone conteneurs / caisses mobiles. Il nécessite une action manuelle de la part du conducteur, et une acceptation par le responsable de l'embarquement du positionnement relatif du praticable et de la remorque « comme pour le conteneur ». Le chauffeur doit enlever les câbles d'alimentation qui relient la semi au tracteur, descendre les béquilles et régler l'assiette de la remorque en agissant sur deux mécanismes : la suspension pneumatique et les béquilles. La manœuvre a pour but de positionner le contenant directement sur le praticable, le camion doit effectuer les opérations de mise en place décrites dans la solution nominale (§2.4.1), la différence principale tient dans le fait que les zones sont spécialisées en fonction des contenants pour tenir compte des différences de procédures de débarquement et conséquemment de temps d'immobilisation. On pourrait envisager de la même manière pour la distribution des places et l'optimisation des temps d'immobilisation et de la fluidité de la partie routière que le praticable soit situé sur un tapis roulant également avec un dispositif de butoir (ergot motorisé) pendant le temps de chargement, qui sera escamoté une fois le tracteur détaché, si les cellules sont trop éloignées des zones de chargement.

2.10.2.4 Transfert terminal/fer

Les transferts terminal de la zone propre (sans véhicules habités) vers ou depuis le train se déroulent de manière similaire au concept R-shift-R. Les caisses mobiles et conteneurs sont à disposition sur des praticables depuis une zone spécifique (pour les semis) ou depuis le stockage, prêts à être enlevés par les auto manipulateurs munis de porte-praticables qui les emmèneront sur la zone de chargement du train. En ce qui concerne les opérations, un seul côté du quai est utilisé pour éviter d'avoir à traverser la voie. Il est néanmoins possible d'envisager l'utilisation des deux côtés des voies en considérant les rampes de traversées de voie, ainsi que d'augmenter le nombre de quais en alternant la position des stockages et en considérant un traversée de voie pour les camions avant débarquement.

2.10.2.5 Transfert terminal/route

Le principe inverse est considéré avec deux voies, les manipulateurs amènent les praticables avec les porte-praticables sur les tapis roulants du stockeur de sortie, copie conforme du premier décrit. Un dispositif d'identification permet ensuite d'aiguiller vers la voie disponible (conteneur ou caisse mobile) et la file d'embarquement où les opérations sont réalisées en sens inverse.

2.10.3 SCHEMAS DE PRINCIPE

2.10.3.1 Scénario 1 : opérations mono quai

Le schéma suivant donne les principes généraux de la solution avec un seul quai, ce qui permet de ne pas introduire de systèmes de traversée de voie. On charge et décharge du même côté.

Les zones d'attente pour les semi-remorques mises sur praticables sont séparées. Une voie spéciale de chargement/déchargement est réservée pour les caisses mobiles en raison des contraintes de préhension (par le bas).

Le nombre de liaisons entre la sortie de contrôle et le stockeur sera déterminé par simulation pour assurer la cadence nominale du chantier.

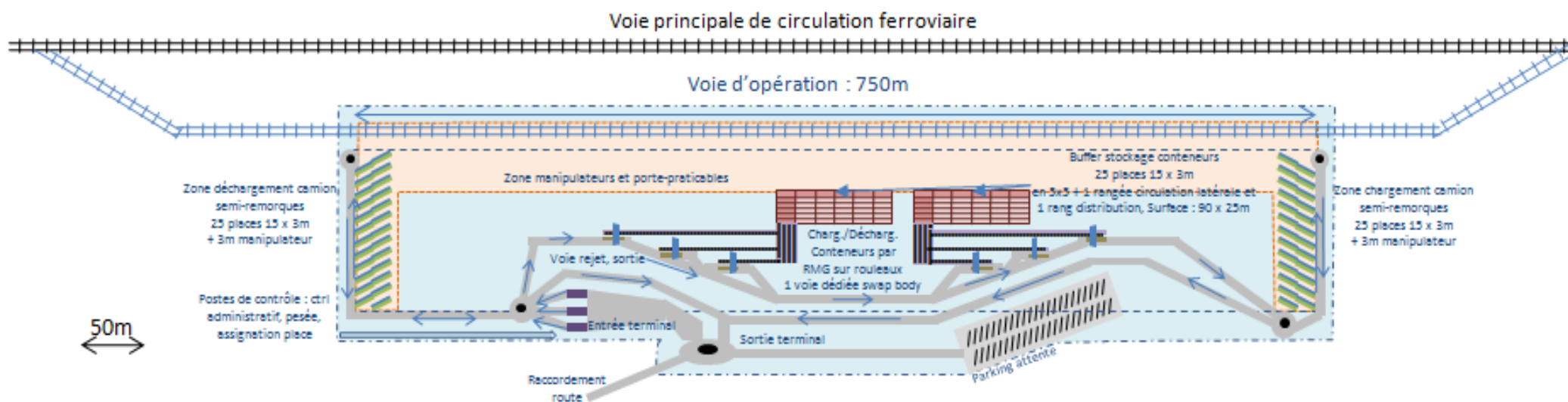


Figure 27 : solution alternative – opérations mono-quai

2.10.3.2 Scénario 2 : opérations sur double quai

Le schéma suivant donne une version où les opérations se déroulent sur les deux sens du quai, à capacité égale, mais en permettant de séparer les flux de chargement et de déchargement par sens. Les stockages sont situés au milieu de la voie pour minimiser les déplacements, leur capacité peut être augmentée pour permettre de stocker l'équivalent des conteneurs d'un train entier. De même la zone d'attente pour les caisses mobiles peut être dédoublée de part et d'autre des extrémités de la voie. La traversée des voies par les camions nécessaire pour dissocier les voies chargement et déchargement peut s'effectuer en limite de voie d'opération, de manière à autoriser le passage des camions même si un train est arrêté. Le creusement d'un tunnel paraît irréaliste vu les encombrements nécessaires et risques d'accidents, un mini-pont nécessiterait des pentes importantes à franchir pour les poids lourds, la solution la plus simple est donc l'implantation d'une signalisation routière de type passage à niveau.

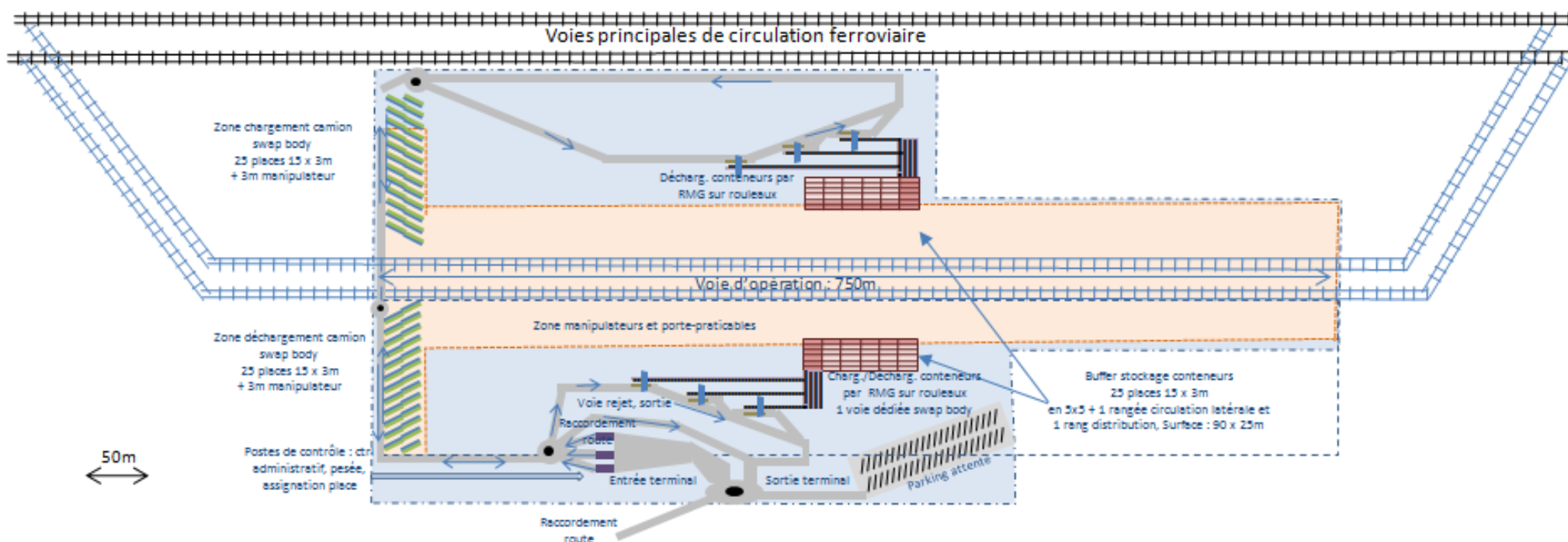


Figure 28 : solution alternative – opérations double quai

On peut également prendre en compte une variante qui évite le cisaillement entre les voies et permet donc plus de fluidité du point de vue ferroviaire.

Il reste alors à considérer la configuration du terrain et la faisabilité d'occuper le foncier sur une surface plus importante, et surtout la disponibilité du terrain des 2 côtés de la voie, ce qui peut être facilement envisagée en pleine campagne, sans doute moins en zone urbaine ou industrielle.

On notera également que les voies d'accélération et décélération, non représentées à l'échelle pour cause de lisibilité du schéma, doivent chacune être envisagées avec une longueur de l'ordre de 3 fois la voie d'opération, soit environ 2200m.

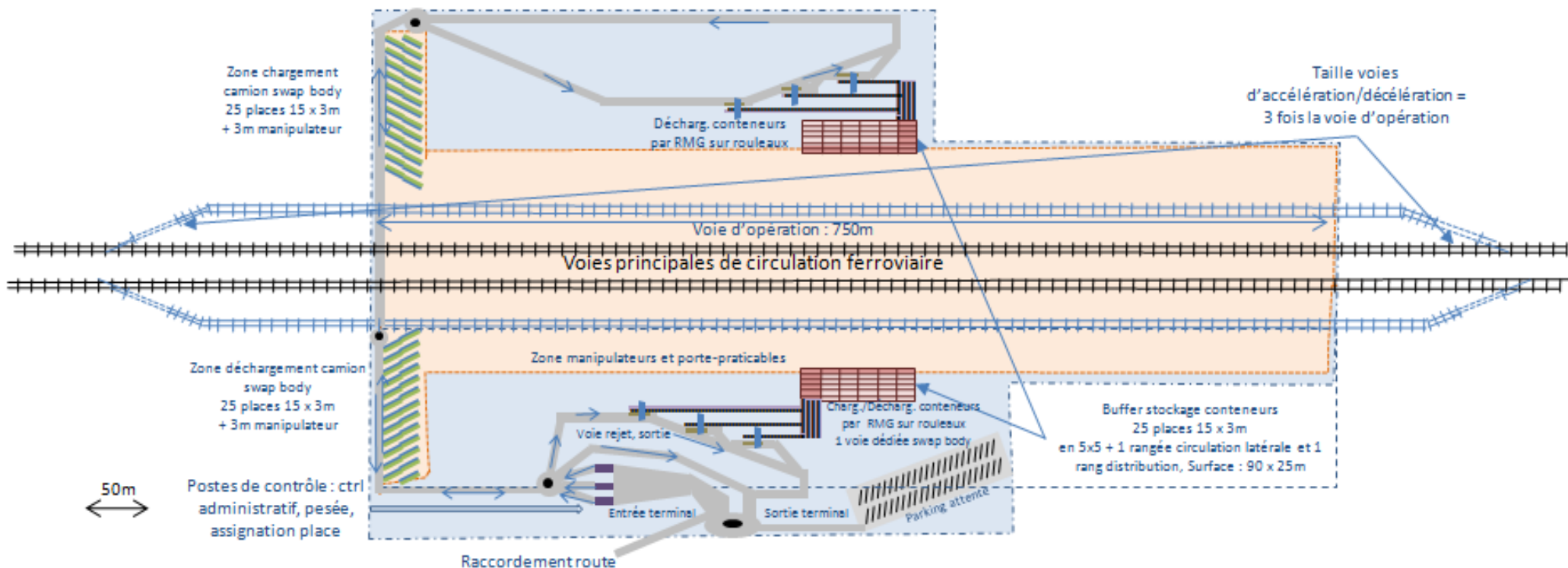


Figure 29 : solution alternative – opérations double quai sans cisaillement

2.10.3.3 Scénario 3 : opérations sur double quai avec double capacité

Le schéma ci-dessous propose une capacité doublée des stockages, des parkings, des postes de contrôle et du parking d'attente.

Les infrastructures de circulation sont revues en conséquence.

Il conviendra également de prévoir un nombre de praticables adapté à cette capacité accrue.

On peut comme pour le scénario 2 considérer une variante sans cisaillement de cette configuration.

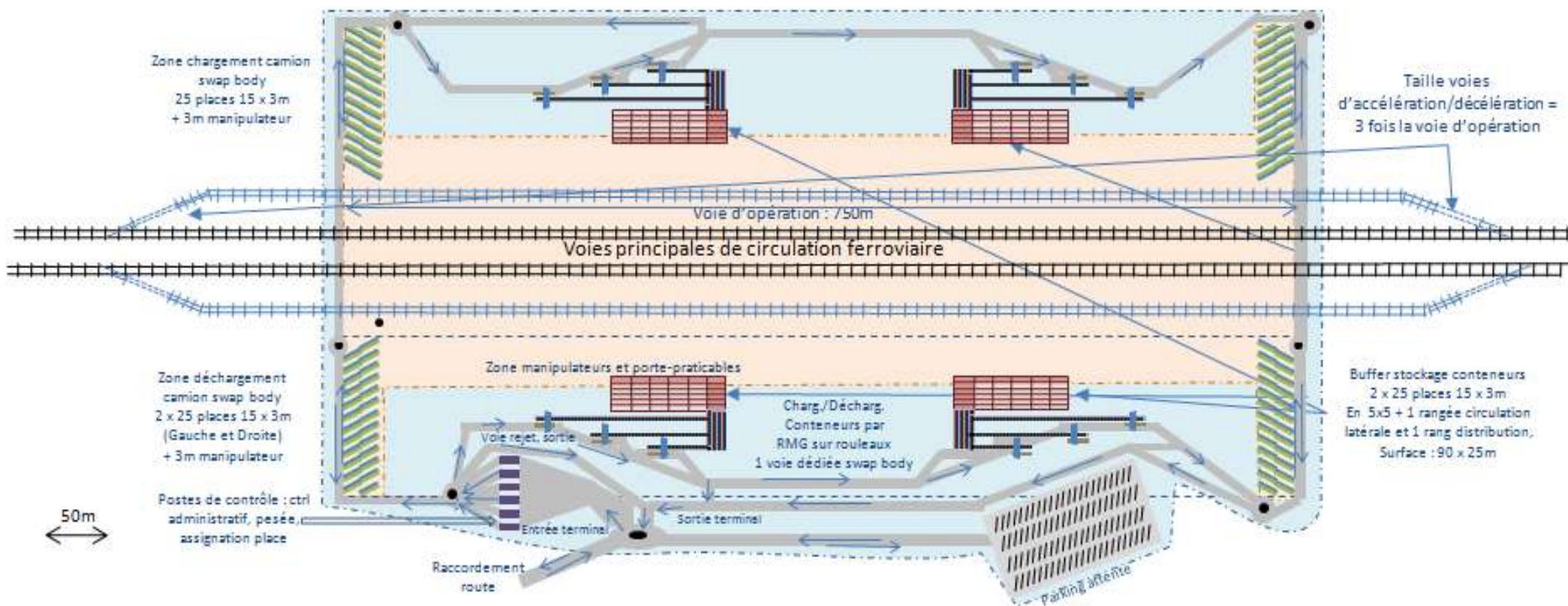


Figure 30 : solution alternative – opérations double quai à capacité doublée

2.10.3.4 Scénario 4 : opérations de type chantier combiné sans praticable

Ce scénario a pour but de tester une version déjà implantée sur certains terminaux pour faire du terminal chargement/déchargement de conteneurs principalement. Il possède un défaut principal : il est optimisé pour le transport de conteneurs, d'où la nécessité de créer des postes spéciaux de chargement/déchargement pour les caisses mobiles (préhension par le bas plutôt que les boîtes de coin pour les conteneurs) et pour les semi-remorques. Dans le cas où on ne choisirait de traiter que des conteneurs, ce scénario prendrait probablement tout son sens (et son intérêt économique).

A l'inverse l'avantage principal est l'élimination du besoin de praticables et porte-praticables, ainsi que des buffers par l'utilisation de portiques pouvant gérer en transversal jusqu'à 13 lignes de marchandise en parallèle (route ou fer). La section bufferisée peut dès lors être constituée sur les lignes de chargement/déchargement.

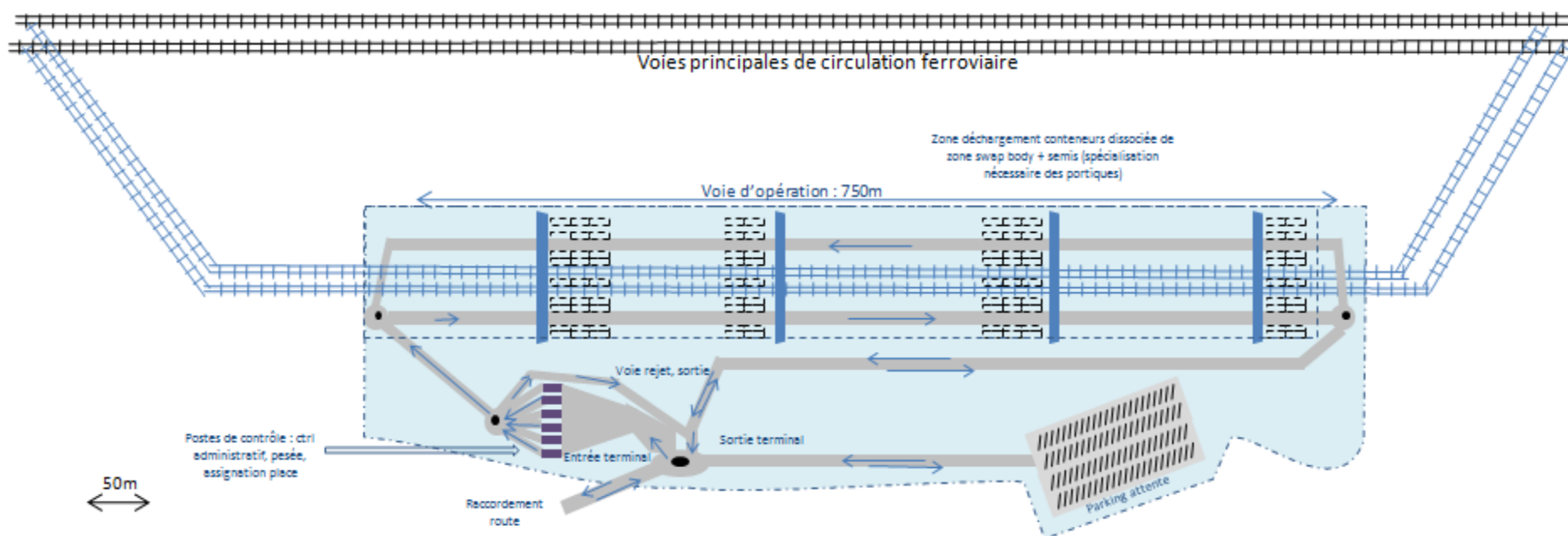


Figure 31 : solution alternative – opérations type chantier combiné

2.10.3.5 Scénario 5 : opérations de tapis roulant

Le schéma ci-dessous présente une solution où tous les types de contenants sont traités : semi-remorques, conteneurs et caisses mobiles. Des opérations manuelles sont à effectuer, pour tous, en deux points du dispositif, l'un à la prise par le portique l'autre à la dépose sur le praticable :

- En extrémité des voies (en jaune), pour le semi dégroupage entre le tracteur et la remorque ou débridage conteneur de sa remorque.
- Au point de convergence en portique et transbordeur mise à niveau pour de la remorque, bridage sur le praticable pour le conteneur. Ce point évolue en fonction de l'affectation contenant/wagon

Il comprend les éléments suivants :

- En jaune sont représentées les voies de circulation des camions, qui pourront être regroupées en fonction du temps élémentaire que nécessite la prise de la charge par le portique en bleu du contenant. La mise en place se fait « en marche avant ». Le nombre de voies répond à l'équation = Fréquence/temps technologique de l'opération. Par exemple si la fréquence est de 60 minutes et le temps technologique de 15 minutes, on peut regrouper sur la même voie 4 entrées routières. On observe que dans l'analyse de ces temps le temps technologique raisonnable est de l'ordre de 10 à 15 minutes et que la fréquence possible pour R-shift-R est de 15 minutes par sens. Si on prend en considération un certain nombres d'aléas, ce temps atteint rapidement 20 minutes. Ce qui signifie que le nombre de positions à la prise en charge par le portique doit être supérieur à 1 par voie routière. Ce raisonnement vaut pour tous les scénarios, cette difficulté est résolue dans R-shift-R par la présence de quatre praticables face à chaque wagon.
- En bleu des portiques, qui peuvent être utilisés pour alimenter les 25 positions de la demi-rame considérée donc tous les transbordeurs (en violet), le choix du transbordeur se fait suivant la programmation de chargement. Bien évidemment le nombre de ces portiques répond aux mêmes contraintes du temps élément qu'il faut pour déposer le contenant sur le praticable + le temps de transfert entre sa position d'embarquement et la dépose vers/sur le transbordeur affecté, (la distance à parcourir de l'ordre de 400/500 mètres). Le transbordeur amènera directement les praticables aux wagons sans passer par la phase automanipulateur. La question que l'on peut se poser est de savoir si l'on peut regrouper plusieurs transbordeurs en un seul, sinon on revient aux mêmes contraintes que précédemment avec l'obligation de remettre en place les aumanipulateurs.

Il reste à gérer le retour des praticables qui n'est pas représenté sur ce schéma mais au final, les opérations à effectuer en manuel pour les semi-remorques rendent impossible ce type de schéma à moins d'une explosion du coût des personnels.

