



**SIGMA Conseil**  
S.A.R.L au capital de 7 650 euros  
Siège social : 178, boulevard Haussmann 75008 PARIS  
R.C.S. PARIS B 440 148 153

**ÉLÉMENTS DE DÉFINITION  
DU SYSTÈME D'EXPLOITATION  
DE L'AUTOROUTE FERROVIAIRE  
SUR LE RÉSEAU EXISTANT**

Version 2F du 5 novembre 2003

**AVERTISSEMENT IMPORTANT**

Les termes et les conclusions de ce rapport n'engagent en rien les services de l'État.

S'agissant d'une étude de définition, les valeurs de trafics et les coûts qui y figurent ne peuvent être considérées comme validés, ni par les opérateurs, ni par l'État.

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>SYNTHÈSE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTE .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>HISTORIQUE .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>PROBLÉMATIQUE ROUTIÈRE .....</b>	<b>11</b>
4.1	Le marché routier .....	11
4.2	Coûts routiers de bout en bout .....	11
4.2.1	Les coûts de conduite .....	12
4.2.2	Les coûts de carburant .....	12
4.2.3	Les coûts de maintenance .....	13
4.2.4	Les péages autoroutiers .....	13
4.2.5	Les coûts en capital .....	13
4.3	Les coûts économisés .....	13
4.4	Services offerts .....	14
4.4.1	Services pour les véhicules .....	14
4.4.2	Services pour les conducteurs routiers .....	14
4.5	Avantages offerts .....	14
<b>5</b>	<b>SYSTÈME D'EXPLOITATION .....</b>	<b>16</b>
5.1	Problématique .....	16
5.2	Règles de sécurité .....	17
5.3	Formation des trains .....	17
5.4	Chantiers d'échange .....	18
5.4.1	Règles de principe des implantations .....	18
5.4.2	Infrastructures ferroviaires et routières .....	18
5.4.3	Conditions d'exploitation du chantier .....	19
5.5	Conditions de circulation et