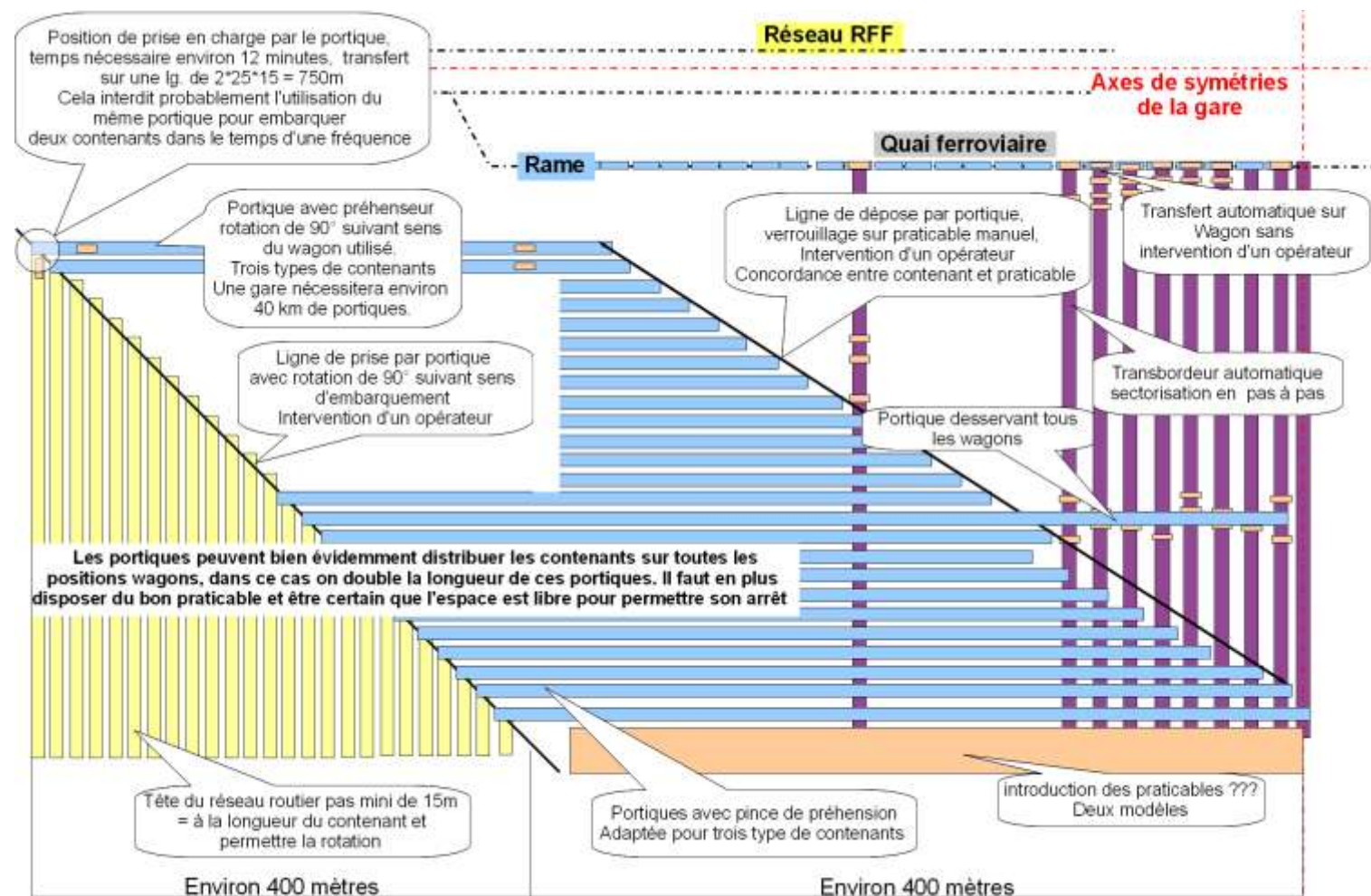


Figure 32 : solution alternative – toutes opérations sur tapis roulant

2.10.4 GESTION DES MODES DEGRADÉS

Dans la construction d'une solution technologique, qui plus est visant un trafic haut débit, il est nécessaire de songer aux modes de fonctionnement dégradés du terminal afin de valider que les pannes des composants ont été envisagées et que des solutions alternatives existent. Le tableau ci-après décrit les principaux composants du système et les solutions de repli en cas de panne ainsi que les impacts sur les coûts.

Élément	Risque	Solution	Contrainte	Impact
Parking attente	Saturation	Augmentation du nombre de places	Surface disponible	Faible
Poste de contrôle	Saturation	Augmentation du nombre de guichets pour absorber les pointes	Personnel supplémentaire	Faible
Chargement / déchargement par portique	Panne	Choix autre file	Files disponibles	Faible
		Présence d'un cavalier sur terminal pour opérations manuelles	Conducteur, taux d'utilisation	Moyen
Terminal	Trafic insuffisant	Buffer comme variable d'ajustement	Prix, temps immobilisation	Moyen à fort
Tapis rouleaux	Panne	Opérer avec un cavalier	Coût	Moyen à fort
Stocqueur	Panne	Organisation		
Tapis rouleaux	Stocqueur	Si les tapis sont saturés, augmenter la distance rouleaux-buffer	Taille terminal	Moyen
Praticable	Insuffisance Circuit transport	Circuit approvisionnement praticables vides	Encombrement terminal, automatisation	Moyen
Zone manipulation	Bouchon	Taille zone, automatisation, gestionnaire de flotte	Coût	Moyen
Obturbateur voie fer	Panne, blocage train	Déverrouillage possible manuel	Blocage train	Faible
Ligne ferroviaire	Retard	Parking d'attente, décalage réservations	Respect sillons attribués	Moyen si nombre de sillons suffisant

Tableau 5 : tableau AMDEC solution alternative

3. MODELISATION ET SIMULATION

3.1 PRINCIPES DE MODELISATION

3.1.1 PARTI PRIS METHODOLOGIQUE

La simulation de R-Shift-R (RsR) consiste d'une part à permettre de simuler le fonctionnement de plusieurs gares RsR sur une ligne, et d'autre part à livrer produire une évaluation économique des coûts d'un «service» RsR selon diverses hypothèses d'exploitation. Pour mener à bien ce projet nous sommes partis de la base que constitue le modèle AxeFret qui est un simulateur développé en dynamique des systèmes, dont le principe consiste à utiliser un outil de simulation continue pour simuler - par analogie - un axe ferroviaire dédié au fret.

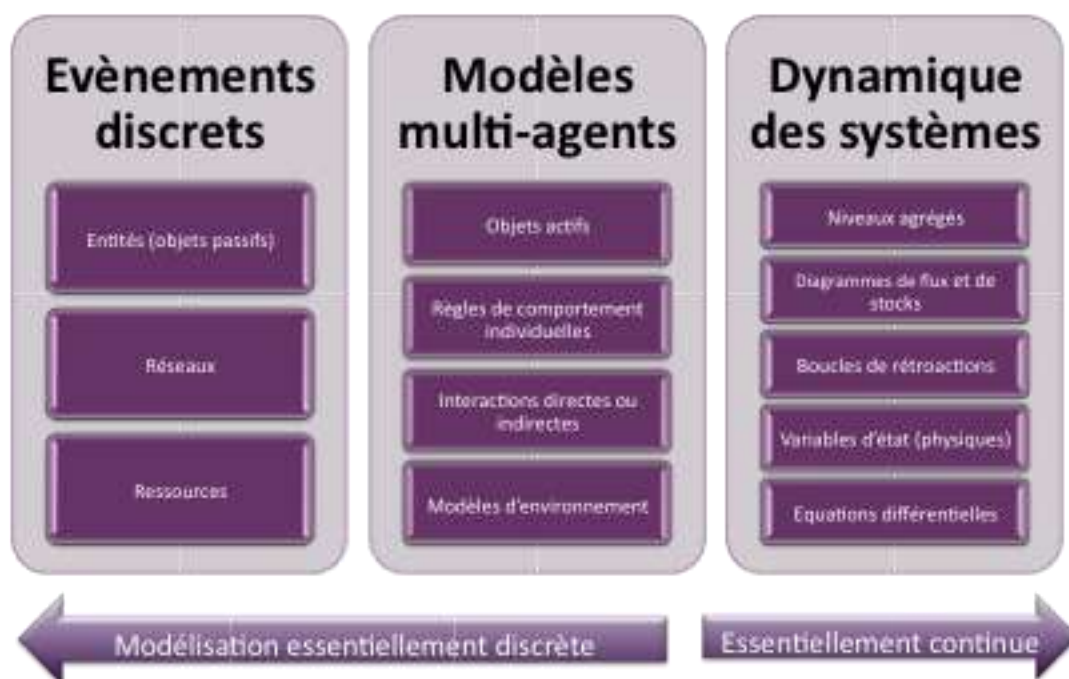


Figure 33 : typologie des modèles de simulation (d'après Andrei Borshchev & Alexei Filippov, XJ Technologies)

L'un des inconvénients, déjà souligné, de cette méthode, réside dans le fait que l'on ne simule pas spécifiquement le déplacement de chaque véhicule, de chaque caisse mobile, de chaque wagon ou de chaque train, mais des flux. Il n'est pas pénalisant tant qu'il ne s'agit pas de représenter dans le plan le fonctionnement physique d'une gare. Il nous est apparu suffisant en effet, dans un premier temps, de nous concentrer sur les performances globales du système, et d'identifier les problèmes, les chemins critiques ou les interrogations suscitées par une simulation d'un «système RsR». Deux tâches primordiales ont donc été définies :

- La description puis la modélisation des processus propres au chargement et au déchargement des trains RsR, et de la phase spécifique de chargement-déchargement des caisses mobiles sur les praticables puis des praticables sur les trains.
- Le calage des données économiques propres au système RsR, puis la modélisation des coûts inhérents au système.

3.1.2 MISE EN ŒUVRE : LES TERMINAUX

La modélisation des terminaux est essentielle dans la mesure où - spécifiquement - RsR se veut constituer une «rupture» par rapport aux terminaux de transport combiné classiques. Le principe de base de RsR consiste en effet en un transfert sur un praticable des Unités Intermodales «dès que possible» à l'arrivée des poids lourds, à charge pour le terminal d'assurer ensuite le chargement des praticables sur les trains dans un intervalle de temps limité à 6 minutes.

Pour opérer ce travail nous nous sommes appuyés sur les descriptifs formulés par l'inventeur et les réponses qui ont été apportées à nos interrogations.

Conceptuellement, RsR consiste en un système dans le quel la gare se décompose en deux zones distinctes. L'une est dédiée aux poids lourds, à leur circulation et au chargement et déchargement des Unités intermodales ou des semi-remorques sur des praticables, l'autre est dédiée au transfert des praticables sur les trains lorsque ceux-ci sont en gare.

Techniquement, les trains RsR sont à motorisation répartie, et sont conçus pour recevoir des praticables chargés par le côté. (manutention horizontale). On pourra éventuellement tester cette option par rapport à d'autres formules

Le premier système simulé est un système de «transfert» reposant sur l'utilisation d'auto manipulateurs filoguidés ou guidés par laser, et de dispositifs de chargement déchargement appelés transbordeurs.

Il s'agit donc de deux processus distincts en interrelation tant pour le chargement que le déchargement des trains. Ces deux processus ont une interface. (processus et espace spécifique)

A première vue nous avons donc à synchroniser dans la mesure du possible 2 systèmes - routier et ferroviaire - ayant des rythmes et des «discretisations» différents, au moyen de trois processus ayant chacun une capacité donnée : le traitement des poids lourds à l'entrée et à la sortie, le processus de transfert des praticables du rail au quai et du quai au rail, et le processus d'interface entre ces processus. Chaque processus peut en outre disposer - ou non - d'une possibilité de stockage ou de file d'attente. Dans l'absence ou l'insuffisance de telles possibilités, il convient de prévoir une «solution» (par exemple un parking pour poids lourds).

Nous avons par la suite choisi de simuler deux types différents de terminaux. Des terminaux traitant des caisses ou des conteneurs exclusivement, puis des terminaux traitant des semi-remorques. Il est en effet apparu à l'équipe travaillant sur les concepts techniques que deux modes distincts de traitement des unités de chargement pouvait être définis, ayant leur pertinence, l'un pour les boîtes, l'autre pour les semis.

3.1.3 PRINCIPES GENERAUX DE MODELISATION DE L'ARTICULATION DES FLUX

Un terminal est en réalité un système permettant d'articuler deux flux, l'un de PL, l'autre de trains. Le premier flux ressemble à un flux continu - éventuellement rythmé par le second -, et le second est «discret» et soumis à horaires fixes.

Nous avons schématiquement le système suivant :

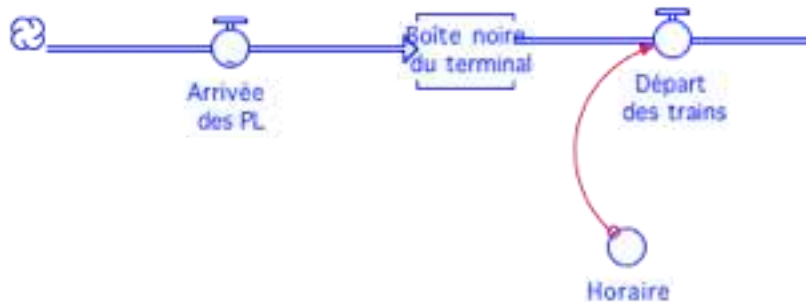


Figure 34 : la gare comme boîte noire

La simulation de ce genre de mécanisme, consiste d'une part à «injecter» un flux d'entrée continu, et de l'autre de «sortir» de la boîte noire du terminal des «pulsations périodiques». La fonction utilisée génère une pulsation d'un certain volume (par exemple le nombre d'Unités mises dans le train) par unité de temps. Prenons un exemple.

Un flux continu de 100 poids lourds arrive sur le terminal. Nous pulsons en sortie 50 unités intermodales par train avec 2 trains par heure. Le système, logiquement traite convenablement le flux, mais doit disposer d'une capacité d'accueil de 50 unités. Les «flux» amont et aval sur les 4 premières heures auront l'allure suivante :

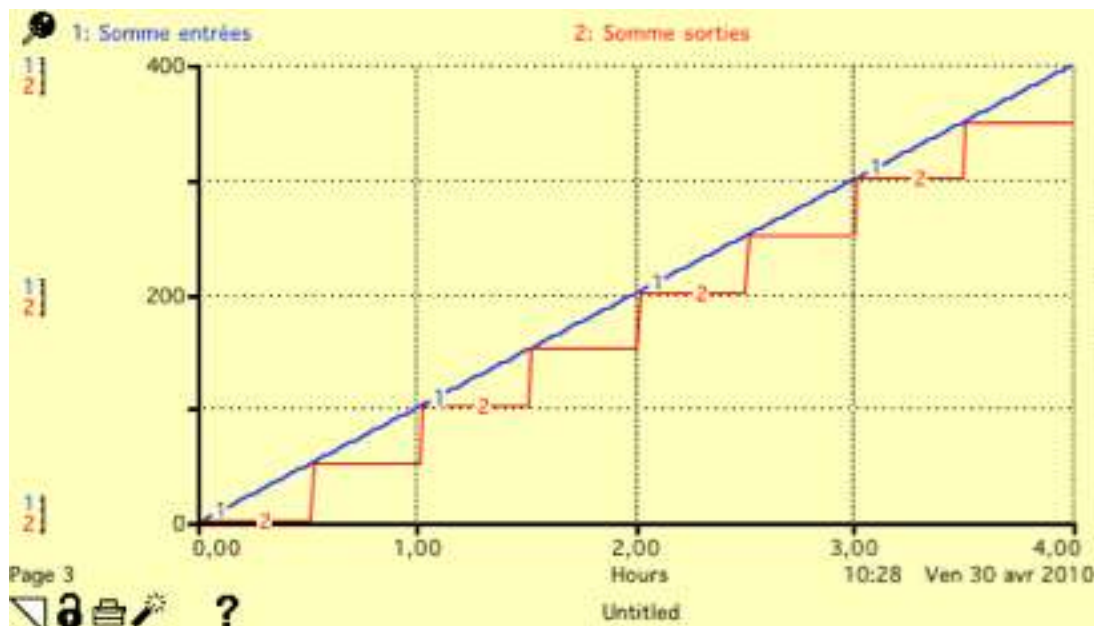


Figure 35 : flux continu et flux discrétisé

Il reste plusieurs problèmes :

- Les flux amont n'ont aucune raison d'être constants. Il convient donc de modéliser les comportements dont on voudrait tester l'incidence. Ainsi, par exemple, si on remplace notre flux constant de 100/heure, par un flux suivant une distribution normale $N(100,30)$, il faudra prévoir de devoir gérer sur le terminal jusqu'à 70 unités environ, sans que cela ne change rien à la productivité du terminal. Si on génère par exemple une concentration des arrivées avant les heures de départ, cela change naturellement le fonctionnement du terminal, et requiert une capacité d'accès et de traitement à l'entrée plus importante. Les

hypothèses «*comportementales*» peuvent ainsi avoir des conséquences importantes sur le dimensionnement des terminaux et leur organisation

- Il convient de définir les modalités de fonctionnement de la «boîte noire du terminal». Rappelons qu'il s'agit ici d'enchaîner une séquence complexe qui peut comporter des tâches variées selon les choix techniques et organisationnels. Chacune de ces tâches doit donc être définie et modélisée en prenant en compte la variance de ses performances.
- Ces phénomènes interviennent dans un système où les gares sont en interaction les unes avec les autres, et où des trains respectent des règles de marche (vitesse, fréquence...)

Ces problèmes doivent conduire à choisir la forme de la gare et de ses accès, et les techniques utilisées pour transférer une unité d'un mode à l'autre. Bien entendu, la variété éventuelle des Unités à traiter doit être prise en compte.

3.2 CYCLES DE CHARGEMENT DE SEMI-REMORQUES SUR PRATICABLES

Le problème que nous avons traité plusieurs fois concerne le réalisme du cycle de chargement des semi sur les praticables dans le cas d'un système RSR qui serait dédié au traitement de semi-remorques routières.

Pour approfondir cette question, nous sommes partis d'une part de l'analyse des opérations à réaliser lors du chargement des semi, et d'autre part de la description du fonctionnement de la partie routière d'une gare RSR. A partir de là nous nous sommes efforcés de construire un simulateur simple permettant d'étudier ce que nous avons appelé les cycles de chargement sur praticables des semi-remorques

3.2.1 DESCRIPTION DU MODELE DE SIMULATION

Le modèle vise à simuler les mouvements dans une gare. Nous nous intéressons ici à un processus dans lequel les véhicules - après contrôle - doivent se rendre à une **zone désignée**, manœuvrer pour mettre leur semi-remorque en **marche arrière** sur un praticable, faire les opérations nécessaires au dételage de la semi, et quittent la zone de déchargement vers la sortie.

3.2.1.1 Processus de simulation retenu

Le processus est simulé en prenant comme unité de temps **la minute**, les calculs se faisant selon un pas (**dt**) de **7,5 secondes**.

Départ : Les véhicules arrivent à un rythme moyen donné. A partir de cette moyenne et d'un écart-type donné, on calcule le nombre de véhicule entrant par minute selon une loi normale. On peut éventuellement tester l'usage de poids horaires différenciés.

File d'attente : Ces véhicules se trouvent alors dans une file. Un top de départ leur est donné en fonction d'une part du niveau de circulation sur la voie de desserte et de l'encombrement de la zone de déchargement de la semi. On considère ici l'ensemble des véhicules en circulation (allant décharger ou en revenant). On détermine par ailleurs si il y a éventuellement un véhicule en manœuvre dans la zone de destination (une zone de 4 places en amont et une place en aval de la place désignée). Ce calcul peut se faire de diverses manières. Une méthode peut consister à conditionner le départ en fonction de la destination du véhicule, et de celle des véhicules précédents. On peut aussi procéder en opérant des tirages aléatoires. Dans ce cas, après avoir tiré

un numéro de place, on tire un numéro de zone de manœuvre. On s'assure alors que le véhicule va dans une zone non tirée. Autrement dit ce mécanisme revient à temporiser le roulage des véhicules une fois sur 25. On peut faire varier le délai de temporisation.

Les véhicules roulent ensuite en direction de leur place quand ils en ont l'autorisation. Cette autorisation dépend du nombre de véhicules en circulation et de la capacité des voies routières. Cette capacité est modulable (nombre de voies utilisables..). Nous avons considéré que la capacité maximale **par voie de desserte** était de l'ordre de 25 véhicules roulant simultanément.

Déchargement sur le praticable : la manœuvre (marché arrière) à opérer et le déchargement sur le praticable nécessitent un ensemble d'opérations qui peuvent prendre un temps relativement long et sensiblement proche de 10 à 12 minutes. En outre des manœuvres nécessitent d'avoir la place pour le faire. L'opération de stationnement est ici autorisée si les places adjacentes sont libres. L'opération se déroule et les véhicules quittant la zone de déchargement sont prioritaires pour s'engager sur les voies de dégagement.

3.2.1.2 Variables importantes

Différentes variables sont importantes. Il s'agit (outre le nombre moyen de véhicules arrivant par minute) de :

- La capacité de circulation sur les voix de desserte/dégagement
- Le temps de déchargement de la semi sur le praticable
- La vitesse moyenne de circulation

3.2.1.3 Modes de calcul

La simulation étant continue et non une simulation multi-agent, la validité du modèle repose sur l'usage d'un certain nombre de fonctions «rendant compte» des contraintes, sans pour autant disposer d'une simulation de chaque mouvement de chaque agent. Pour ce faire nous avons raisonné de la manière suivante :

- On tire au hasard le numéro de place assigné au véhicule. Dans la mesure où nous ne simulons pas la situation de chaque zone nous avons considéré qu'il suffisait au fond de comparer le numéro de place au numéro de place correspondant à celui tiré au hasard dans un passé égal au temps de déplacement jusqu'à la place qui vient d'être tirée. En pratique ce calcul donne un résultat identique à celui qui résulterait d'un tirage aléatoire avec remise parmi 25 zones avec une chance sur 25 de devoir bloquer le départ (temporisation) du véhicule. Nous avons finalement opté pour cette solution.
- La possibilité de stationner ou non sans attente consiste à vérifier si les places adjacentes sont libres de manœuvre. En effet la présence éventuelle d'une personne entre des semi remorques voisines pendant une manœuvre n'est pas possible. La simulation repose ici sur un calcul probabiliste : on calcule la probabilité de disposer d'une place sans opérations adjacentes.
- L'ensemble des variables fondées sur des moyennes (temps moyens d'opération, arrivées moyennes, ...) sont transformées en variables aléatoires suivant une loi normale.

Bien entendu ces différentes hypothèses ou règles sont toutes modulables et paramétrables.

3.2.2 PREMIERS RESULTATS

Les premières simulations consistent à tester le modèle avec différentes hypothèses de volume de trafic, et une capacité des voies routières donnée.

3.2.2.1 Cas d'une demande de l'équivalent de 4 trains/heure

Le cas est pris comme référence. Il s'agit ici d'imaginer 50*4 poids lourds à charger en une heure. Nous simulons donc les choses sur la base de 3 1/3 véhicules à la minute, gare vide au début de la simulation.

Les simulations engagées mettent immédiatement en évidence le caractère critique des opérations de manœuvre dès lors que l'on impose que les places adjacentes soient libres. Cette contrainte, gérée de manière aléatoire impose dès lors un renforcement du nombre de voies de desserte, ce qui revient à permettre une temporisation plus grande. Ce gain de capacité de roulage/attente peut être obtenu de diverses manières sur le plan de l'organisation physique des gares.

Nos calculs font ressortir qu'avec une **capacité de roulage portée à 75 véhicules (soit l'équivalent de 5 voies de circulation parallèles)**, on peut obtenir un système assurant un débit horaire de **180 à 190 véhicules par heure (tendant vers 200 à l'infini...)**, avec un temps de cycle (temps moyen s'écoulant à partir du moment où le contrôle est franchi et le moment où le tracteur quitte la gare) de **31 à 44 minutes environ**, ce qui s'accompagne nécessairement d'un certain nombre de queues aléatoires et non explosives.

Le graphe suivant figure le temps de cycle lors de 4 simulations faites avec les mêmes valeurs de base.

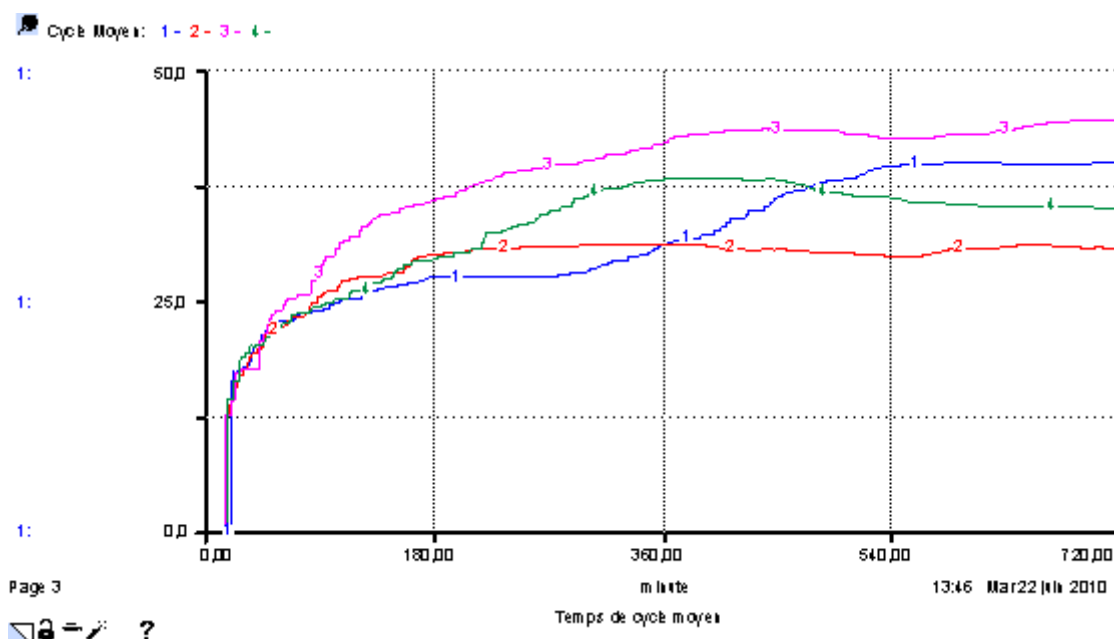


Figure 36 : temps de cycle moyen

Si on maintenait une seule voie de circulation, le temps de cycle évoluerait de manière explosive de même que la queue de poids lourds à l'entrée de la zone de roulage.

En fait, le débit admissible lorsque l'on ne dispose que d'une seule voie de roulage serait de l'ordre de **0,9 poids lourds par minute (environ 54 à l'heure), avec un cycle moyen de l'ordre de 41 minutes**. On arrive en effet plusieurs après la pointe de fin de journée à nombre total de PL attendant en gare à l'embarquement de l'ordre de 1200. Le processus n'est pas soutenable, le système le plus simple consiste alors à écrêter les pointes et accepter un volume maximal de PL par heure.



Figure 37 : nombre de poids lourds en attente

Pour ce faire nous avons réalisé des tests de sensibilité en testant plusieurs valeurs d'écrêtement. La réalité du fonctionnement de l'axe n'est pas homogène compte tenu de la différence significative existant entre les trafics assignés aux gares. Un écrêtement conduit en pratique à plafonner essentiellement le niveau des entrées (et sorties) dans les gares d'extrémité. Et de fait plusieurs gares on in fine alors des trafics comparables.

Nous avons testé différents niveaux d'écrêtement. **A 45 PL par heure** cela permet de limiter les poids lourd demeurant en gare à un total maximal de **470 PL**. Le nombre d'UTI transportées par jour se situe alors à **3200 unités**, ce qui représente environ 40 % du trafic total de l'axe et **7,3 milliards de tonnes.km par an**. **Le temps de bout en bout, de la porte de la gare à la porte de la gare est alors légèrement inférieur à 15 heures, ce chiffre intégrant des attentes de nuit, dont le réalisme est contestable.**

3.2.2.2 Cas de trains espacés de 13 minutes, soit 230 PL par heure

Ce cas qui correspond à environ 3,84 PL/minute, n'a qu'une très faible probabilité de pouvoir être traité avec une capacité de roulage équivalente à **3 voies** (temps de cycles croissant dans le temps..), et requiert plus sûrement l'équivalent de **4 voies**. Dans ce cas, le système semble apte à acheminer une moyenne de **215 semi par heure**.

3.2.2.3 Cas d'une gare d'extrémité en période de pointe

Si l'on part du principe qu'une gare d'extrémité peut avoir à traiter entre 1500 et 2000 PL par jour et par sens (50 % de part de marché), et que le poids horaire en heure de pointe est de l'ordre de

4, l'objectif assigné peut être de traiter de l'ordre de 300 semi par heure sans créer une file d'attente explosive. Prenons comme base 5 semi par minute.

Imaginons une période de pointe de **5 véhicules par minute pendant une heure**, le débit pendant les autres périodes étant de **1 véhicule par minute**.

Une organisation avec une capacité de roulage de 60 véhicules génère une queue maximale en fin de période de pointe mettant une heure à se résorber, le débit horaire plafonnant à 100 véhicule, pour un cycle moyen de 40 minutes environ. La suppression d'une voie de roulage porterait à près d'une heure le temps de cycle moyen et prolongerait le phénomène de queue 3 heures après la fin de la période de pointe.

Avec une capacité de roulage portée à **90 (4 voies ou accès dissociés !)**, on pourrait limiter la queue maximale à une **trentaine** de véhicules, et le temps de cycle moyen se stabiliserait autour de **30 minutes**.

3.2.2.4 Sensibilité au temps de chargement moyen sur le praticable

Nos calculs ont été tous faits avec une durée de chargement prise égale en moyenne à 10 minutes, et un écart type d'1/6 de ce temps.

Si on prend en compte un cycle de **12 minutes au lieu de 10** dans le cadre du scénario dit de 4 trains par heure avec une capacité de roulage de **75**, on obtient une **majoration du cycle de l'ordre de 6 à 10 minutes, compensable par un voie supplémentaire de roulage (capacité de 90)**.

3.2.3 CONCLUSION PROVISOIRE

Sous les diverses hypothèses faites, et sous réserve de la validité du modèle de simulation, il est possible d'affirmer que le système R-Shift-R de base (semis sur praticables) est, pour sa partie routière théoriquement viable à condition de savoir gérer :

- Au moins 2 voies de circulation pour un accès de 1 véhicule par minute ;
- Jusqu'à 3 voies de circulation (4 pour un temps de chargement majoré de 2 minutes) pour un chargement horaire de 4 trains ;
- 4 voies environ minimum en cas de forte période de pointe...

3.3 DEFINITION DE SCENARIOS DE MISE EN ŒUVRE

3.3.1 SCENARIOS TECHNIQUES

Nous avons choisi de différencier deux scénarios techniques correspondant à deux types d'exploitation :

- Des gares traitant des produits conteneurisés (ou « boîtes »).
- Des gares traitant des semi-remorques.

Il est bien entendu possible d'envisager des chantiers combinant les deux techniques, sur la même cour ou des cours voisines. De même la technique R-Shift-R permet parfaitement d'imaginer de dédoubler certaines gares, ou d'en multiplier le nombre sur une ligne lorsque les gares sont à pleine capacité.

3.3.1.1 Gare R-Shift-R type avec manutention horizontale sur praticables

Le scénario est ici celui du traitement de boîtes (caisses ou conteneurs) dans les gares R-Shift-R.

Lorsque l'on examine le processus concret de fonctionnement de la gare RsR au chargement nous avons la séquence suivante :

- Le PL arrive par une voie dédiée
- Il est pris en charge par un système de contrôle. Ce contrôle dure un certain temps, mais peut très bien ne pas être limité en capacité d'accueil (multiplicité de files). Le PL n'est accepté que s'il existe un praticable libre en place.
- Les PL contrôlés et validés (certains pourraient être rejetés - prévoir une sortie). Ils s'engagent sur une voie jusqu'à une zone où ils devront manœuvrer leur PL pour décharger leur Unité de transport. Ce déchargement se ferait par l'arrière sur l'un des praticables désignés. Ce processus est en réalité limité en capacité, et prend un certain temps. C'est précisément la modélisation de cette séquence qui mérite un examen très précis.
- Le PL décharge son praticable. Peut alors se déclencher de manière autonome le processus de chargement du train si celui-ci est en gare. Ce processus spécifique est distinct mais conditionné par le précédent.
- Il repart (il peut en faite aller se positionner pour charger une unité par ailleurs). Pour ce faire il est prioritaire pour utiliser les voies de circulation.
- Il sort de la gare.

Comme on le voit, le processus de desserte des points de chargement ou déchargement est critique, et ce d'autant plus que le même PL emprunte deux fois la voie de circulation, et que les manœuvres génèrent un repérage, des arrêts et le passage en marche arrière. La largeur de la zone de manœuvre permet cependant de débiter la marche arrière en dehors de la zone de roulage, mais ces opérations nous semble requérir un espacement minimal des PL. La réalisation du module de simulation consiste dès lors à «modéliser» le processus décrit.

La description de chaque élément (équation) permet de comprendre le fonctionnement du module de simulation.

- **L'arrivée des poids lourds :** Les poids lourds sont générés par le modèle général AxeFret, selon d'une part des niveaux moyens par gare, pas sens et par jour, qui sont ensuite affectés d'un poids horaire. Ces niveaux sont alors légèrement. Il est prévu par ailleurs dans le modèle de pouvoir plafonner le nombre de poids lourds en prenant en compte une logique d'écêtement à un certain volume horaire et/ou l'importance du nombre de véhicules demeurant en gare (queues ou attentes...). On peut également envisager de «réguler» les arrivées en fonction des horaires de train. L'intérêt de ces options est de permettre de simuler non plus l'adaptation à une demande de pointe, mais une demande lissée. *Rappelons ici que nous prenons comme base 50 % du trafic de l'axe Nord-Pas de Calais-Espagne, organisé autour d'un ensemble de points d'entrée et de sorties localisés au même endroit que les «échangeurs» du projet d'autoroute automatique pour poids lourds étudié par l'Inrets.*
- **Le passage au contrôle.** Rappelons qu'il s'agit d'un processus durant un certain temps (transit time), pouvant accueillir une certaine quantité (inflow limit) de véhicules à la fois et ayant une capacité globale de traitement donnée (capacity). Il fonctionne donc comme un tapis roulant. En pratique, nous avons considéré que seule existait une contrainte de

transit time. Les capacités et la dimension de l'accès (inflow limit), pouvant être «infinis». Ce choix est en effet motivé par le fait que, de notre point de vue, les contraintes de capacité se trouvent en aval. On peut en outre calculer, en fonction du flux traité, le nombre de postes de travail nécessaire. Il est toujours possible de limiter les capacités.

- **Le parcours vers l'aire de manœuvre**, au droit des praticables intervient ensuite. En pratique, il convient à ce niveau, de prévoir **une zone d'attente** en cas d'encombrement de la ligne de roulement. Par voie de conséquence, il convient de déterminer à ce niveau le nombre de manœuvres autorisées.

On autorise le parcours d'un nombre de véhicule n'excédant pas la capacité maximale moins le nombre de PL en mouvement. - Priorité est donnée aux véhicules déjà sur zone.

Par ailleurs, il convient de déterminer (calculer) le **nombre de manœuvres autorisé**. On retient la logique suivante. Il s'agit de calculer le nombre théorique maximal de manœuvres simultanées. On considère qu'il ne peut y avoir simultanément qu'une manœuvre en moyenne par wagon RSR.. En gros, on estime que l'on ne peut avoir plus d'un véhicule en mouvement par zone de 50 mètres. Cette contrainte, qui est ici calculée, peut être exogénisée pour tester l'influence du paramètre.

On «laisse partir» sur la ligne de roulage un nombre de PL égal à : Il s'agit donc d'autoriser un nombre égal au plus à ce qui est autorisé dans la limite des praticables disponibles.

Les **véhicules en manœuvre** sont ceux qui sont en train d'effectuer les déchargements, nombre majoré des véhicules qui reprennent la ligne de roulage pour quitter la gare le long des zones de manœuvre.

Des aléas peuvent être introduits pour affecter les **temps de parcours**. On ajoute un temps pour le démarrage.

- Les **véhicules manœuvrés peuvent décharger leur Unité de transport**. On décharge dans la limite des praticables libres. Pratiquement cette contrainte n'est qu'un contrôle, les véhicules ne devant pas entrer en zone de manœuvre s'il n'y a pas de praticable libre.
- Notons qu'ici intervient le **lien** - à travailler - **avec la zone de déchargement**. Il s'agit en effet de repositionner au chargement des praticables vides. Cette donnée provient du module de simulant les déchargements, sur la base de temps de déchargements identiques aux temps de chargement.
- le **déchargement** intervient (paramètre exogène) Un aléa au déchargement (temps double) intervient une fois sur cent.
- Les **PL doivent de leur côté rejoindre la sortie** (ou la zone de chargement. Le roulage est alors prioritaire et est complémentaire au temps de roulage précédent. au total les PL devant parcourir en moyenne la totalité du chemin de roulage.
- Par ailleurs, les **praticables seront chargés sur les trains en gare, dans la mesure des disponibilités**. La règle retenue est peut charger le linéaire disponible en gare. Le nombre d'UTI chargeable est égal à celui qu'on peut charger dans un train dans la limite des wagons déjà chargé. Une fois les wagons chargés, les praticables sont donc en circulation avec leur UTI.

3.3.1.2 Gare R-Shift-R dédiée aux semi-remorques

Nous nous intéressons ici à un processus dans lequel les véhicules - après contrôle - doivent se rendre à une **zone désignée**, manœuvrer pour mettre leur semi-remorque en **marche arrière** sur un praticable, faire les opérations nécessaires au dételage de la semi, et quittent la zone de déchargement vers la sortie.

3.3.1.2.1 Départ

Les véhicules arrivent à un rythme moyen donné. A partir de cette moyenne et d'un écart-type donné, on calcule le nombre de véhicule entrant par minute selon une loi normale. On peut éventuellement tester l'usage de poids horaires différenciés.

3.3.1.2.2 File d'attente

Ces véhicules se trouvent alors dans une file. Un top de départ leur est donné en fonction d'une part du niveau de circulation sur la voie de desserte et de l'encombrement de la zone de déchargement de la semi. On considère ici l'ensemble des véhicules en circulation (allant décharger ou en revenant). On détermine par ailleurs si il y a éventuellement un véhicule en manœuvre dans la zone de destination (une zone de 4 places en amont et une place en aval de la place désignée). Ce calcul peut se faire de diverses manières. Une méthode peut consister à conditionner le départ en fonction de la destination du véhicule, et de celle des véhicules précédents. On peut aussi procéder en opérant des tirages aléatoires. Dans ce cas, après avoir tiré un numéro de place, on tire un numéro de zone de manœuvre. On s'assure alors que le véhicule va dans une zone non tirée. Autrement dit ce mécanisme revient à temporiser le roulage des véhicules une fois sur 25. On peut faire varier le délai de temporisation.

Les véhicules roulent ensuite en direction de leur place quand ils en ont l'autorisation. Cette autorisation dépend du nombre de véhicules en circulation et de la capacité des voies routières. Cette capacité est modulable (nombre de voies utilisables...). Nous avons considéré que la capacité maximale **par voie de desserte** était de l'ordre de 25 véhicules roulant simultanément.

3.3.1.2.3 Déchargement sur le praticable

La manœuvre (marché arrière) à opérer et le déchargement sur le praticable nécessitent un ensemble d'opérations qui peuvent prendre un temps relativement long et sensiblement proche de 10 à 12 minutes. En outre des manœuvres nécessitent d'avoir la place pour le faire. L'opération de stationnement est ici autorisée si les places adjacentes sont libres.

L'opération se déroule et les véhicules quittant la zone de déchargement sont prioritaires pour s'engager sur les voies de dégagement.

3.3.1.2.4 Variables importantes

Différentes variables sont importantes. Il s'agit (outre le nombre moyen de véhicules arrivant par minute) de :

- La capacité de circulation sur les voies de desserte/dégagement
- Le temps de déchargement de la semi sur le praticable
- La vitesse moyenne de circulation
- Modes de calcul

La simulation étant continue et non une simulation multi-agent, la validité du modèle repose sur l'usage d'un certain nombre de fonctions «rendant compte» des contraintes, sans pour autant disposer d'une simulation de chaque mouvement de chaque agent. Pour ce faire nous avons raisonné de la manière suivante :

On tire au hasard le numéro de place assigné au véhicule. Dans la mesure où nous ne simulons pas la situation de chaque zone nous avons considéré qu'il suffisait au fond de comparer le numéro de place au numéro de place correspondant à celui tiré au hasard dans un passé égal au temps de déplacement jusqu'à la place qui vient d'être tirée. En pratique ce calcul donne un résultat identique à celui qui résulterait d'un tirage aléatoire avec remise parmi 25 zones avec une chance sur 25 de devoir bloquer le départ (temporisation) du véhicule. Nous avons finalement opté pour cette solution.

La possibilité de stationner ou non sans attente consiste à vérifier si les places adjacentes sont libres de manœuvre. En effet la présence éventuelle d'une personne entre des semi remorques voisines pendant une manœuvre n'est pas possible. La simulation repose ici sur un calcul probabiliste : on calcule la probabilité de disposer d'une place sans opérations adjacentes.

L'ensemble des variables fondées sur des moyennes (temps moyens d'opération, arrivées moyennes, ...) sont transformées en variables aléatoires suivant une loi normale.

Bien entendu ces différentes hypothèses ou règles sont toutes modulables et paramétrables.

3.3.2 SCENARIOS « PRATIQUES »

Les simulations font ressortir assez vite des niveaux optimaux de demande « traitable » en respectant le cahier des charges en termes de temps de parcours de gare à gare. Ces niveaux peuvent être obtenus par divers moyen comme en modulant le volume maximal de poids lourds admis par heure dans chaque gare -, ou en lissant les pointes.

Ces niveaux peuvent être modifiés en agissant sur des paramètres techniques des gares.

Les niveaux considérés comme optimaux sont ceux retenus pour les simulations économiques.

3.4 SIMULATION DES SCENARIOS

3.4.1 GARES « POUR BOITES »

Sur la base de l'analyse fonctionnelle nous avons donc considéré qu'il fallait trouver une solution qui permette de détendre le chemin critique, de mettre en place un système de manutention éprouvé, et, si possible, d'assurer des débits horaires supérieurs à celui obtenu par un déchargement des poids lourds « à cul », et édulcorant le coût et le handicap liés à la normalisation générale de l'ensemble des semi à une hauteur fixe.

Le principe retenu est de mettre en place d'une part une manutention verticale permettant de disposer les Unités de Chargement sur les praticables et les auto manipulateurs, ceux-ci opérant ensuite le déplacement vers les trains en gare, en vue de charger les wagons par manutention horizontale (transbordeur).

Nous avons donc la séquence suivante¹ pour le chargement (nous avons le système symétrique au déchargement) :

- Arrivée des poids lourds (voir supra) ;
- Contrôle des poids lourds (idem) ;
- Roulage vers la zone de chargement d'un tapis à rouleaux : le principe est de se rendre vers une des zones de chargement libres disposées le long du train tous les 50 mètres ;
- Manutention sur le tapis sur le praticable ;
- Transfert sur l'auto manipulateur ;
- Parcours du manipulateur vers le wagon désigné ;
- Chargement du wagon s'il y a une place (s'il est déchargé ou libre) ;
- Retour du manipulateur en position de chargement.

Le problème est donc de déterminer les paramètres techniques et comportementaux des différents maillons de la chaîne de traitement des terminaux.

Chacune des tâches ayant été analysée et pouvant faire l'objet de variantes, il a été possible de simuler les processus. Le même processus - quasiment symétrique - est modélisé pour le déchargement.

Les résultats des simulations font ressortir qu'il est possible d'acheminer les demandes suivantes :

	UTI/jour	Milliards de T.km par an
A: 1 train par heure – écrêtement à 50 PL/H	3600	7,3
B : 2 trains par heure – écrêtement à 100PL/H	4500	12,0
C : demande normale non écrêtée	5150	17,0
D : demande normale lissée	6000	17,2

Tableau 6 : simulations donnant les trafics optimaux

L'intérêt de la simulation est de pouvoir calculer les équipements mobilisés, et différentes variables dimensionnelles relatives aux terminaux.

3.4.2 GARE POUR SEMIS

Le principe du chargement des semi implique un roulage vers une zone déterminée au droit de l'emplacement d'un wagon, une opération de chargement en marche arrière, l'arrimage et le dételage de la semi, puis, un roulage vers la sortie.

Ces opérations ont été testées en fonction de différents niveaux de trafic et conformation des gares.

Un premier jeu de simulation a été fait à partir d'un premier modèle de gare réservant trois zones de chargement au droit de chaque wagon. Une telle organisation fait ressortir comme critiques les

¹ Dans le cas où l'on voudrait combiner des chargements de boîtes et des chargements de semi, il conviendrait de prévoir une zone spécifique de chargement des semi sur praticables

opérations de manœuvre. En effet, en prenant comme référence un trafic 100 PL par heure, on obtient assez vite des problèmes de saturation. En effet, les simulations engagées mettent immédiatement en évidence le caractère critique des opérations de manœuvre dès lors que l'on impose que les places adjacentes soient libres. Cette contrainte, gérée de manière aléatoire impose dès lors un renforcement du nombre de voies de desserte, ce qui revient à permettre une temporisation plus grande. Nous en avons conclu qu'il était impossible d'assurer ainsi un débit supérieur à **90 PL** par heure, sauf à imaginer un système complexe de dédoublement des voies de roulage (jusqu'à 3 !).

De même, si l'on part du principe qu'une gare d'extrémité peut avoir à traiter entre 1500 et 2000 PL par jour et par sens (50 % de part de marché), et que le poids horaire en heure de pointe est de l'ordre de 4, l'objectif assigné peut être de traiter de l'ordre de 300 semi par heure sans créer une file d'attente explosive.

Le système ne permet donc pas – sans dédoublement ou augmentation et sophistication des capacités de roulage, de traiter la demande de gares d'extrémité.

Enfin, le système est très sensible aux temps de chargement et aux aléas. En outre :

- Il existe plusieurs intersections de routes possibles sur les zones de manœuvre et de chargement. Celles-ci sont éliminées au moins partiellement par la temporisation dynamique mise en place lors du «top» libérant le PL sur la voie.
- La proximité des insertions entrantes et sortantes sur les zones de manœuvre voisines sont des facteurs pénalisants non estimés.
- Il existe des intersections dynamiques entre la voie de desserte et les tracteurs revenant de déchargement.
- Il faudrait théoriquement moduler la vitesse en fonction de la saturation.

Les contraintes de manœuvre sont à l'origine des saturations de voies de circulation : les supprimer, en diminuant le nombre de places par wagon d'1/3, permet par conséquent d'augmenter massivement la capacité sans surcoût.

Des simulations établies sur cette base font ressortir la possibilité d'acheminer la demande suivante :

	UTI/jour	Milliards de T.km par an
A: 1 train par heure Écrêtement à 50 PL/H	3900	8,4
B : 2 trains par heure écrêtement à 100PL/H	4400 en écrétant à 80 environ	11,7 (ibid)
D : Demande normale mais lissée	6000	16,9

Tableau 7 : simulations donnant les trafics optimaux²

La conclusion de ces deux simulations est que les gares traitant des semi ne peuvent faire face à une demande ayant de fortes variations horaires, mais doit disposer d'une demande lissée (rendez-vous ?). Sous cette hypothèse, le transport combiné assuré pourrait atteindre de l'ordre

² Le scénario C est impossible

de 6000 PL/jour et environ 17 milliards de tonnes.km. Le transport de boîtes est plus productif sans lissage (5150 boîtes) et permet d'acheminer environ 6000 boîtes, c'est à dire le même nombre d'UTI que précédemment dans le cas d'un lissage. Une petite différence de tonnage kilométrique en faveur du transport de boîtes semble lié à la possibilité de traiter sensiblement plus de trafic de bout en bout.

Dans le cas de trafics écrêtés les résultats sont comparables compte tenu des aléas pouvant être prise en compte dans les diverses simulations.

Ces considérations conduisent naturellement à des résultats économiques sensiblement différents – selon les hypothèses de régulation de trafic en particulier – pour les deux techniques.

3.4.3 ÉLÉMENTS TECHNIQUES RETENUS (TEMPS ET COUTS)

Les calculs de coût sont établis de manière à permettre une estimation de coûts journaliers rapportés ensuite à l'UTI.km. Pour ce faire chaque rubrique de charge fait l'objet (cf rapport Axefret) selon le cas, soit d'un calcul de coût variable (qui peut être ou non proportionnel), soit d'un calcul de coût fixe.

Les investissements sont évalués d'une part en déterminant leur durée de vie, ce qui conduit à une « annuité d'amortissement économique » qui est ensuite journalisée, puis à une majoration pour prendre en compte le financement (soit courts soit longs pour simplifier).

Les installations fixes, les effectifs, les moyens de manutentions sont calculés de manière à permettre de traiter la demande, et sont donc « établies » par le simulateur à un niveau « suffisant » que l'on prend le soin de majorer.

Les effectifs prennent en compte les besoins majorés des congés et absences.

On fournit en annexe les valeurs retenues pour chacun des postes de charge. Ces différentes valeurs peuvent faire l'objet de modifications et de tests de sensibilité.

4. ÉVALUATION DES SCENARIOS

4.1 RESULTAT D'ENSEMBLE SELON LES SCENARIOS TECHNIQUES

Les hypothèses de coût unitaire, les enveloppes de prix et pourcentage appliqués pour maintenance, infrastructure et de manière générale l'ensemble des coûts qui régissent le terminal (main d'œuvre, BTP, énergie, engins, ...) sont regroupés pour plus de lisibilité dans l'annexe 2 qui détaille à la fois les coûts pour la solution nominale, les coûts des équipements spécifiques proposés dans la solution alternative et les équations régissant ces coûts et leur intégration dans un terminal. Les hypothèses de fonctionnement du chantier ont été préalablement exposées dans le chapitre précédent.

Les principaux résultats obtenus à travers le modèle AxeFret RSR, qui calcule des coûts annualisés prenant en compte l'ensemble des investissements, peuvent être tout d'abord étudiés en termes de « faisabilité économique ». La rentabilisation théorique d'une ligne dédiée suppose que le prix de revient kilométrique complet est taxable, ou, à tout le moins, que le prix de revient hors infrastructure ferroviaire linéaire, est compétitif et l'amortissement de la voie « finançable » via un péage (pris en charge par le client) et une subvention d'équipement.

	Gares dédiées aux semi-remorques					Gares dédiées aux "boîtes"				
	UTI/Jour	G.Tkm par an	Coût en € hors infra à l'UTI.km	Coût en € avec Infra à l'UTI.km	Infra seule	UTI/Jour	G.Tkm par an	Coût en € hors infra à l'UTI.km	Coût en € avec Infra à l'UTI.km	Infra seule
A: 1 train par heure Écrêtement à 50 PL/H	3900	8,4	0,98	2,22	1,24	3600	7,3	0,91	2,3	1,39
B : 2 trains par heure écrêtement à 100 PL/H	4400 en écrétant à 80 environ	11,7 (ibid)	0,88	1,76	0,88	4500	12	0,73	1,58	0,85
C : Demande normale non écrêtée	Impossible				0	5150	17	0,65	1,27	0,62
D : Demande normale mais lissée	6000	16,9	0,79	1,4	0,61	6000	17,2	0,65	1,25	0,6

Tableau 8 : scénarios de base et résultats

Dans l'état actuel de nos estimations, le transport de conteneurs ou de caisses nous semble pouvoir être rentabilisable. En effet, nous obtenons un prix de revient kilométrique hors infrastructure et péage **de l'ordre de 0,65 €, même sans lissage de la demande**, ce qui conduit à

un prix de vente avec péage de l'ordre de **0,75 €**. Le montant de l'amortissement et du financement de la voie reviendrait à 0,6 €/ UTI.km, ce qui nous semble en revanche difficile à imputer. Le reliquat après péage – de l'ordre de 0,5 € par UTI.km représenterait une charge annuelle (subvention publique) de 440 millions d'€ par an.

En revanche, dès lors que les niveaux d'activités se pourraient atteindre de l'ordre de 6000 boîtes par jour, les conditions de rentabilisation se dégraderaient vite.

Dans le cas de gares dédiées aux semi-remorques, les coûts kilométriques seraient supérieurs (**0,79 €** dans le cas de la demande lissée par exemple), auquel il convient d'ajouter le même coût kilométrique d'infrastructures. L'obligation du lissage de la demande est une contrainte relativement forte qui vient s'ajouter à un coût supérieur.

En d'autres termes, le fait de traiter des semis plutôt que des caisses ou des conteneurs impose – en raison de la gestion du temps de chargement/déchargement dans les gares – des contraintes plus fortes, et sans doute plus coûteuses.

4.2 RESULTATS DE COÛTS DANS LE CADRE DES SCENARIOS OPTIMAUX

On considère ici les scénarios optimaux pour les deux techniques, avec un fonctionnement global simulé de l'axe.

Une analyse globale des coûts peut être faite – dans la limite des analyses actuellement faites sur le plan technique et fonctionnel – et en prenant comme base le scénario le plus favorable pour chaque scénario technique.

Les coûts observés sont globalement comparables sauf en ce qui concerne les gares dont le coût en personnel semble devoir être supérieur (+ 10 % ?) pour les gares dédiées aux semi. Mais ce point devra être discuté.

Au total, le **coût global annuel** du système RSR semble devoir être compris **entre 1,3 et 1,5 milliard d'€**.

Sur cet ensemble le coût prédominant est celui de la voie (plus de la moitié). Les wagons RSR viennent ensuite devant **les gares dont le coût annuel (amortissement et financement compris) est compris entre 230 et 370 millions d'€**, selon les scénarios techniques. Dans le cas des semi la part des gares serait d'environ ¼ du coût.

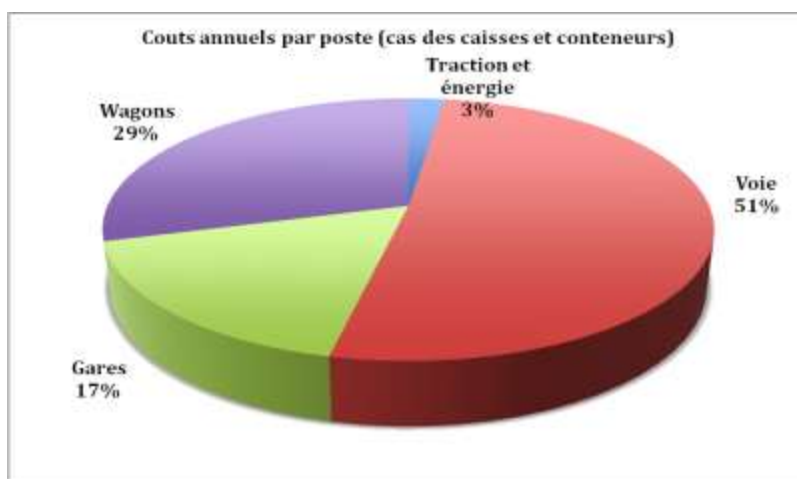


Figure 38 : coûts annuels par catégories de dépenses

4.3 NATURE DE LA DEMANDE ET EVOLUTION FACE A L'OFFRE

La question de la demande potentielle et de son évolution face à une offre technique donnée est posée.

Un débat a eu lieu entre les évaluateurs, sans pouvoir converger vers une position unique. En outre se pose –dans le même contexte général – la question du déploiement de l'offre dans le temps, et donc du bilan économique réel pendant cette période.

Le transport combiné est, pour l'entreprise qui l'utilise régulièrement, d'autant plus rentable que l'on dissocie le véhicule de l'unité de chargement. Au niveau mondial le succès des caisses mobiles et des conteneurs en transport continental est avéré. Partout dans le monde, la part de marché des « boîtes » augmente au détriment des transports de véhicules, accompagnés ou non, et des semi-remorques. Ce phénomène est sans doute renforcé par la croissance très forte du transport terrestre de conteneurs maritimes, qui bénéficie ou peut bénéficier des mêmes infrastructures et des mêmes moyens de transport routier.

Une stratégie de développement du combiné visant à prendre une part significative du marché routier devrait prendre en compte cet état de fait, et s'appuyer sur le déploiement d'une offre - par exemple sur des axes dédiés ou au sein d'un réseau « fret », reposant sur le transport de boîtes. L'utilisation du système RSR permet d'assurer un système de desserte souple, aux arrêts plus nombreux tout en limitant les temps de transit dans les gares. Son utilisation avec des caisses mobiles et des conteneurs, plus souple et supportant des pointes de trafic, nous semble permettre un déploiement plus rapide, moins onéreux et globalement plus rentable tant pour les clients que pour les opérateurs de transport combiné... et la puissance publique.

L'utilisation à terme en réseau ne souffrirait pas bien au contraire d'un système organisé pour traiter des boîtes, raison pour laquelle une solution alternative prenant en compte cet aspect a été creusée.

La constitution d'une offre dédiée au semi nous semble difficile à faire cohabiter avec une offre dédiée aux boîtes dans la mesure où nous n'avons pas retenu l'option de la manutention horizontale des boîtes à partir de semi « à cul » dans des gares construites pour traiter des semis. Il reste que le traitement d'une offre spécifique aux semis est toujours possible – bien que coûteuse - pour les gares de très fort trafic en dédoublant les quais pour traiter des trains spécifiques. Il est par ailleurs également envisageable de dédier une portion des gares au traitement de semi, ce qui revient également à dédier une partie des trains, et à compliquer la gestion des flux de gare à gare (déséquilibres gérés sur deux modalités au lieu d'une).

Il reste qu'il nous semble peu crédible de vouloir développer un transport de masse compétitif en s'appuyant sur une technique en voie de disparition, plus chère pour tous, plus gourmande en temps et plus complexe à gérer dans les gares. Les politiques classiques en faveur du développement du parc de caisses mobiles semblent dans tous les cas préférable à une conquête – provisoire – d'un marché de transport de semi-remorques.

4.4 BILAN ENVIRONNEMENTAL

Dans le cadre de l'application du protocole de Kyoto, la France devra stabiliser ses émissions de gaz à effet de serre (GES) à leur niveau de 1990 à l'horizon 2008-2012. En 2005, le secteur des transports reste le premier poste d'émission des émissions de GES en France avec 25,6%, devant le tertiaire et résidentiel et l'industrie¹. Le « plan climat » adopté le 22 juillet 2004, actualisé en 2006, prévoit 8 orientations dont la rationalisation de l'utilisation des modes de transport.

Par ailleurs, l'étude de l'efficacité énergétique et environnementale des modes de transport a permis d'actualiser et compléter les données des études réalisées antérieurement par les cabinets ENERDATA et EXPLICIT, respectivement pour les années 2001 et 2000 et d'élargir le périmètre par rapport aux travaux de 2002 puisque les émissions du "puits à la roue" sont considérées, notamment les émissions de CO₂ associées au mode de production d'électricité et à la production de carburant. L'étude a permis de définir les ordres de grandeur qui définissent les efficacités énergétiques (gep) et environnementales (CO₂) des modes à partir des données de l'année 2005 comme référence. On présente l'un des comparatifs issus de cette étude.

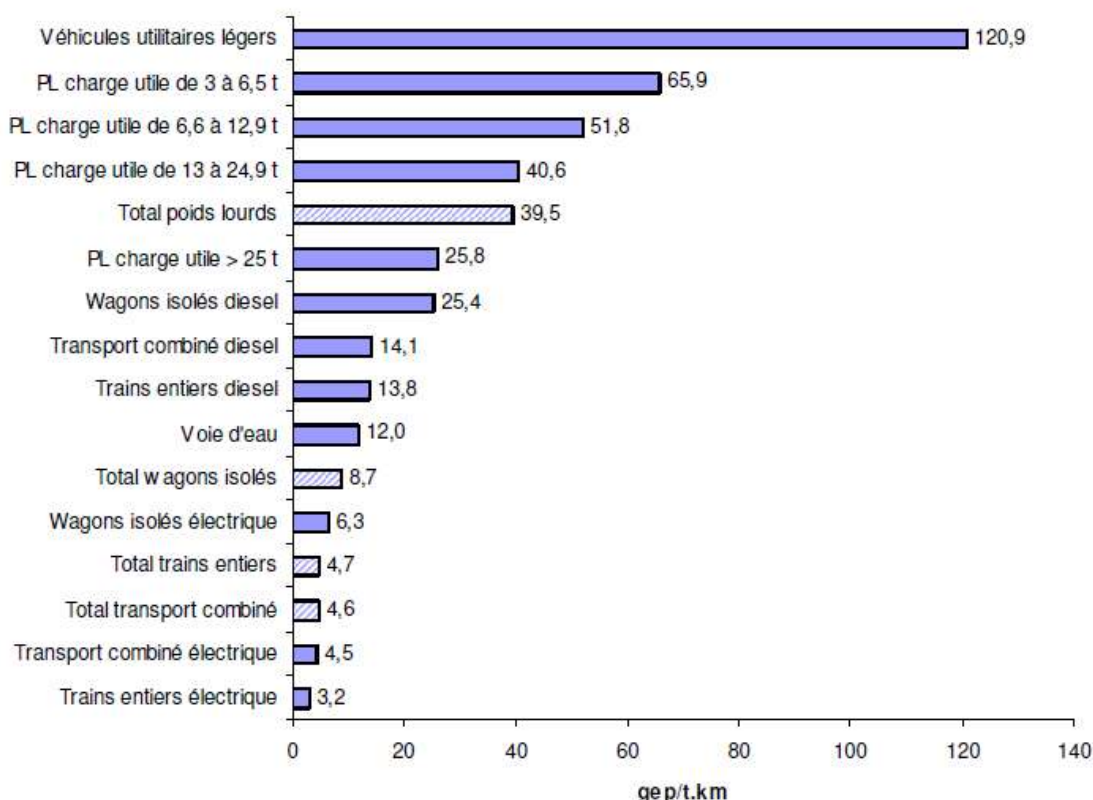


Figure 39 : comparaison des consommations unitaires d'énergie pour le transport interurbain de marchandises (2000) selon la catégorie

Le Bilan Carbone est une méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités propres à la collectivité ou à toute activité située sur son territoire. Cet outil de mesure a été développé par l'ADEME. Il comprend 2 volets :

- Un volet « Patrimoine et Services » : il concerne le patrimoine strict (bâtiments administratifs et activités des agents), ainsi que ce qui concerne l'ensemble de leurs domaines d'intervention (routes, etc.) ;

- Un volet « Territoire » : il concerne les sources externes aux collectivités, c'est-à-dire l'ensemble des activités du territoire hors service public (production d'énergie, autres productions industrielles, transport de marchandises, de personnes, déchets...).

Les objectifs du Bilan Carbone sont d'estimer les émissions de GES générées par les activités sur l'ensemble du terminal, et d'identifier les postes fortement émetteurs et les enjeux associés. Le fret ferroviaire possède un bilan carbone extrêmement positif, et apparaît comme le mode de transport le plus adapté à une politique de développement durable ; en effet, son efficacité énergétique 2 à 3 fois supérieure à celle de la route : avec l'énergie équivalente à 1 kg de pétrole par tonne de marchandise, un camion parcourt 58 kilomètres alors qu'un train en parcourt 111.

Au niveau environnemental, on peut comparer la manutention effectuée sur le terminal pour la mise dans les coques aux chantiers de transport combiné. Dès lors, il devient possible de comparer les bilans énergétiques et économiques des deux moyens de transport.

En prenant comme base de calcul les facteurs d'émission du transport sur l'autoroute ferroviaire (traction électrique) pour le transbordement intégré, avec l'hypothèse que les émissions de chargement pour l'autoroute ferroviaire sont équivalentes à celles du transport combiné, on obtient 0,2 g de CO₂ par tonne.km si l'on prend les rejets en phase d'utilisation et 4,4 g CO₂ par t.km si l'on intègre les rejets amont (production de l'énergie électrique).

Au niveau des facteurs d'émission de la route et sur la base de marchandises transportées de 19t et d'une consommation des tracteurs diesel 35 l/100 km, on obtient 49 g de CO₂ par t.km en utilisation et 55 g CO₂ par t.km avec la phase amont.

Le différentiel entre la route et les autoroutes ferroviaires est donc de près de **50 gCO₂ /t.km** (dont phase amont) ou 49 gCO₂ /t.km (utilisation seule).

A titre d'information, les valeurs tutélaires d'une tonne de CO₂ sont les suivantes par année (source Centre d'Analyse Stratégique) :

Pour 1 tonne CO ₂	2010	2020	2030	2050
Valeur recommandée	32 €	56 €	100 €	200 € (150 à 350 €)
Valeur actuelle (valeur « Boiteux »)	32 € (*)	43 €	58 €	104 €

(*) Le rapport Boiteux donnait une valeur de la tonne de CO₂ de 27€ en 2000, correspondant, après prise en compte de l'inflation à une valeur de 32€ en 2008.

Tableau 9 : valeurs tutélaires de valorisation monétaire des émissions de CO₂

En prenant un maximum de 0,9 milliards d'UTI.km par an, il vient une baisse d'émissions de CO₂ de l'ordre de 870 000 tonnes de CO₂, ce qui donne environ 28 millions €/an à la valeur d'aujourd'hui. La valeur d'équilibre du Carbone pour compenser la subvention annuelle est égale, dans le meilleur des cas, s'établirait à plus de 504 €/tonne, autant dire un niveau inenvisageable.

On peut également calculer d'autres avantages économiques liés à la décongestion des routes grâce au report modal, une diminution de la maintenance du gros entretien routier grâce à la diminution du nombre de poids lourds ayant le plus fort impact sur la chaussée...

5. CONCLUSIONS

Le résultat des analyses complémentaires a conduit à approfondir la solution nominale du concept R-Shift-R et à rechercher des solutions possibles permettant de traiter la mixité des Unités de Transport. Il s'est ensuite agi d'entrer les données dans un modèle de terminal développé en dynamique des systèmes afin de simuler un fonctionnement en continu pendant un laps de temps suffisant pour tirer des enseignements sur la viabilité des concepts mis en œuvre, la formation de goulets d'étranglement et le temps de retour en situation normale.

Sur la base des résultats obtenus il paraît raisonnable d'affirmer que le concept semble viable et économiquement rentable si les hypothèses de trafic retenues peuvent être réunies sur un axe dédié du type de celui pris en compte dans l'étude (issu du projet RAPL, repris dans Axefret).

Les réflexions menées à ce point du projet n'ont cependant pas permis aux partenaires de converger vers une vision commune quant à la viabilité de la solution préconisée initialement ou d'alternatives visant la gestion de la mixité des UTI. La difficulté à objectiver le jugement semble normale compte tenu de la complexité de la problématique. Elle plaide aussi en la faveur du développement d'un prototype opérationnel afin de trancher définitivement sur la faisabilité des points clés : le chargement/déchargement sur les wagons, la manipulation des praticables, et la gestion logistique des poids lourds dans le terminal.

Certains points n'ont en effet pas trouvé de consensus au sein du consortium, concernant notamment :

- La différenciation entre les gares dites d'extrémité ou intermédiaires avec une architecture et un nombre d'équipements différents.
- La question du cisaillement des voies.
- L'organisation de la gare avec du personnel dédié pour effectuer les manœuvres.
- La manœuvre à opérer par les camions impliquant une marche arrière et des marges assez faibles dans un environnement en perpétuel mouvement, eu égard au débit, et les contraintes de positionnement et la gestion des modes dégradés qui s'ensuivent.
- L'obligation faite au monde routier d'étaler les flux dans la journée.

Parmi les solutions alternatives, on conçoit que les deux dernières s'éloignent beaucoup de la solution nominale et semblent moins réalistes.

La mise en place des mécanismes proposés a pour but de ne pas contraindre les utilisateurs potentiels du ferroutage à utiliser un type de contenant et de les enjoindre à étaler les flux dans la journée avec un système de réservation ou de tarifs préférentiels selon les créneaux (comme pour le routier avec les péages à tarif modulable sur l'autoroute du Nord par exemple), tout en gardant une productivité suffisante pour traiter du haut débit et calculer un écrêtage maximal et donc une durée d'attente maximale admissible.

Le dimensionnement des gares doit être réalisé en fonction des flux captibles estimés, de la taille supposée des trains (50 wagons ou extension aux trains longs), et de la cadence maximale induite par ces estimations afin de déterminer le point de bascule économique entre le fonctionnement routier actuel et la solution ferroviaire, et effectivement permettre l'adoption du nouveau service.

6. ANNEXES

6.1 ANNEXE 1 : ÉQUATIONS REGISSANT LES MODELES DE TERMINAUX

6.1.1 ADAPTATION DU MODELE AXEFRET

Le modèle Axefret simule – sur un mode continu (dynamique des systèmes) le fonctionnement d'un axe ferroviaire dédié au fret sur l'axe Nord-Sud-Ouest. Cet axe est composé d'une ligne et d'un certain nombre de gares organisées en dérivation de la ligne principale.

Ce système permet de limiter les temps d'arrêt en gare et les manœuvres ferroviaires.

La simulation dans Axefret répond à une logique très. Nous générons d'un côté une demande par gare (à l'émission et à la réception). Cette demande peut être modulée de plusieurs manières. La demande « entrante » est alors traitée dans une gare (ou terminal) selon un processus modélisé de manière assez détaillée. Les manutentions permettent de charger les wagons lorsque ceux-ci sont disponibles et vides. Les trains partent selon un programme donné (fréquence), tout en respectant les distances de sécurité. Corrélativement les unités chargées sur les wagons sont traités dans les gares suivantes selon la demande .

La simulation est opérée pendant une période suffisante pour assurer d'une part la montée en charge du trafic, et d'autre part l'équilibrage progressif du système. En pratique nous simulons l'axe pendant 72 heures.

L'un des points les plus importants réside dans la modélisation des opérations en gare.

Dans le modèle AxeFret initial, les choses étaient simples : on considérait les chantiers comme une boîte noire devant – compte tenu de la durée moyenne d'une manutention unitaire, disposer d'une capacité suffisante pour traiter la demande, en donnant la possibilité d'agir sur un certain nombre de variables économiques ou techniques (paramètres de coût unitaire, ou vitesse par exemple). On ne savait pas si les volumes ainsi obtenus pouvaient être véritablement traités puisqu'on ne décrivait pas dans le détail les opérations en gare.

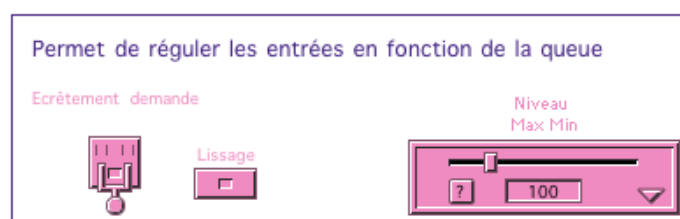


Figure 40 : boutons et curseurs destinés à réguler la demande

Dans la version AxeFret RSR, nous avons défini des modules spécifiques destinés à simuler le fonctionnement des gares en lien avec les analyses fonctionnelles menées, et introduit un certain nombre de « boutons » permettant d'une part d'écarter la demande à un certain niveau maximal horaire, et de lisser la demande..

Compte tenu de l'existence de deux techniques possibles, nous avons finalement développé deux versions du modèle, l'une traitant des « boîtes », l'autre des semi. Autrement dit, els deux modèles se distinguent par la nature de la manutention retenue au stade du chargement/déchargement du véhicule routier. Les deux diagrammes du module de chargement



**Rapport final
R-Shift-R II**



sont repris ci-après. Les modules de déchargement, dont nous ne reproduisons pas les diagrammes et les équations sont strictement symétriques.



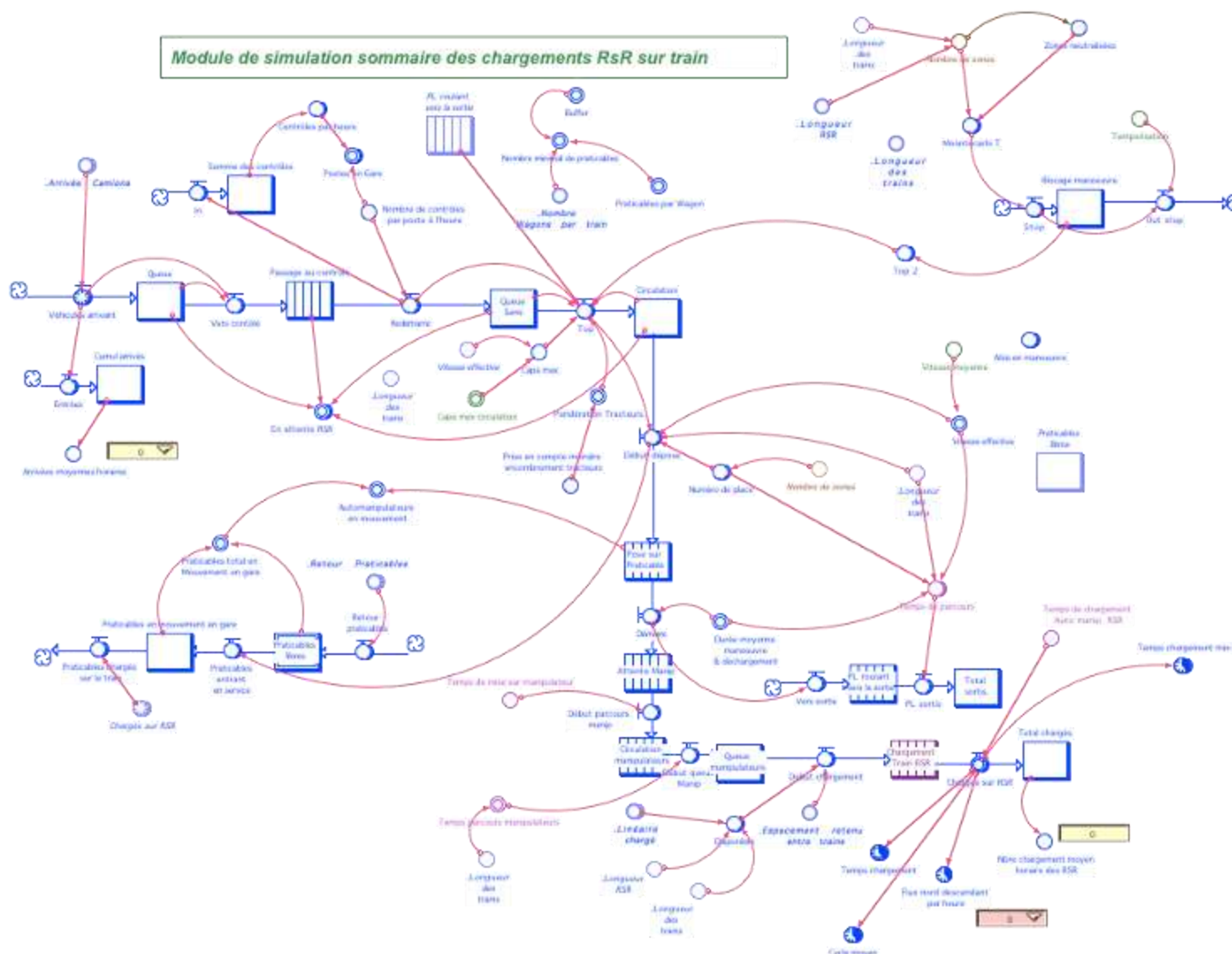


Figure 42 : module de chargement Semi-remorques

6.1.2 ÉQUATIONS DES MODULES D'ENTREE

Les équations sont détaillées, de même, pour les deux modules définis : boîtes et semis.

6.1.2.1 Boîtes

```
Attente_Manip[Gares,Sens](t) = Attente_Manip[Gares,Sens](t - dt) + (vers_manipulateurs[Gares,Sens] - Début_parcours__manip[Gares,Sens]) * dt
INIT Attente_Manip[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
vers_manipulateurs[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_parcours_sur_tapis
OUTFLOWS:
Début_parcours__manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_mise_sur_manipulateur
Banc_transfert_roulant[Gares,Sens](t) = Banc_transfert_roulant[Gares,Sens](t - dt) + (Pose[Gares,Sens] - vers_manipulateurs[Gares,Sens]) * dt
INIT Banc_transfert_roulant[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Pose[Gares,Sens] = Pose_banc[Gares,Sens]
OUTFLOWS:
vers_manipulateurs[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_parcours_sur_tapis
Chargement__Train_RSR[Gares,Sens](t) = Chargement__Train_RSR[Gares,Sens](t - dt) + (Début_chargement[Gares,Sens] - Chargés_sur_RSR[Gares,Sens]) * dt
INIT Chargement__Train_RSR[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Début_chargement[Gares,Sens] = Disponible[Gares,Sens]/.Espaceement_retenu__entre_trains
```

DOCUMENT: on doit calculer ici un flux par heure. D'où l'opération prenant en compte l'espacement des trains. En effet dans l'enchaînement des convoyeurs les réservoirs se comportent comme des queues.

On doit donc ici déterminer la valeur horaire du flux de chargement.

```
OUTFLOWS:
Chargés_sur_RSR[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_chargement_Auto_manip__RSR
```

DOCUMENT: flux de RSR chargés par gare

```
TIMESTAMPEDCirculation[Gares,Sens](t) = Circulation[Gares,Sens](t - dt) + (Top[Gares,Sens] - Stop[Gares,Sens]) * dt
INIT Circulation[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Top[Gares,Sens] = IF (Circulation[Gares,Sens]+PL_roulant__vers_la_sortie[Gares,Sens]*Pondération_Tracteurs)> Capa_max THEN 0 ELSE (Queue__Semi[Gares,Sens]+Redémarre[Gares,Sens])
OUTFLOWS:
Stop[Gares,Sens] = DELAY(Top[Gares,Sens],(.Longueur_des_trains-(Zone[Gares,Sens]*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)+.5*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)/Vitesse_effective)
Circulation__manipulateurs[Gares,Sens](t) = Circulation__manipulateurs[Gares,Sens](t - dt) + (Début_parcours__manip[Gares,Sens] - Début_queue__Manip[Gares,Sens]) * dt
INIT Circulation__manipulateurs[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Début_parcours__manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_mise_sur_manipulateur
OUTFLOWS:
```

```

Début_queue__Manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_parcours_manipulateurs
Cumul_arrivés[Gares,Sens](t) = Cumul_arrivés[Gares,Sens](t - dt) + (Entrées[Gares,Sens]) * dt
INIT Cumul_arrivés[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Entrées[Gares,Sens] = Véhicules_arrivant[Gares,Sens]
Déchargement_UTI[Gares,Sens](t) = Déchargement_UTI[Gares,Sens](t - dt) + (Stop[Gares,Sens] -
Déchargés[Gares,Sens]) * dt
INIT Déchargement_UTI[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Stop[Gares,Sens] = DELAY(Top[Gares,Sens],(.Longueur_des_trains-
(Zone[Gares,Sens]*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)+.5*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)/Vitesse_
effective)
OUTFLOWS:
Déchargés[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Durée_coup_de_pince
Passage_au_contrôle[Gares,Sens](t) = Passage_au_contrôle[Gares,Sens](t - dt) + (Vers_contôle[Gares,Sens] -
Redémarre[Gares,Sens]) * dt
INIT Passage_au_contrôle[Gares,Sens] = 0

```

DOCUMENT: Le passage au contrôle à une durée moyenne déterminée.

Elle varie selon une loi de probabilité.

La capacité du système de contrôle est ici in fine.

```

INFLOWS:
Vers_contôle[Gares,Sens] = Queue[Gares,Sens]+Véhicules_arrivant[Gares,Sens]
OUTFLOWS:
Redémarre[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = 1/Random(Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*.9,Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*1.1)
PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens](t) = PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens](t - dt) + (Vers_sortie[Gares,Sens]
- PL_sortis[Gares,Sens]) * dt
INIT PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Vers_sortie[Gares,Sens] = Déchargés[Gares,Sens]
OUTFLOWS:
PL_sortis[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = ((Zone[Gares,Sens]*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)-
.5*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)/Vitesse_effective

```

DOCUMENT: Temps moyen pondéré calculé en prenant la moyenne des distances à parcourir selon les zones.

Pondératio = nombre de véhicules quittant les portiques

```

Pose_banc[Gares,Sens](t) = Pose_banc[Gares,Sens](t - dt) + (Déchargés[Gares,Sens] - Pose[Gares,Sens]) * dt
INIT Pose_banc[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Déchargés[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Durée_coup_de_pince
OUTFLOWS:
Pose[Gares,Sens] = Pose_banc[Gares,Sens]
Praticables__libres[Nord,Montant](t) = Praticables__libres[Nord,Montant](t - dt) +
(Retour__praticables[Nord,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Nord,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Nord,Montant] = 0

```



```

Praticables__libres[Nord,Descendant](t)      =      Praticables__libres[Nord,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Nord,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Nord,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Nord,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Picardie,Montant](t)      =      Praticables__libres[Picardie,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Picardie,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Picardie,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Picardie,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Picardie,Descendant](t)    =      Praticables__libres[Picardie,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Picardie,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Picardie,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Picardie,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Ouest_Idf,Montant](t)      =      Praticables__libres[Ouest_Idf,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Ouest_Idf,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Ouest_Idf,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Ouest_Idf,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Ouest_Idf,Descendant](t)    =      Praticables__libres[Ouest_Idf,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Ouest_Idf,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Ouest_Idf,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Ouest_Idf,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud_Idf,Montant](t)      =      Praticables__libres[Sud_Idf,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Sud_Idf,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Sud_Idf,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud_Idf,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud_Idf,Descendant](t)      =      Praticables__libres[Sud_Idf,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Sud_Idf,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Sud_Idf,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud_Idf,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Poitou,Montant](t)      =      Praticables__libres[Poitou,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Poitou,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Poitou,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Poitou,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Poitou,Descendant](t)      =      Praticables__libres[Poitou,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Poitou,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Poitou,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Poitou,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Bordeaux,Montant](t)      =      Praticables__libres[Bordeaux,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Bordeaux,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Bordeaux,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Bordeaux,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Bordeaux,Descendant](t)    =      Praticables__libres[Bordeaux,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Bordeaux,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Bordeaux,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Bordeaux,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud,Montant](t) = Praticables__libres[Sud,Montant](t - dt) + (Retour__praticables[Sud,Montant] -
Praticables__entrant__en_service[Sud,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud,Descendant](t)      =      Praticables__libres[Sud,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Sud,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Sud,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud,Descendant] = 0
INFLOWS:
Retour__praticables[Nord,Montant] = 0
Retour__praticables[Nord,Descendant] = .Retour_Praticables[Nord,Montant]
Retour__praticables[Picardie,Montant] = .Retour_Praticables[Picardie,Montant]
Retour__praticables[Picardie,Descendant] = .Retour_Praticables[Picardie,Descendant]
Retour__praticables[Ouest_Idf,Montant] = .Retour_Praticables[Ouest_Idf,Montant]
Retour__praticables[Ouest_Idf,Descendant] = .Retour_Praticables[Ouest_Idf,Descendant]
Retour__praticables[Sud_Idf,Montant] = .Retour_Praticables[Sud_Idf,Montant]
Retour__praticables[Sud_Idf,Descendant] = .Retour_Praticables[Sud_Idf,Descendant]
Retour__praticables[Poitou,Montant] = .Retour_Praticables[Poitou,Montant]
Retour__praticables[Poitou,Descendant] = .Retour_Praticables[Poitou,Descendant]
Retour__praticables[Bordeaux,Montant] = .Retour_Praticables[Bordeaux,Montant]
Retour__praticables[Bordeaux,Descendant] = .Retour_Praticables[Bordeaux,Descendant]
Retour__praticables[Sud,Montant] = .Retour_Praticables[Sud,Descendant]
Retour__praticables[Sud,Descendant] = 0
OUTFLOWS:
Praticables__entrant__en_service[Gares,Sens] = Pose_banc[Gares,Sens]

```

DOCUMENT: Prise en compte des praticables entrant dans le processus de chargement

```
Praticables_en_mouvement_en_gare[Gares,Sens](t) = Praticables_en_mouvement_en_gare[Gares,Sens](t - dt) +
(Praticables__entrant__en_service[Gares,Sens] - Praticables_chargés__sur_le_train[Gares,Sens]) * dt
INIT Praticables_en_mouvement_en_gare[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Praticables__entrant__en_service[Gares,Sens] = Pose_banc[Gares,Sens]
```

DOCUMENT: Prise en compte des praticables entrant dans le processus de chargement

```
OUTFLOWS:
Praticables_chargés__sur_le_train[Gares,Sens] = Chargés_sur_RSR[Gares,Sens]
```

DOCUMENT: Les praticables sortent du processus et sont installés sur le train

```
Queue[Gares,Sens](t) = Queue[Gares,Sens](t - dt) + (Véhicules_arrivant[Gares,Sens] - Vers_contôle[Gares,Sens]) * dt
INIT Queue[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Véhicules_arrivant[Gares,Sens] = normal(.Arrivée_Camions[Gares,Sens],.Arrivée_Camions[Gares,Sens]/20)
TIMESTAMPED
OUTFLOWS:
Vers_contôle[Gares,Sens] = Queue[Gares,Sens]+Véhicules_arrivant[Gares,Sens]
Queue__Semi[Gares,Sens](t) = Queue__Semi[Gares,Sens](t - dt) + (Redémarre[Gares,Sens] - Top[Gares,Sens]) * dt
INIT Queue__Semi[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Redémarre[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = 1/Random(Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*.9,Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*1.1)
OUTFLOWS:
Top[Gares,Sens] = IF (Circulation[Gares,Sens]+PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens]*Pondération_Tracteurs)>
Capa_max THEN 0 ELSE (Queue__Semi[Gares,Sens]+Redémarre[Gares,Sens])
Queue__manipulateurs[Gares,Sens](t) = Queue__manipulateurs[Gares,Sens](t - dt) +
(Début_queue__Manip[Gares,Sens] - Début_chargement[Gares,Sens]) * dt
INIT Queue__manipulateurs[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Début_queue__Manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_parcours_manipulateurs
OUTFLOWS:
Début_chargement[Gares,Sens] = Disponible[Gares,Sens]/.Espaceement_retenu__entre_trains
```

DOCUMENT: On doit calculer ici un flux par heure. D'où l'opération prenant en compte l'espacement des trains. En effet dans l'enchaînement des convoyeurs les réservoirs se comportent comme des queues.

On doit donc ici déterminer la valeur horaire du flux de chargement.

```
Somme_des__contrôles[Gares,Sens](t) = Somme_des__contrôles[Gares,Sens](t - dt) + (In[Gares,Sens]) * dt
INIT Somme_des__contrôles[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
In[Gares,Sens] = Redémarre[Gares,Sens]
Total__sortis[Gares,Sens](t) = Total__sortis[Gares,Sens](t - dt) + (PL_sortis[Gares,Sens]) * dt
INIT Total__sortis[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
PL_sortis[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = ((Zone[Gares,Sens]*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)-.5*.Longueur_des_trains/Nombre_de_zones)/Vitesse_effective
```

DOCUMENT: Temps moyen pondéré calculé en prenant la moyenne des distances à parcourir selon les zones.

Pondératio = nombre de véhicules quittant les portiques

$Total_chargés[Gares,Sens](t) = Total_chargés[Gares,Sens](t - dt) + (Chargés_sur_RSR[Gares,Sens]) * dt$

INIT Total_chargés[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

Chargés_sur_RSR[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT TIME = Temps_de_chargement_Auto_manip__RSR

DOCUMENT: flux de RSR chargés par gare

$TIMESTAMPEDAléa_en_manoeuvre[Gares,Sens] = 1 + MONTECARLO(1)$

DOCUMENT: Génère un événement ayant une chance sur 100 d'arriver. Dans ce cas la durée de manœuvre double.

Arrivées_moyennes_horaires = If time > 1 then ARRAYSUM(Cumul_arrivés[*,*])/Time Else 0

Automanipulateurs__en_mouvement = Praticables_total_en_Mouvement_en_gare-ARRAYSUM(Pose_banc[*,*])

Buffer_praticables = 1

DOCUMENT: Coefficient multiplicateur du nombre de praticables. Permet de disposer d'un buffer.

Une valeur de 1 correspond à l'absence de Buffer.

2 met à disposition le double de praticable que le nombre de "places" le long des voies... etc.

Capacité_totale_tapis = ARRAYSUM(Capacité_totale_tapis_roulants[*,*])

Capacité_totale_tapis_roulants[Gares,Sens] = ARRAYSUM(Banc_transfert_roulant[*,*])

Capa_max = Capa_max_circulation*Vitesse_effective/3600

Capa_max_circulation = 30

DOCUMENT: Capacité maximale des voies de circulation en PL

La voie faisant 750 mètres, il est difficile d'envisager moins de 30 mètres par PL soit plus de 25 pl sur la même voie. Un système de dédoublement des voies est toujours possible par tronçon permettant de multiplier la capacité théorique...

Paramètre variable

Contrôles_par_heure[Gares,Sens] = IF time = 0 then 0 else Somme_des__contrôles[Gares,Sens]/time

Cycle_moyen[Gares,Sens] = CTMEAN(Chargés_sur_RSR[Gares,Sens])

Disponible[Gares,Sens] = INT(((Longueur_des_trains-22)-(Linéaire_chargé[Gares,Sens]-22))/Longueur__RSR)

Durée_coup_de_pince = .5/60

En_attente_RSR[Gares,Sens]

Queue[Gares,Sens]+Queue__Semi[Gares,Sens]+Circulation[Gares,Sens]+Passage_au_contrôle[Gares,Sens]+ARRAYSUM(PL_roulant__vers_la_sortie[*,*])+ARRAYSUM(Déchargement_UTI[*,*])

DOCUMENT: Ensemble des PL sur le site.

permet d'évaluer les besoins de superficie

Flux_nord_descendant__par_heure = THROUGHPUT(Chargés_sur_RSR[Nord,Descendant])

Nbre_chargement_moyen__horaire_des_RSR = If time > 1 then ARRAYSUM(Total_chargés[*,*])/Time Else 0

DOCUMENT: Nombre d'unités RSR chargées en moyenne par heure

Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure = 60

DOCUMENT: Nombre de contrôles par poste et par heure

Nombre_de_zones = 5

Nombre_minimal_de_praticables = .Nombre__Wagons_par_train*Praticables_par_Wagon*Buffer_praticables

DOCUMENT: Nombre de praticable par train

Numéro_de_place[Gares,Sens] = Int(Random(1,Nombre_de_zones))

Pondération_Tracteurs = 1/(1+Prise_en_compte_moindre_encombrement_tracteurs*2)

DOCUMENT: Les tracteurs sont ici considérés comme occupant 1/3 de la place d'un tracteur + semi

Postes_en_Gare[Gares,Sens] = Int(Contrôles_par_heure[Gares,Sens]/Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure)+1
Praticables_par_Wagon = 1

DOCUMENT: On prend ici un nombre de praticables égal au nombre de wagons

Praticables_total_en_Mouvement_en_gare =
ARRAYSUM(Praticables_en_mouvement_en_gare[*,*])+ARRAYSUM(Praticables_libres[*,*])
Prise_en_compte_moindre_encombrement_tracteurs = 1

DOCUMENT: Permet de choisir de donner un poids moindre aux tracteurs seuls

Temps_chargement[Gares,Sens] = CYCLETIME(Chargés_sur_RSR[Gares,Sens])

DOCUMENT: Temps de chargement

Temps_chargement_mini[Gares,Sens] = CTMIN(Chargés_sur_RSR[Gares,Sens])
Temps_de_chargement_Auto_manip_RSR = 1/60

DOCUMENT: Temps nécessaire au chargement d'une unité de l'automanipulateur vers le train

Temps_de_mise_sur_manipulateur = .5/60

DOCUMENT: On peut théoriquement opérer en continu, avec un temps de chargement très faible.

On prend comme base 30 secondes

Temps_de_parcours_sur_tapis = 1/120

DOCUMENT: Temps de parcours de l'ordre de 30 s. en moyenne

Temps_parcours_manipulateurs = random(0,150)/25000+.0015

DOCUMENT: Les manipulateurs doivent aller se positionner auprès de l'un des wagons.

Ils ont donc à parcourir en moyenne la moitié de la longueur du train.

La vitesse est considérée comme constante et non aléatoire.

Elle est de 25 km/h

On ajoute un temps de démarrage

Vitesse_effective = Normal(Vitesse_moyenne,Vitesse_moyenne/10)

DOCUMENT: En mètres par heure

Vitesse_moyenne = 500*60

DOCUMENT: en mètres par heures

Zone[Gares,Sens] = Numéro_de_place[Gares,Sens]

6.1.2.2 Semis

Attente_Manip[Gares,Sens](t) = Attente_Manip[Gares,Sens](t - dt) + (Démarré[Gares,Sens] - Début_parcours__manip[Gares,Sens]) * dt
INIT Attente_Manip[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Démarré[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = normal(Durée_moyenne__manoeuvre__&_déchargement,Durée_moyenne__manoeuvre__&_déchargement/6)
OUTFLOWS:
Début_parcours__manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_mise_sur_manipulateur

```

Blocage_manoeuvre[Gares,Sens](t) = Blocage_manoeuvre[Gares,Sens](t - dt) + (Stop[Gares,Sens] - Out_stop[Gares,Sens]) * dt
INIT Blocage_manoeuvre[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Stop[Gares,Sens] = Moontecarlo_T[Gares,Sens]
OUTFLOWS:
Out_stop[Gares,Sens] = Delay(Stop[Gares,Sens],Temporisation)
Chargement__Train_RSR[Gares,Sens](t) = Chargement__Train_RSR[Gares,Sens](t - dt) + (Début_chargement[Gares,Sens] - Chargés_sur_RSR[Gares,Sens]) * dt
INIT Chargement__Train_RSR[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Début_chargement[Gares,Sens] = Disponible[Gares,Sens]/.Espaceement_retenu__entre_trains

```

DOCUMENT: On doit calculer ici un flux par heure. D'où l'opération prenant en compte l'espacement des trains. En effet dans l'enchaînement des convoyeurs les réservoirs se comportent comme des queues.

On doit donc ici déterminer la valeur horaire du flux de chargement.

```

OUTFLOWS:
Chargés_sur_RSR[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_chargement_Auto_manip__RSR

```

DOCUMENT: flux de RSR chargés par gare

```

TIMESTAMPEDCirculation[Gares,Sens](t) = Circulation[Gares,Sens](t - dt) + (Top[Gares,Sens] - Début_dépose[Gares,Sens]) * dt
INIT Circulation[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Top[Gares,Sens] = IF (Circulation[Gares,Sens]+PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens]*Pondération_Tracteurs)> Capa_max THEN 0 ELSE (Queue__Semi[Gares,Sens]+Redémarre[Gares,Sens])*Top_2[Gares,Sens]
OUTFLOWS:
Début_dépose[Gares,Sens] = Delay(Top[Gares,Sens],(.Longueur_des_trains/Numéro_de_place[Gares,Sens]/Vitesse_effective))
Circulation__manipulateurs[Gares,Sens](t) = Circulation__manipulateurs[Gares,Sens](t - dt) + (Début_parcours__manip[Gares,Sens] - Début_queue__Manip[Gares,Sens]) * dt
INIT Circulation__manipulateurs[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Début_parcours__manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_de_mise_sur_manipulateur
OUTFLOWS:
Début_queue__Manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_parcours_manipulateurs
Cumul_arrivés[Gares,Sens](t) = Cumul_arrivés[Gares,Sens](t - dt) + (Entrées[Gares,Sens]) * dt
INIT Cumul_arrivés[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Entrées[Gares,Sens] = Véhicules_Arrivant[Gares,Sens]
Passage_au_contrôle[Gares,Sens](t) = Passage_au_contrôle[Gares,Sens](t - dt) + (Vers_contôle[Gares,Sens] - Redémarre[Gares,Sens]) * dt
INIT Passage_au_contrôle[Gares,Sens] = 0

```

DOCUMENT: Le passage au contrôle à une durée moyenne déterminée.

Elle varie selon une loi de probabilité.

La capacité du système de contrôle est ici infinie.

```

INFLOWS:
Vers_contôle[Gares,Sens] = Queue[Gares,Sens]+Véhicules_arrivant[Gares,Sens]

```


OUTFLOWS:

Redémarrage[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT

TIME

=

1/Random(Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*.9,Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*1.1)

PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens](t) = PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens](t - dt) + (Vers_sortie[Gares,Sens] - PL_sortis[Gares,Sens]) * dt

INIT PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

Vers_sortie[Gares,Sens] = Démarre[Gares,Sens]

OUTFLOWS:

PL_sortis[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT TIME = Temps_de_parcours[Gares,Sens]

DOCUMENT: On prend ici le même temps de parcours de base que dans la phase précédente.

Ou bien le PL sort par le milieu du terminal, ou bien il se dirige vers la zone de chargement, ou bien une autre zone par ailleurs (autre direction). On impute donc ici le seul temps de sortie standard.

Pose_sur__Praticable[Gares,Sens](t) = Pose_sur__Praticable[Gares,Sens](t - dt) + (Début_dépose[Gares,Sens] - Démarre[Gares,Sens]) * dt

INIT Pose_sur__Praticable[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

Début_dépose[Gares,Sens]

=

Delay(Top[Gares,Sens],(.Longueur_des_trains/Numéro_de_place[Gares,Sens])/Vitesse_effective))

OUTFLOWS:

Démarre[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT

TIME

=

normal(Durée_moyenne__manoeuvre__&_déchargement,Durée_moyenne__manoeuvre__&_déchargement/6)

Praticables_en_mouvement_en_gare[Gares,Sens](t) = Praticables_en_mouvement_en_gare[Gares,Sens](t - dt) + (Praticables_entrant_en_service[Gares,Sens] - Praticables_chargés_sur_le_train[Gares,Sens]) * dt

INIT Praticables_en_mouvement_en_gare[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

Praticables_entrant_en_service[Gares,Sens] = Début_dépose[Gares,Sens]

DOCUMENT: Prise en compte des praticables entrant dans le processus de chargement

OUTFLOWS:

Praticables_chargés_sur_le_train[Gares,Sens] = Chargés_sur_RSR[Gares,Sens]

DOCUMENT: Les praticables sortent du processus et sont installés sur le train

Praticables__libres[Nord,Montant](t) = Praticables__libres[Nord,Montant](t - dt) + (Retour__praticables[Nord,Montant] - Praticables_entrant_en_service[Nord,Montant]) * dt

INIT Praticables__libres[Nord,Montant] = 0

Praticables__libres[Nord,Descendant](t) = Praticables__libres[Nord,Descendant](t - dt) + (Retour__praticables[Nord,Descendant] - Praticables_entrant_en_service[Nord,Descendant]) * dt

INIT Praticables__libres[Nord,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables

Praticables__libres[Picardie,Montant](t) = Praticables__libres[Picardie,Montant](t - dt) + (Retour__praticables[Picardie,Montant] - Praticables_entrant_en_service[Picardie,Montant]) * dt

INIT Praticables__libres[Picardie,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables

Praticables__libres[Picardie,Descendant](t) = Praticables__libres[Picardie,Descendant](t - dt) + (Retour__praticables[Picardie,Descendant] - Praticables_entrant_en_service[Picardie,Descendant]) * dt

INIT Praticables__libres[Picardie,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables

Praticables__libres[Ouest_Idf,Montant](t) = Praticables__libres[Ouest_Idf,Montant](t - dt) + (Retour__praticables[Ouest_Idf,Montant] - Praticables_entrant_en_service[Ouest_Idf,Montant]) * dt

INIT Praticables__libres[Ouest_Idf,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables

Praticables__libres[Ouest_Idf,Descendant](t) = Praticables__libres[Ouest_Idf,Descendant](t - dt) + (Retour__praticables[Ouest_Idf,Descendant] - Praticables_entrant_en_service[Ouest_Idf,Descendant]) * dt

INIT Praticables__libres[Ouest_Idf,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables

```

Praticables__libres[Sud_Idf,Montant](t)      =      Praticables__libres[Sud_Idf,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Sud_Idf,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Sud_Idf,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud_Idf,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud_Idf,Descendant](t)    =      Praticables__libres[Sud_Idf,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Sud_Idf,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Sud_Idf,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud_Idf,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Poitou,Montant](t)        =      Praticables__libres[Poitou,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Poitou,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Poitou,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Poitou,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Poitou,Descendant](t)     =      Praticables__libres[Poitou,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Poitou,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Poitou,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Poitou,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Bordeaux,Montant](t)       =      Praticables__libres[Bordeaux,Montant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Bordeaux,Montant] - Praticables__entrant__en_service[Bordeaux,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Bordeaux,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Bordeaux,Descendant](t)    =      Praticables__libres[Bordeaux,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Bordeaux,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Bordeaux,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Bordeaux,Descendant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud,Montant](t) = Praticables__libres[Sud,Montant](t - dt) + (Retour__praticables[Sud,Montant] -
Praticables__entrant__en_service[Sud,Montant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud,Montant] = Nombre_minimal_de_praticables
Praticables__libres[Sud,Descendant](t)        =      Praticables__libres[Sud,Descendant](t      -      dt)      +
(Retour__praticables[Sud,Descendant] - Praticables__entrant__en_service[Sud,Descendant]) * dt
INIT Praticables__libres[Sud,Descendant] = 0
INFLOWS:
Retour__praticables[Nord,Montant] = 0
Retour__praticables[Nord,Descendant] = .Retour_Praticables[Nord,Montant]
Retour__praticables[Picardie,Montant] = .Retour_Praticables[Picardie,Montant]
Retour__praticables[Picardie,Descendant] = .Retour_Praticables[Picardie,Descendant]
Retour__praticables[Ouest_Idf,Montant] = .Retour_Praticables[Ouest_Idf,Montant]
Retour__praticables[Ouest_Idf,Descendant] = .Retour_Praticables[Ouest_Idf,Descendant]
Retour__praticables[Sud_Idf,Montant] = .Retour_Praticables[Sud_Idf,Montant]
Retour__praticables[Sud_Idf,Descendant] = .Retour_Praticables[Sud_Idf,Descendant]
Retour__praticables[Poitou,Montant] = .Retour_Praticables[Poitou,Montant]
Retour__praticables[Poitou,Descendant] = .Retour_Praticables[Poitou,Descendant]
Retour__praticables[Bordeaux,Montant] = .Retour_Praticables[Bordeaux,Montant]
Retour__praticables[Bordeaux,Descendant] = .Retour_Praticables[Bordeaux,Descendant]
Retour__praticables[Sud,Montant] = .Retour_Praticables[Sud,Descendant]
Retour__praticables[Sud,Descendant] = 0
OUTFLOWS:
Praticables__entrant__en_service[Gares,Sens] = Début_dépose[Gares,Sens]

```

DOCUMENT: Prise en compte des praticables entrant dans le processus de chargement

```

Queue[Gares,Sens](t) = Queue[Gares,Sens](t - dt) + (Véhicules_arrivant[Gares,Sens] - Vers_contôle[Gares,Sens]) * dt
INIT Queue[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Véhicules_arrivant[Gares,Sens] = normal(.Arrivée_Camions[Gares,Sens],.Arrivée_Camions[Gares,Sens]/20)
TIMESTAMPED
OUTFLOWS:
Vers_contôle[Gares,Sens] = Queue[Gares,Sens]+Véhicules_arrivant[Gares,Sens]
Queue__manipulateurs[Gares,Sens](t)      =      Queue__manipulateurs[Gares,Sens](t      -      dt)      +
(Début_queue__Manip[Gares,Sens] - Début_chargement[Gares,Sens]) * dt
INIT Queue__manipulateurs[Gares,Sens] = 0
INFLOWS:
Début_queue__Manip[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW
TRANSIT TIME = Temps_parcours_manipulateurs

```

OUTFLOWS:

Début_chargement[Gares,Sens] = Disponible[Gares,Sens]/.Espace_t_retenue_entre_trains

DOCUMENT: On doit calculer ici un flux par heure. D'où l'opération prenant en compte l'espace des trains. En effet dans l'enchaînement des convoyeurs les réservoirs se comportent comme des queues.

On doit donc ici déterminer la valeur horaire du flux de chargement.

Queue__Semi[Gares,Sens](t) = Queue__Semi[Gares,Sens](t - dt) + (Redémarre[Gares,Sens] - Top[Gares,Sens]) * dt

INIT Queue__Semi[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

Redémarre[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT

TIME

=

1/Random(Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*.9,Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure*1.1)

OUTFLOWS:

Top[Gares,Sens] = IF (Circulation[Gares,Sens]+PL_roulant_vers_la_sortie[Gares,Sens]*Pondération_Tracteurs)>Capa_max THEN 0 ELSE (Queue__Semi[Gares,Sens]+Redémarre[Gares,Sens])*Top_2[Gares,Sens]

Somme_des_contrôles[Gares,Sens](t) = Somme_des_contrôles[Gares,Sens](t - dt) + (In[Gares,Sens]) * dt

INIT Somme_des_contrôles[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

In[Gares,Sens] = Redémarre[Gares,Sens]

Total_chargés[Gares,Sens](t) = Total_chargés[Gares,Sens](t - dt) + (Chargés_sur_RSR[Gares,Sens]) * dt

INIT Total_chargés[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

Chargés_sur_RSR[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT TIME = Temps_de_chargement_Auto_manip__RSR

DOCUMENT: flux de RSR chargés par gare

TIMESTAMPEDTotal__sortis[Gares,Sens](t) = Total__sortis[Gares,Sens](t - dt) + (PL_sortis[Gares,Sens]) * dt

INIT Total__sortis[Gares,Sens] = 0

INFLOWS:

PL_sortis[Gares,Sens] = CONVEYOR OUTFLOW

TRANSIT TIME = Temps_de_parcours[Gares,Sens]

DOCUMENT: On prend ici le même temps de parcours de base que dans la phase précédente.

Ou bien le PL sort par le milieu du terminal, ou bien il se dirige vers la zone de chargement, ou bien une autre zone par ailleurs (autre direction). On impute donc ici le seul temps de sortie standard.

Aléa_en_manoeuvre[Gares,Sens] = 1+MONTECARLO(1)

DOCUMENT: Génère un événement ayant une chance sur 100 d'arriver. Dans ce cas la durée de manoeuvre double.

Arrivées_moyennes_horaires = If time > 1 then ARRAYSUM(Cumul_arrivés[*,*])/Time Else 0

Automanipulateurs__en_mouvement

=

Praticables_total_en_Mouvement_en_gare-

ARRAYSUM(Pose_sur__Praticable[*,*])

Buffer = 1

DOCUMENT: Coefficient multiplicateur du nombre de praticables. Permet de disposer d'un buffer.

Une valeur de 1 correspond à l'absence de Buffer.

2 met à disposition le double de praticable que le nombre de "places" le long des voies... etc.

Capa_max = Capa_max_circulation*Vitesse_effective/3600

Capa_max_circulation = 30

DOCUMENT: Capacité maximale des voies de circulation en PL

La voie faisant 750 mètres, il est difficile d'envisager moins de 30 mètres par PL soit plus de 25 pl sur la même voie. Un système de dédoublement des voies est toujours possible par tronçon permettant de multiplier la capacité théorique...

Paramètre variable

```
Contrôles_par_heure[Gares,Sens] = IF time = 0 then 0 else Somme_des_contrôles[Gares,Sens]/time
Cycle_moyen[Gares,Sens] = CTMEAN(Chargés_sur_RSR[Gares,Sens])
Disponible[Gares,Sens] = INT(((Longueur_des_trains-22)-(Linéaire_chargé[Gares,Sens]-22))/Longueur__RSR)
Durée_moyenne__manoeuvre__&_déchargement = 12/60
```

DOCUMENT: Durée de dépose en heures

```
.166 = 10 minutes
.2 = 12 minutes
En_attente_RSR[Gares,Sens] =
Queue[Gares,Sens]+Queue__Semi[Gares,Sens]+Circulation[Gares,Sens]+Passage_au_contrôle[Gares,Sens]
Flux_nord_descendant__par_heure = THROUGHPUT(Chargés_sur_RSR[Nord,Descendant])
Moontecarlo_T[Gares,Sens] = Montecarlo(100*Zones_neutralisées/Nombre_de_zones)
```

DOCUMENT: Probabilité d'avoir un numéro de zone sur laquelle il y a une manœuvre.

Cette probabilité est donnée égale au nombre de zones neutralisées par une manœuvre sur le nombre de zones.

```
Nbre_chargement_moyen__horaire_des_RSR = If time > 1 then ARRAYSUM(Total_chargés[*,*])/Time Else 0
```

DOCUMENT: Nombre d'unités RSR chargées en moyenne par heure

```
Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure = 60
```

DOCUMENT: Nombre de contrôles par poste et par heure

```
Nombre_de_zones = 2*INT(Longueur_des_trains/Longueur__RSR)
Nombre_minimal_de_praticables = .Nombre__Wagons_par_train*Praticables_par_Wagon*Buffer
```

DOCUMENT: Nombre de praticable par train

```
Numéro_de_place[Gares,Sens] = Random(1,Nombre_de_zones)
Pondération_Tracteurs = 1/(1+Prise_en_compte_moindre_encombrement_tracteurs*2)
```

DOCUMENT: Les tracteurs sont ici considérés comme occupant 1/3 de la place d'un tracteur + semi

```
Postes_en_Gare[Gares,Sens] = Int(Contrôles_par_heure[Gares,Sens]/Nombre_de_contrôles_par_poste_à_l'heure)+1
Praticables_par_Wagon = 1
```

DOCUMENT: On prend ici un nombre de praticables égal au nombre de wagons

```
Praticables_total_en_Mouvement_en_gare =
ARRAYSUM(Praticables_en_mouvement_en_gare[*,*])+ARRAYSUM(Praticables__libres[*,*])
Prise_en_compte_moindre_encombrement_tracteurs = 1
```

DOCUMENT: Permet de choisir de donner un poids moindre aux tracteurs seuls

```
Temporisation = MAX(.15/60,dt)
Temps_chargement[Gares,Sens] = CYCLETIME(Chargés_sur_RSR[Gares,Sens])
```

DOCUMENT: Temps de chargement

```
Temps_chargement_mini[Gares,Sens] = CTMIN(Chargés_sur_RSR[Gares,Sens])
Temps_de_chargement_Auto_manip__RSR = 1/60
```

DOCUMENT: Temps nécessaire au chargement d'une unité de l'automanipulateur vers le train

```
Temps_de_mise_sur_manipulateur = .5/60
```

DOCUMENT: On peut théoriquement opérer en continu, avec un temps de chargement très faible.

On prend comme base 30 secondes

```
Temps_de_parcours[Gares,Sens] =
(Longueur_des_trains-
delay(Numéro_de_place[Gares,Sens],normal(Durée_moyenne__manoeuvre__&_déchargement,Durée_moyenne__m
anoeuvre__&_déchargement/6)/Longueur_des_trains))/Vitesse_effective
```

DOCUMENT: On calcule le transit time à partir de la place du véhicule devant repartir.

On considère qu'il lui reste à parcourir le complément de distance à la longueur du train

```
Temps_parcours_manipulateurs = random(0,Longueur_des_trains)/25000+.0015
```

DOCUMENT: Les manipulateurs doivent aller se positionner auprès de l'un des wagons.

Ils ont donc à parcourir en moyenne la moitié de la longueur du train.

La vitesse est considérée comme constante et non aléatoire.

Elle est de 25 km/h

On ajoute un temps de démarrage

```
Top_2[Gares,Sens] = If Blocage_manoeuvre[Gares,Sens]> 0 then 0 else 1
```

```
Vitesse_effective = Normal(Vitesse_moyenne,Vitesse_moyenne/10)
```

DOCUMENT: En mètres par heure

```
Vitesse_moyenne = 500*60
```

DOCUMENT: en mètres par heures

```
Zones_neutralisées = GRAPH(Nombre_de_zones)
```

```
(100, 4.00), (125, 4.00), (150, 7.00), (175, 7.00), (200, 7.00)
```


6.2 ANNEXE 2 : COUTS ET FORMULES DE COUTS

Nous avons exposé que les coûts, dans Axefret, étaient établis de telle sorte qu'il est possible de les transformer en coûts unitaires instantanés à chaque instant de la simulation. Du coup nous avons choisi d'une part de les « journaliser », puis de les annualiser pour obtenir des ordres de grandeurs par postes de charge.

Les coûts sont par ailleurs rapportés à l'unité d'œuvre retenue qui est l'UTI.km.

Nous reprenons ici les équations du modèle de base.

Toutes les équations sont documentées.

Les deux premiers secteurs présentés sont identiques à quelques modifications près. En pratique ils sont utilisables pour d'autres utilisations que RSR.

6.2.1 ÉLEMENTS DE COUTS POUR EQUIPEMENT DES QUAIS (SOLUTION NOMINALE)

Au cours du premier projet R Shift R, une expertise avait été menée par le LET au travers de STEF, le Simulateur Technique et Économique Ferroviaire. Les valeurs utilisées sont données ci-après ainsi que le nombre d'équipements pour répondre à la demande de trafic identifiée en fonction des gares sur le tracé Nord-Sud.

La configuration de train retenue est une rame de 50 wagons, des besoins en équipements pour chaque gare pour des flux et des échanges que je considère équilibrés entre les sens et avec deux positions complémentaires entièrement équipées ce qui impose d'équiper pour chaque gare (extrémité ou intermédiaire) :

- Nord sera équipée de 50 systèmes = total 50 / 50 cellules
- Picardie de 23×2 = total 46 / 100 cellules
- Ouest IdF de 27×2 = total 54 / 100 cellules
- Sud IdF de 9×2 = total 18 / 100 cellules
- Poitou de 15×2 = total 30 / 100 cellules
- Bordeaux de 15×2 = total 30 / 100 cellules
- Sud de 50 systèmes = total 50 / 50 cellules

Il faut également prendre en considération le fait que l'infrastructure peut fonctionner sur 19,40 heures ou 24 heures. Le second cas permet de fonctionner avec seulement deux jeux de praticables en attente en bordure des quais routiers.

Par ailleurs, le raisonnement tenu ne vaut que pour une voie unique double sens dans laquelle les flux que l'on veut capter sont connus ; la projection pour un réseau maillé demande une plus grande disponibilité en nombre d'équipements dans la mesure où la variabilité des provenances / destinations provoquera naturellement une répartition plus élargie des contenants sur les rames. Même si le nombre des échanges reste identique, leur positionnement sur la rame peut provoquer une répartition plus importante des embarquements / débarquements, ce qui augmente le nombre d'auto manipulateurs.

Enfin, une approche gare par gare devra être menée, une fois fait le choix du mode de fonctionnement retenu pour chacune d'entre elle, afin d'établir le niveau des investissements qui en découle. Il vient les chiffres suivants pour le 1^{er} cas (20h de fonctionnement pour permettre un créneau de maintenance, rattrapage, évolutions, ...).

Matériels suivant mode de fonctionnement d'un quai d'une gare d'extrémité	Mode standard transfert sur tous les wagons			Mode deux quais transbordeur dans porte praticable		
	Nombre	PU	Montant	Nombre	PU	Montant
Transbordeur de quai complet	50	220	11	000	0	220
Transbordeur extérieur (poste d'attente)	0	75	0	50	75	3 750
Transbordeur central	0	90	0	50	90	4 500
Praticable (3 par wagon)	150	50	7 500	150	50	7 500
Auto manipulateur	26	220	5 720	26	220	5 720
Porte praticable simple	0	125	0	150	125	18 750
Porte praticable avec transbordeur	150	50	7 500	0	50	0
Niveau d'investissement (k€)	31 720			40 220		

Tableau 10 : investissement pour une gare d'extrémité, fréquence 15mn

6.2.2 ÉLEMENTS DE COUTS SOLUTION R SHIFT R II (ALTERNATIVE)

Au niveau des coûts à considérer qui sont spécifiques à la gare R-Shift-R, on peut estimer des valeurs de chaque équipement en fonction de la littérature, des produits disponibles comparables sur des terminaux portuaires automatisés par exemple, et de précédents projets de recherche ayant donné lieu à des expérimentations :

- Coûts de transport pré et post-acheminement : voir coûts définis dans STEF
- Coûts d'exploitation hors spécifique terminal RSR (structure, maintenance, redevance) : cf STEF
- Coût de main d'œuvre opérateur (1 par poste de contrôle), planifieur (1 par buffer), superviseur (un par ensemble : 3.9 k€ / mois (Eurostat 2006 pour main d'œuvre en France)
- Coût installation 1 poste de contrôle (guichet, arche, système de pesée) : 30 k€
- Coût construction parking, voirie, infrastructure (analyse projet CE Inhotra, révision 2% d'augmentation pendant 7 ans) :
 - Aire terminal : 35 €/m²,
 - Asphalte : 700 €/m²,
 - Ligne ferroviaire : 1 750 €/m,
 - Électrification (si besoin) : 200 €/m,
 - Rail et ligne de base (inclus alimentation) pour portique : 1 700 €/m,

Coûts des parties mobiles :

- Coût 1 RMG petite taille (2 rangées) : 600 k€, négociable en quantité à 500 k€
- Coût 1 RMG, portique manutention sur rail type portuaire gestion 9 voies entre les jambes + 2 sur chaque côté (soit 13 en tout) : 2 M€, 3M pour 18 rangées
- Coût 1 RTG (sur pneus, intérêt à voir selon config) : 1.5 M€ pour 6 rangées
- Coût 1 praticable simple : 20 k€
- Coût 1 praticable avec dispositif verrouillage twistlock et vérification : 25 k€
- Coût 1 porte-praticable : 25k€ (j'ai vu 45 k€ dans le rapport RsR, mais cela incluait l'option coussin d'air, ce prix peut sans doute être réduit)
- Coût 1 manipulateur manuel : 50 k€ + 1 conducteur (type Terberg modifié)
- Coût 1 manipulateur autonome : 90 k€ (nouvel engin, prix de série + de l'ordre de 800 k€-1M€ pour design-réalisation prototype et industrialisation)
- Coût 1 reach stacker : 200 k€
- Coût installation transpondeurs pour version automatisée (surface à équiper 750x40m = 30 000 m², 1 balise tous les 10x10m², coût unitaire .5 k€) : 150 k€
- Coût installation/fourniture rouleaux : x k€ / mètre (1 ligne ~100m en moyenne)
- Coût buffer 24 places avec automatismes : 1 M€ (type RTS)

En ce qui concerne les coûts de maintenance, on considère traditionnellement la valeur de 5% pour matériel roulant et infrastructures ; toutefois dans une hypothèse de terminal haut débit, il paraît justifié de considérer une valeur plus importante (10%) attendus les objectifs de productivité des équipements.

L'amortissement des infrastructures est considéré sur 20 ans, celui du matériel roulant sur 10 à 15 ans selon les fréquences d'utilisation.

6.2.3 COÛTS DE PLATE-FORME (GARES) POUR LES SEMIS

Coût de plate forme

```
Postes_MAXi_tot(t) = Postes_MAXi_tot(t - dt) + (P_in - P_out) * dt
INIT Postes_MAXi_tot = 0
INFLOWS:
P_in = Postes_RSR_Maxi_Chargement
OUTFLOWS:
P_out = DELAY(P_in,24)
Chargements_Max_par_heure[Gares,Sens] = ARRAYMAX(Chargement__camions[*,*])
Chargements_moyens_par_heure[Gares,Sens] = ARRAYMean(Chargement__camions[*,*])
Composition_Equipe = 2
```

DOCUMENT: Nombre de personnes par engin de manutention

```
Coûts_Journalisés__postes_accueil =
(ARRAYSUM(RSR_In.Postes_en_Gare[*,*])*30000)/(365*30)*Coefficient__Coût_financement_long
```

DOCUMENT: Postes d'accueil..

leur coût unitaire est de 30€

Durée de vie trente ans

$$\begin{aligned} \text{Coût_journalier_des_voies} &= \\ \text{Coût_unitaire_des_voies} * \text{Longueur_des_voies_terminaux_RSR_type} * \text{Coefficient_Coût_financement_long} / 3650 \end{aligned}$$

DOCUMENT: Le coût du financement est pris en compte

On finance au coût long les parkings dont la durée de vie est de 10 ans (365*10)

$$\begin{aligned} \text{Coût_journalier_infra} &= \\ \text{Coefficient_Coût_financement_long} * (\text{Coût_Unitaire_infra} * \text{Superficie_Terminal_type_Rsr} + \text{Longueur_des_voies_terminaux_RSR_type}) / (365 * 30) + \text{Coût_Journalier_transpondeurs} + \text{Coûts_Journalisés_postes_accueil} \end{aligned}$$

DOCUMENT: On prend en compte ici une durée de vie de 30 ans

$$\begin{aligned} \text{Cout_journalier_Parkings_RSR} &= \\ 1.4 * \text{Coefficient_Coût_financement_long} * (\text{ARRAYSUM}(\text{RSR_In.En_attente_RSR}[*,*]) / 50) * (2000000 * 1.05) / 3650 \end{aligned}$$

DOCUMENT: Coûts à vérifier

Le coût des parkings est ici majoré de 40 % pour prendre en compte la marge de sécurité nécessaire.

Le financement est pris en compte

$$\text{Coût_journalier_personnel_des_terminaux} = 7 * 2000 + ((\text{RSR_Somme_des_postes_en_gare} * 500) - 7 * 2000)$$

DOCUMENT: Coût journalier de base

3 équipes/jour plus deux réserves (congrés)

un encadrement

Modulé en fonction du volume des contrôles (pour 1/3)

$$\begin{aligned} \text{Coût_journalier_personnel_de_portique} &= \text{Coût_journalier_unitaire_personnel_portiques} * \text{Personnel_portiques} \\ \text{Coût_journalier_unitaire_personnel_portiques} &= 100 \end{aligned}$$

DOCUMENT: Coût de base en € de la journée d'un machiniste de portique

$$\text{Coût_journalier_parking} = \text{SMth1}(\max(\text{CJP}, \text{Coût_J_parking}), 24) * 1.4$$

DOCUMENT: On calcule ici le coût du parking en prenant en compte le nombre maximal observé de poids lourds.

Le coût des parkings est ici majoré de 40 % pour prendre en compte la marge de sécurité nécessaire.

$$\begin{aligned} \text{Coût_Journalier_terminaux_RSR} &= \\ (\text{Nombre_de_gares_normales} + \text{Gares_d'extrémité}) * (\text{Coût_journalier_des_voies} + \text{Coût_journalier_infra} + \text{Nombre_de_transbordeurs} * \text{Coût_unitaire_Journalier_transbordeur}) + \text{Cout_journalier_Parkings_RSR} + \text{Coût_journalier_personnel_des_terminaux} + \text{Coût_unitaire_Journalier_automanipulateur} * \text{Nombre_d'automanipulateurs} + \text{Nombre_de_praticables} * \text{Coût_Unitaire_Journalier_praticable} \end{aligned}$$

DOCUMENT: Calcul du cout journalisé des moyens de manutention et autres coûts de plate-forme

$$\text{Coût_Journalier_transpondeurs} = 50 * \text{Coefficient_Coût_financement_court} / (365 * 10)$$

DOCUMENT: on considère ici que le coût de la couverture est de 5000 € pour 100 M2 soit 50 € par mètre carré

Durée de vie 10 ans

$$\text{Coût_J_parking} = \text{Coefficient_Coût_financement_long} * (\text{ARRAYSUM}(\text{Parking_Gare}[*,*]) / 50) * (2000000 * 1.05) / 3650$$

DOCUMENT: On calcule ici un coût qui tient compte de la dimension des parkings nécessaires pour stationner les Poids lourds attendant le chargement.

Ce coût comprend une maintenance égale à 5% de l'investissement initial.

```
Coût_plate__forme_par_jour = SMTH1 (IF R_shift_R then Coût_Journalier__terminaux_RSR else IF Modalhor = 0 then
(IF
Longueur_des_trains>20
THEN
((((Portiques_par_voie*2000000*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*]))/3650)
+
(((Longueur_des_trains/750)*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])*5000000)/10950))*1
.05)*Coefficient__Coût_financement_long)+Coût_journalier__parking
ELSE
((((Portiques_par_voie*2000000*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*]))/3650)
+
((ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])*5000000)/10950))*1.05)*Coefficient__Coût_fina
ncement_long)+Coût_journalier__parking)
Else
(IF
Longueur_des_trains>20
THEN
(((Longueur_des_trains/750)*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])*5000000)/10950)*1.
05)*Coefficient__Coût_financement_long)+Coût_journalier__parking
ELSE
((((((ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])*5000000)/10950))*1.05)*Coefficient__Coût_fi
nancement_long)+Coût_journalier__parking)),24)
```

DOCUMENT: Coût des portiques et des cours ramené à la journée

On a pris un taux de maintenance de 5 % l'an

Le coût du financement est pris en compte

Le coût des parkings est ici majoré de 40 % pour prendre en compte la marge de sécurité nécessaire.

Coût RSR spécifique mais avec la même logique de calcul

Coût_unitaire_des_voies = Coefficient__Coût_financement_long*2500

DOCUMENT: Coût de financement pris en compte

Coût_unitaire_Journalier__automanipulateur = Coefficient__Coût_financement_court*(90000+25000)/(365*5)

DOCUMENT: en €

Journalisé

On prend une durée de vie de 5 ans

Les coûts retenus par TL&A sont de 90 000 €. J'avais par ailleurs 220 000 €

Finalement Le manipulateur autonome nécessite également un porte-praticable donc 90 k€+25k€ si abandon coussin d'air mais je ne sais pas bien comment ça fonctionnerait avec des roulettes basses (notamment vibration + bruit). Peut-être faut-il garder au moins pr les coûts la fourchette haute tant qu'on n'a pas tranché ?

Il s'agirait d'AGV simples suivant des balises implantées dans le sol (coût ds le doc pour installation), avec détection d'obstacles.

Le coût donné est pour une production en série, après amortissement des coûts proto-indus (1 M€).

Il s'agit d'une fourchette plutôt basse, ça peut vite monter selon les fonctions qu'on voudra ajouter (transmission, reprise en manuel possible, RFID, vision, ...) et les performances qu'on leur assignera (vitesse, précision

Coût_Unitaire_Journalier__praticable = Coefficient__Coût_financement_court*25000/3650

DOCUMENT: en € Journalisé.

On prend une durée de vie de 10 ans

Le prix de base (TL&A) est de 25 k€ (praticable avec dispositif verrouillage twistlock et vérification)

Coût_unitaire_Journalier__transbordeur = Coefficient__Coût_financement_court*75000/3650

DOCUMENT: Coût unitaire dit "extérieur" journalisé.

On prend une durée de vie du matériel de 10 ans

Coût_Unitaire__infra = 700

DOCUMENT: On prend ici 700 € le M2.

Ce coût est plus élevé que celui déduit des coûts de construction de routes.. de l'ordre 4 à 5 millions € pour une 2 fois 2 voies. soit environ 14000 M2 au km qui serait de l'ordre de 300 € le m2

Equipes__par__portique = 3

DOCUMENT: Nombre d'équipes par jour et par engin de manutention en moyenne

Gares_d'extrémité = 2

DOCUMENT: Gares terminus

K = 1

Longueur_des_voies__terminaux_RSR_type = 2*Longueur_des_trains*3

DOCUMENT: Deux voies par terminal

Longueur__de_voies[Gares,Sens]	=	IF	Longueur_des_trains>700	THEN
Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[Gares]*Longueur_des_trains*K				ELSE
Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[Gares]*Longueur_des_trains*K*2				

DOCUMENT: Longue des voies utilisées pour le chargement des trains. Le coefficient K permet de disposer de plus d'espace que ce qui semble nécessaire.

Nombre_de_gares_normales = 5

DOCUMENT: Nombre de gares normales (pas en extrémité)

Nombre_de__praticables	=
RSR_In.Praticables_total_en_Mouvement_en_gare+RSR_Out.Praticables_total_en_Mouvement_en_gare+UTI_circulant	

DOCUMENT: Nombre de praticable :

On prévoit un nombre égal au nombre de possibilités maximales de chargement au droit des wagons pour chacune des voies.'

On compare au nombre de manipulateurs en mouvement

Un buffer est inclus (voir module RSR)

Nombre_de__transbordeurs = (Gares_d'extrémité*2+Nombre_de_gares_normales*4)*Nombre__Wagons_par_train

DOCUMENT: le nombre de transbordeur est égal à ????

Nombre__d'automanipulateurs	=
1.25*(RSR_In.Automaniplateurs__en_mouvement+RSR_Out.Automaniplateurs__en_mouvement)	

DOCUMENT: Nombre d'automanipulateurs utilisé plus 25 %

Personnel_portiques	=	IF	R_shift_R=1	then	0	else	IF	Modalhor	=	0	Then
Composition_Equipe*Equipes__par__portique*Portiques_par_voie*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])											
			else				if	Type_d'exploitation>0			then
Composition_Equipe*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])*(Type_d'exploitation)											Else
Composition_Equipe*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])											
Postes_Max[Gares,Sens]											=
Chargements_Max_par_heure[Gares,Sens]*RSR_In.Durée_moyenne__manoeuvre__&déchargement											
Postes_Moy[Gares,Sens]											=
Chargements_moyens_par_heure[Gares,Sens]*RSR_In.Durée_moyenne__manoeuvre__&déchargement											
Postes_réels_chargement_par_jour = 1.3*Postes_MAx_tot/7											

DOCUMENT: Nombre de postes à mobiliser par jour sur la base de 7 heures de travail par poste.

Ce chiffre est majoré de 30 % pour la supervision des déchargements

```
Postes_RSR_Chargement =
ARRAYSUM(Chargement__camions[*,*])*RSR_In.Durée_moyenne__manoeuvre__&déchargement
Postes_RSR_Maxi_Chargement = ARRAYSUM(Postes_Max[*,*])
Postes_SD[Gares,Sens] =
ARRAYSTDDEV(Chargement__camions[*,*])*RSR_In.Durée_moyenne__manoeuvre__&déchargement
RSR_Somme_des_postes_en_gare =
ARRAYSUM(RSR_In.Postes_en_Gare[*,*])+ARRAYSUM(RSR_Out.Postes_en_Gare[*,*])+Postes_réels_chargement_par_jour
```

DOCUMENT: Nombre de postes en gare hors manutention

Superficie_par_UTF = 1040

DOCUMENT: M2 par UTF et par sens

Superficie_Terminal_type_Rsr = 2*Superficie_par_UTF*Nombre__Wagons_par_train+20000

DOCUMENT: Superficie des terminaux RsR

2 voies par terminal

Superficie_totale_RsR__hors_parking = Superficie_Terminal_type_Rsr*7

6.2.4 COUT DE PLATE-FORME (GARE) POUR LES « BOITES »

Coût de plate forme

Composition_Equipe = 2

DOCUMENT: Nombre de personnes par engin de manutention

```
Coûts_Journalisés__postes_accueil =
(ARRAYSUM(RSR_Caisses__In.Postes_en_Gare[*,*])*30000)/(365*30)*Coefficient__Coût_financement_long
```

DOCUMENT: Postes d'accueil..

leur coût unitaire est de 30€

Durée de vie trente ans

```
Coût_journalier_des_voies =
Coût_unitaire_des_voies*Longueur_des_voies__terminaux_RSR_type*Coefficient__Coût_financement_long/3650
```

DOCUMENT: Le coût du financement est pris en compte

On finance au coût long les parkings dont la durée de vie est de 10 ans (365*10)

```
Coût_journalier_infra =
Coefficient__Coût_financement_long*(Coût_Unitaire__infra*Superficie_Terminal_type_Rsr+Longueur_des_voies__terminaux_RSR_type)/(365*30)+Coût_Journalier__transpondeurs+Coûts_Journalisés__postes_accueil
```

DOCUMENT: On prend en compte ici une durée de vie de 30 ans

```
Cout_journalier_Parkings_RSR =
1.4*Coefficient__Coût_financement_long*(ARRAYSUM(RSR_Caisses__In.En_attente_RSR[*,*])/50)*(2000000*1.05)/3650
```

DOCUMENT: Coûts à vérifier

Le coût des parkings est ici majoré de 40 % pour prendre en compte la marge de sécurité nécessaire.

Le financement est pris en compte

Coût_journalier_personnel_des_terminaux = $7 \times 2000 + ((RSR_Somme_des_postes_en_gare \times 500) - 7 \times 2000)$

DOCUMENT: Coût journalier de base

3 équipes/jour plus deux réserves (congés)

un encadrement

Modulé en fonction du volume des contrôles (pour 1/3)

Coût_journalier_personnel_de_portique = Coût_journalier_unitaire_personnel_portiques * Personnel_portiques

Coût_journalier_unitaire_personnel_portiques = 100

DOCUMENT: Coût de base en € de la journée d'un machiniste de portique

Coût_journalier_parking = $SMth1(\max(CJP, Coût_J_parking), 24) \times 1.4$

DOCUMENT: On calcule ici le coût du parking en prenant en compte le nombre maximal observé de poids lourds.

Le coût des parkings est ici majoré de 40 % pour prendre en compte la marge de sécurité nécessaire.

Coût_journalier_Portiques_RSR =
Nombre_portiques_RSR * Coût_unitaire_Portique * Coefficient_Coût_financement_court / 3650

DOCUMENT: Durée de vie 10 ans

Coût_Journalier_terminaux_RSR =
(Nombre_de_gares_normales + Gares_d'extrémité) * (Coût_journalier_des_voies + Coût_journalier_infra + Nombre_de_transbordeurs * Coût_unitaire_Journalier_transbordeur) + Coût_journalier_Parkings_RSR + Coût_journalier_personnel_des_terminaux + Coût_unitaire_Journalier_automanipulateur * Nombre_d'automanipulateurs + Nombre_de_praticables * Coût_Unitaire_Journalier_praticable

DOCUMENT: Calcul du coût journalisé des moyens de manutention et autres coûts de plate-forme

Coût_Journalier_transpondeurs = $50 \times Coefficient_Coût_financement_court / (365 \times 10)$

DOCUMENT: on considère ici que le coût de la couverture est de 5000 € pour 100 M2 soit 50 € par mètre carré

Durée de vie 10 ans

Coût_J_parking = $Coefficient_Coût_financement_long \times (ARRAYSUM(Parking_Gare[, *]) / 50) \times (2000000 \times 1.05) / 3650$

DOCUMENT: On calcule ici un coût qui tient compte de la dimension des parkings nécessaires pour stationner les Poids lourds attendant le chargement.

Ce coût comprend une maintenance égale à 5% de l'investissement initial.

Coût_plate_forme_par_jour = $SMTH1(IF R_shift_R \text{ then } Coût_Journalier_terminaux_RSR \text{ else } IF Modalhor = 0 \text{ then } (IF Longueur_des_trains > 20 \text{ THEN } (((Portiques_par_voie \times 2000000 \times ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])) / 3650) + (((Longueur_des_trains / 750) \times ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])) \times 5000000) / 10950) \times 1.05 \times Coefficient_Coût_financement_long + Coût_journalier_parking \text{ ELSE } (((Portiques_par_voie \times 2000000 \times ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])) / 3650) + ((ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*]) \times 5000000) / 10950) \times 1.05 \times Coefficient_Coût_financement_long + Coût_journalier_parking) \text{ Else } (IF Longueur_des_trains > 20 \text{ THEN } (((Longueur_des_trains / 750) \times ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])) \times 5000000) / 10950) \times 1.05 \times Coefficient_Coût_financement_long + Coût_journalier_parking \text{ ELSE } (((((ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*]) \times 5000000) / 10950) \times 1.05) \times Coefficient_Coût_financement_long + Coût_journalier_parking)), 24)$

DOCUMENT: Coût des portiques et des cours ramené à la journée

On a pris un taux de maintenance de 5 % l'an

Le coût du financement est pris en compte

Le coût des parkings est ici majoré de 40 % pour prendre en compte la marge de sécurité nécessaire.

Coût RSR spécifique mais avec la même logique de calcul

$\text{Coût_unitaire_des_voies} = \text{Coefficient_Coût_financement_long} * 2500$

DOCUMENT: Coût de financement pris en compte

$\text{Coût_unitaire_Journalier_automanipulateur} = \text{Coefficient_Coût_financement_court} * (90000 + 25000) / (365 * 5)$

DOCUMENT: en €

Journalisé

On prend une durée de vie de 5 ans

Les coûts retenus par TL&A sont de 90 000 €. J'avais par ailleurs 220 000 €

Finalement Le manipulateur autonome nécessite également un porte-praticable donc 90 k€+25k€ si abandon coussin d'air mais je ne sais pas bien comment ça fonctionnerait avec des roulettes basses (notamment vibration + bruit). Peut-être faut-il garder au moins pr les coûts la fourchette haute tant qu'on n'a pas tranché ?

Il s'agirait d'AGV simples suivant des balises implantées dans le sol (coût ds le doc pour installation), avec détection d'obstacles.

Le coût donné est pour une production en série, après amortissement des coûts proto-indus (1 M€).

Il s'agit d'une fourchette plutôt basse, ça peut vite monter selon les fonctions qu'on voudra ajouter (transmission, reprise en manuel possible, RFID, vision, ...) et les performances qu'on leur assignera (vitesse, précision

$\text{Coût_Unitaire_Journalier_praticable} = \text{Coefficient_Coût_financement_court} * 25000 / 3650$

DOCUMENT: en € Journalisé.

On prend une durée de vie de 10 ans

Le prix de base (TL&A) est de 25 k€ (praticable avec dispositif verrouillage twistlock et vérification)

$\text{Coût_unitaire_Portique} = 500000$

DOCUMENT: Hésitation sur le coût unitaire . 500 k€

10 % de maintenance

Durée de vie 10 ans

$\text{Coût_unitaire_Journalier_transbordeur} = \text{Coefficient_Coût_financement_court} * 75000 / 3650$

DOCUMENT: Coût unitaire dit "extérieur" journalisé.

On prend une durée de vie du matériel de 10 ans

$\text{Coût_Unitaire_infra} = 700$

DOCUMENT: On prend ici 700 € le M2.

Ce coût est plus élevé que celui déduit des coûts de construction de routes.. de l'ordre 4 à 5 millions € pour une 2 fois 2 voies. soit environ 14000 M2 au km qui serait de l'ordre de 300 € le m2

$\text{Equipes_par_portique} = 3$

DOCUMENT: Nombre d'équipes par jour et par engin de manutention en moyenne

$\text{Gares_d'extrémité} = 2$

DOCUMENT: Gares terminus

$K = 1$

$\text{Longueur_des_voies_terminaux_RSR_type} = 2 * \text{Longueur_des_trains} * 3$

DOCUMENT: Deux voies par terminal

```
Longueur__de_voies[Gares,Sens] = IF Longueur_des_trains>700 THEN
Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[Gares]*Longueur_des_trains*K ELSE
Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[Gares]*Longueur_des_trains*K*2
```

DOCUMENT: Longueur des voies utilisées pour le chargement des trains. Le coefficient K permet de disposer de plus d'espace que ce qui semble nécessaire.

Nombre_de_gares_normales = 5

DOCUMENT: Nombre de gares normales (pas en extrémité)

```
Nombre_de__praticables =
RSR_Caisses__In.Praticables_total_en_Mouvement_en_gare+RSR_Caisses__Out.Praticables_total_en_Mouvement_e
n_gare+UTI_circulant
```

DOCUMENT: Nombre de praticable :

On prévoit un nombre égal au nombre de possibilités maximales de chargement au droit des wagons pour chacune des voies.

On compare au nombre de manipulateurs en mouvement

Un buffer est inclus (voir module RSR)

Nombre_de__transbordeurs = (Gares_d'extrémité*2+Nombre_de_gares_normales*4)*Nombre__Wagons_par_train

DOCUMENT: le nombre de transbordeur est égal à ????

```
Nombre_portiques_RSR =
(1*RSR_Caisses__In.Nombre_de_zones)*(Gares_d'extrémité*2+Nombre_de_gares_normales*4)
```

DOCUMENT: On a des batteries de 1 portique par zone

On compte 2 quais pour les gares d'extrémité, 4 pour les gares en ligne.

```
Nombre__d'automanipulateurs =
1.25*(RSR_Caisses__In.Automaniplateurs__en_mouvement+RSR_Caisses__Out.Automaniplateurs__en_mouvement)
```

DOCUMENT: Nombre d'automanipulateurs utilisé plus 25 %

```
Personnel_portiques = IF R_shift_R=1 then 0 else IF Modalhor = 0 Then
Composition_Equipe*Equipes__par_portique*Portiques_par_voie*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_
chargement[*]) else if Type_d'exploitation>0 then
Composition_Equipe*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])*(Type_d'exploitation) Else
Composition_Equipe*ARRAYSUM(Nombre_de_voies_par_gare_pour_le_chargement[*])
Postes_réels__chargement_par_jour = Postes_RSR_chargementdéchargement*1.15
```

DOCUMENT: Nombre de postes à mobiliser par jour sur la base de 7 heures de travail par poste.

Ce chiffre est majoré de 15 % pour les aléas

Postes_RSR_chargementdéchargement = 1.5*Nombre_portiques_RSR

DOCUMENT: le nombre de postes est de 1 par zone en permanence et par quai soit $5*4+2*2= 25$ postes

```
RSR_Somme_des_postes_en_gare =
ARRAYSUM(RSR_Caisses__In.Postes_en_Gare[*,*])+ARRAYSUM(RSR_Caisses__Out.Postes_en_Gare[*,*])+Postes_réel
s__chargement_par_jour
```

DOCUMENT: Nombre de postes en gare hors manutention

Superficie_par_UTF = 1040

DOCUMENT: M2 par UTF et par sens

Superficie_Terminal_type_Rsr = 2*Superficie_par_UTF*Nombre__Wagons_par_train+20000

DOCUMENT: Superficie des terminaux RsR

2 voies par terminal

Superficie_totale_RsR_hors_parking = Superficie_Terminal_type_Rsr*7

6.2.5 COUTS ANNUALISES

Coûts annualisés et autres

CA_Gares = IF R_shift_R = 1 then Coût_plate__forme_par_jour*365 else
(Coût_journalier_personnel_de_portique+Coût_plate__forme_par_jour)*365

DOCUMENT: Coût annuel des palte formes. On fait le calcul ici sur 365 jours.

CA_Traction_et_éner =
(Coût_journalier__personnel_conduite)*365+(Coût_énergie+Coût_matériel_traction_par_jour)*300

DOCUMENT: Le coût est calculé sur 365 jours pour le personnel et sur 300 jours pour l'énergie et le matériel (Base retenue pour le trafic)

CA_Voie = Coût_voie*365

DOCUMENT: Coût annuel de la voie sur la base de 365 jours

CA_Wagons = Coût_Wagon_par_jour*300

DOCUMENT: Coût calculé sur 300 jours (base retenue pour le trafic)

Coût_annuel = CA_Traction_et_éner+CA_Voie+CA_Wagons+CA_Gares
Emploi = IF R_shift_R = 0 then
(Personnel_de_conduite__nécessaire_par_jour+Personnel_portiques+RSR_Somme_des_postes_en_gare)*(365/300)
else
(Personnel_de_conduite__nécessaire_par_jour+RSR_Somme_des_postes_en_gare+Personnel_portiques)*(365/300)

DOCUMENT: Somme du personnel nécessaire majoré (coefficient 365/300) pour tenir compte des congés.

Ces congés sont pris en comte dans le coût du travail par ailleurs, les coûts du personnel etant pris en compte sur 365 jours au taux nominal alors que l'activité est considérée sur 300 jours.

En fait on prend le nombre journalier qui comprend une réserve.

On prend en compte ici la totalité des personnels utilisés.

A voir : personnel technique ??

KWH_an = kwh_consommés*300

DOCUMENT: KW consommés sur la base de 300 jours d'activité.

6.2.6 COUTS PAR UTI ET PAR KM

Calculs coûts par km et par UTI

Choix_péage = 0
Coût_km_par_UTI_hors_voie = IF time > 6 then Coût_par_UTI_km-((1-Choix_péage)*Coût_voie/UTI_km_jour) -
Péage_RFF_par_jour else 0
Coût_par_UTI_km = IF R_shift_R = 1 then IF time > 6 then
((Coût_énergie+Coût_matériel_traction_par_jour+Coût_voie*(1-
Choix_péage)+Coût_Wagon_par_jour+Coût_journalier_personnel_conduite+Coût_plate__forme_par_jour)/UTI_km_
jour)+Péage_RFF_par_jour else 0 Else IF time > 6 then
((Coût_énergie+Coût_matériel_traction_par_jour+Coût_voie*(1-
Choix_péage)+Coût_Wagon_par_jour+Coût_journalier_personnel_conduite+Coût_journalier_personnel_de_portiqu
e+Coût_plate__forme_par_jour)/UTI_km_jour)+Péage_RFF_par_jour else 0

Pct_Energie = If time > 24 then pct((Coût_énergie/UTI_km_jour)/Coût_par_UTI_km) else 1

DOCUMENT: Part de l'énergie dans les coûts

Pct_Plate_forme = IF R_shift_R = 1 then If Time > 24 then
PCT(((Coût_journalier_personnel_de_portique+Coût_plate__forme_par_jour)/UTI_km_jour)/Coût_par_UTI_km) Else
1 Else If Time > 24 then
PCT(((Coût_journalier_personnel_de_portique+Coût_plate__forme_par_jour)/UTI_km_jour)/Coût_par_UTI_km) Else
1

DOCUMENT: Pourcentage des coûts de plate forme

Par de différence en fait entre les deux calculs

Pct_Traction = if time > 24 then
PCT(((Coût_matériel_traction_par_jour+Coût_journalier__personnel_conduite)/UTI_km_jour)/Coût_par_UTI_km) else
1

DOCUMENT: Pourcentage coûts de traction

Pct_Voie = IF Time > 24 then PCT(((1-
Choix_péage)*(Coût_voie/UTI_km_jour)+Péage_RFF_par_jour)/Coût_par_UTI_km) Else 1

DOCUMENT: Pourcentage des coûts de voie

Pct_Wagon = IF Time > 24 then pct((Coût_Wagon_par_jour/UTI_km_jour)/Coût_par_UTI_km) Else 1

DOCUMENT: pourcentage coûts de wagon

Péage_par_train_km = 3.135

DOCUMENT: En € par train.km barème 2010 RFF

Péage_résa_Sillon = (1/Espacement_retenu__entre_trains)*22*1*1227

DOCUMENT: Péage de réservation des sillons.km

Il varie en fait de 1,595 à 0,532 € par sillon km

En pratique on prendra donc tarif journalier de 22 heures * nombre de sillon par heure* 1 €

On multiplie par la distance totale de 1227 km

Péage_RFF_par_jour = ((Péage_résa_Sillon+Péage_par_train_km*trains_km_jour)*Choix_péage)/UTI_km_jour

DOCUMENT: Calcul du péage RFF

6.2.7 COÛTS DU PERSONNEL DE CONDUITE

Coûts de personnel de conduite

Coef_réserve = 1.1

DOCUMENT: Coefficient prenant en compte la disponibilité d'une réserve.

Conduite__Manuelle = 1

DOCUMENT: Bouton actionnant un système de conduite automatique sur l'ensemble de la ligne.

Ce bouton supprime tout personnel de conduite.

A la place un surcoût intervient sur les locomotives

La conduite automatique correspond à la valeur 0

La valeur par défaut 1 actionne une conduite traditionnelle manuelle à 1 conducteur par locomotive

Coût_Journalier_unitaire_personnel_de_conduite = 180

DOCUMENT: Coût de base en € d'une heure de travail d'un conducteur de train

Coût_journalier_personnel_conduite =
Personnel_de_conduite_nécessaire_par_jour*Coût_Journalier_unitaire_personnel_de_conduite

DOCUMENT: Coût journalier du personnel de conduite

Coût_moyen_de_l'heure_de_conduite = (Coût_journalier_personnel_conduite+.0001)/(Heures_de_conduite+.0001)

DOCUMENT: Coût de l'heure de conduite. On rapporte ici le coût global du personnel de conduite au nombre d'heures conduites. En fait on tient compte de la réserve et des temps annexes.

Nombre_conducteurs_par_jour = Int((IF Type_d'exploitation>0 then
Heures_de_conduite/(Temps_conduite_max_par_jour+Temps_annexes_par_jour) else 0)*Conduite_Manuelle)

DOCUMENT: Nombre de conducteurs nécessaires

Personnel_de_conduite_nécessaire_par_jour = Nombre_conducteurs_par_jour*Coef_réserve

DOCUMENT: Nombre de conducteurs nécessaire.

Ce chiffre peut être majoré d'une réserve

Temps_annexes_par_jour = 1
Temps_conduite_max_par_jour = 7

DOCUMENT: Etabli à partir d'un maximum de 8:00 d'activité par jour.

6.2.8 COUTS DES VOIES ET AUTRES COUTS

Coûts voie et trains

Amortissement_voie_par_km_et_par_jour =
270*((Poids_essieu/25)^.5)*((Vitesse_max_des_trains/33.33)^2)*Type_de_voie*Coefficient_Coût_financement_long

DOCUMENT: Dépend tu type de voie qui détermine le coût de base. Ensuite on ajoute l'incidence du poids à l'essieu, la vitesse des trains

La base est prise égale à 3 millions € le km, ce qui revient à environ 270 € par km et par an (chiffre non actualisé et sans coût de financement)

Ce nombre est alors multiplié par le coefficient reflétant le coût de financement

Coefficient_Coût_financement_court = -PMT(Tx_Intéret,Durée_fin_court,Durée_fin_court,0)

DOCUMENT: Coefficient multiplicateur pour prendre en compte le coût de financement

Ici on prend un financement "court" par défaut de 10 ans

Coefficient_Coût_financement_long = -PMT(Tx_Intéret,Durée_fin_long,Durée_fin_long,0)

DOCUMENT: Coefficient multiplicateur pour prendre en compte le coût de financement

Ici on prend par défaut un financement "long" de 30 ans

Coût_du_kw = 0.02875*1.10

DOCUMENT: Coût du kwh en € observé en 2004 majoré de 10 %

A réviser

Coût_élément_tête_Rsr = 400000

DOCUMENT: Coût unitaire d'un élément de tête

```
Coût_énergie = Coût_du_kw*kwh_consommés
Coût_matériel_traction_par_jour = IF R_shift_R=1 then
Coefficient_Coût_financement_court*Coût_élément_tête_Rsr/(365*30) else
Coût_unitaire_matériel_traction_par_km*trains_km_jour
```

DOCUMENT: Coût du matériel de traction par jour

Dans le cas de RSR ce coût est nul. On prend alors en compte ici le coût du matériel dit de tête amortissable en 30 ans, et financé par emprunt court

```
Coût_unitaire_wagon_par_km = IF Modalhor= 0 then
((0.05+0.05*(Vitesse_max_des_trains/(120000/3600))^2)*Coefficient_Coût_financement_court) else
4*((0.05+0.05*(Vitesse_max_des_trains/(120000/3600))^2)*Coefficient_Coût_financement_court)
```

DOCUMENT: Le coût unitaire des wagons dépend de la vitesse des trains.

On multiplie ce coût par un coefficient pour prendre en compte le coût de financement.

On considère que le coût d'un wagon modalhor est de 4 fois celui d'un wagon normal

```
Coût_unitaire_matériel_traction_par_km =
((((0.001*Puissance_de_traction_par_train/3)+1)/10)+0.2*((0.001*Puissance_de_traction_par_train/3)+1))*Coef
ficient_Coût_financement_court*Majo_ERTMS3
```

DOCUMENT: Coût du matériel de traction.

Il dépend de la puissance de traction du train.

On prend en compte le coût de financement par un coefficient

```
Coût_voie =
(Amortissement_voie_par_km_et_par_jour+Maintenance_Voie_par_km_et_par_jour)*(Longueur_des_lignes+Longu
eur_Voies_d'accès)
```

DOCUMENT: Coût journalier des voies.

```
Coût_Wagon_par_jour = IF R_shift_R then
Ratio_coût_unitaire_wagon_RSR*((0.05+0.05*(Vitesse_max_des_trains/(120000/3600))^2)*Coefficient_Coût_fin
ancement_court)*Wagons_km_jour else Coût_unitaire_wagon_par_km*Wagons_km_jour
```

DOCUMENT: Calcul du coût des wagons en fonction du coût unitaire au km et du nombre de wagons.km

On dérive le coût du wagon RsR des données estimées extrapolées avec les mêmes formules que pour les autres matériels en fonction de la vitesse.

Le ratio de coût (3.2) correspond au multiplicateur par rapport à un wagon ordinaire
Coût_Unitaire_accès_réseau_électrique = .456+.23

DOCUMENT: le coût d'accès au réseau électrique est facturé par RFF au "train.km". Il comprend deux composantes, l'une concerne le transport de l'électricité (0,456 €/train.km) et la mise à disposition de l'électricité (0,23 €/train.km)

Durée_fin_long = 30

DOCUMENT: Durée en année du financement retenu pour les infrastructures

Ici on prend par défaut un financement "long" de 30 ans

Durée_fin_court = 10

DOCUMENT: Durée en année du financement retenu pour le matériel

Ici on prend un financement "court" par défaut de 10 ans

```
kwh_consommés = IF R_shift_R=1 then Coût_Unitaire_accès_réseau_électrique*trains_km_jour
+20*TKBR_par_jour/1000 else Coût_Unitaire_accès_réseau_électrique*trains_km_jour+ 20*(TKBR_par_jour-
Poids_Locomotive*trains_km_jour)/1000
```

DOCUMENT: On prend comme base de consommation 20 Wh par TKBC, ce qui revient à diminuer les TKBR compte tenu du poids des locomotives

Dans le cas de R-shift le poids intègre la motorisation et on ne prend donc pas en compte de poids de locomotive

Longueur_Voies_d'accès = $7.2 * 4 * 5 + 7.2 * 2 * 2$

DOCUMENT: On ajoute des longueurs de voie pour prendre en compte les voies d'accélération et de décélération des gares

On prend ici 7200 mètres par sens et par voie soit $7200 * 4$ par gare et $7200 * 2$ à l'extrémité.

Maintenance_Voie_par_km_et_par_jour =
 $\text{Type_de_voie} * ((\text{Poids_essieu} / 25)^{.5}) * ((\text{Vitesse_max_des_trains} / 33.33)^{.5}) * \text{Coût_maintenance_annuel_au_km} / 365$

DOCUMENT: Maintenance de la voie. Dépend du type de voie qui détermine le coût de base. Ensuite on ajoute l'incidence du poids à l'essieu, la vitesse des trains

Majo_ERTMS3 = IF Conduite_Manuelle = 0 then 1.05 else 1

DOCUMENT: Coefficient de majoration du coût des locomotives du à l'équipement ERTMS (selon le mémo de Bruxelles sur le sujet en date du 4 juillet 2005)

Poids_essieu = $25 + (\text{Gabarit} - 1) * 3$

DOCUMENT: Poids à l'essieu admis sur l'axe. On considère que si on passe en double stack, ce poids est majoré de 0 à 7 tonnes (ici on prendra 3 tonnes) par rapport à la base de 25 retenue dans ce modèle.

Ratio_coût_unitaire_wagon_RSR = 3.2

DOCUMENT: Le coût d'un wagon est pris égal à 290000 € sans les praticables (comptabilisés par ailleurs)

Durée de vie prise en compte 10 ans.

On prend donc par rapport à un coût de wagon standard un ratio de 3,2

Tx_Intérêt = .045
 Type_de_voie = 1

DOCUMENT: Type de voie : permet de faire varier le coût kilométrique de construction

Au total, on prend ici globalement en compte les spécificités.

Par exemple les protections, les voies enterrées, le type de signalisation, etc..

La base est prise égale à 3 millions € le km, ce qui revient à environ 270 € par km et par an (chiffre non actualisé et sans coût de financement)

Coût_maintenance_annuel_au_km = GRAPH(TKBR_par_jour)
 (10000, 7000), (36364, 17230), (62727, 21880), (89091, 26065), (115455, 30000), (141818, 33970), (168182, 39550), (194545, 43735), (220909, 47455), (247273, 52105), (273636, 55825), (300000, 60000)

DOCUMENT: Coût de maintenance en fonction du trafic

6.3 ANNEXE 3 : DONNEES QUANTITATIVES

6.3.1 VITESSES ET ACCELERATIONS

Pour les besoins de simulation, les ordres de grandeur des vitesses des éléments sont donnés :

- Vitesse maximale de circulation des camions sur le terminal : 30 km/h
- Vitesse - accélération tapis rouleaux chargé : 4 m/s - 0.5 m/s²
- Vitesse - accélération manipulateur : 3 m/s - 1 m/s²
- Vitesse - accélération rouleaux buffer : 3 m/s - 0.5 m/s²
- Vitesse - accélération portique : 2 m/s - 0.2 m/s²
- Vitesse - accélération grand portique : 3 m/s - 0.4 m/s²
- Vitesse de levage ou dépose en charge : 0.5 m/s

6.3.2 DUREES FIXES

Les durées d'immobilisation des marchandises sont un facteur important, une estimation de ces temps est nécessaire pour représenter les différents cas de figure pouvant se présenter :

- Arrêt poste de contrôle : 300s
- Transfert poste de contrôle - poste déchargement route (distance moyenne à parcourir estimée à 200 m) : 20s
- Déchargement portique conteneur avec prise du praticable en temps masqué (arrivée camion) : 60s
- Opération portique grand gabarit (scénario 4) pour conteneur posé sur une ligne : 60s
- Déchargement caisse mobile avec marche arrière : 120 s
- Déchargement semi-remorque avec marche arrière : 180 s
- Entrée moyenne d'un praticable dans le buffer et sortie vers un point de reprise : 30s

6.3.3 DISTANCES ET SURFACES

Parking d'attente

Un dimensionnement est prévu pour 50 places (1 train), considérant que 25% des camions arrivent en avance, 25% font un arrêt rapide pour vérifier le chargement, faire une pause technique, dans le sens du chargement et du déchargement. Les 50% restant dans chaque sens effectuent le cycle minimum et s'en vont dès que la marchandise est déposée et qu'une autre cargaison a été chargée le cas échéant.

Voie ferrée

Le terminal est conçu avec un accès en déviation de la ligne principale, permettant éventuellement des aiguillages vers plusieurs quais (jusqu'à 4).

Si la longueur utile de traitement est de 750m en ligne droite, la longueur d'une voie comprend également les parties de raccordement à la voie principale et d'insertion dans la circulation, donc il

faut prévoir une section d'accélération pour ne pas trop ralentir le trafic de la voie principale a priori. La longueur totale est donc au moins de 3 fois la longueur du train.

Voies de circulation

Pour le chargement ou le déchargement, on considère une voie de circulation et une voie d'opération qui sont parallèles. La distance totale est a priori de 200m, permettant d'avoir 3 postes à rouleaux (et autant de portiques), suffisant en première approche.

Les voies de circulation sont organisées d'une manière générale pour avoir toujours 2 voies dans le même sens permettant de ne pas bloquer la circulation si un poids lourd doit s'arrêter pour une raison ou une autre.

Les manœuvres en marche arrière sont à éviter autant que possible et si elles doivent avoir lieu, à prévoir en dehors de la zone d'activité la plus intense. Pour le retournement de manière générale, on prévoit en bout de chaque segment un rond-point pour pouvoir faire demi-tour.

Le scénario 3 prévoit de doubler les capacités et donc les voies de stockage et de roulage.

Le scénario 4 propose une alternative aux voies de répartition proposées initialement, en supprimant les parties avec zones de praticables et porte-praticables et en les remplaçant par des portiques grand gabarit.

Buffer de stockage

Il y a 2 buffers de stockage : un pour le chargement des trains et un autre pour le déchargement. La taille est modulable, on part du principe d'une allée à rouleaux permettant d'adresser d'un côté les places de reprise par les porte-praticables et de l'autre les rangées de stockage. Il faut a priori un espace pour stocker ½ train (24-25 places) par buffer, une matrice de 5 par 5 paraît un bon compromis.

La question est de savoir si le buffer de stockage reçoit indifféremment les conteneur et caisses mobiles ou s'il faut un buffer pour chaque type de marchandises. En première approche, le cas des caisses mobiles nécessitant une opération manuelle tendrait à dire qu'on peut organiser le terminal de sorte à séparer les flux.

6.3.4 CONSOMMATIONS

Les ordres de grandeur des consommations des engins sont donnés :

- Reach stacker : 300 kW, idem pour cavalier
- Portique :
 - Sur rail (18 rangées maximum) : 600 kW
 - Sur pneus (9 rangées maximum) : 500 kW
- Véhicule autoguidé (manipulateur) : 250 kW
- Tracteur de parc : 50-70 kW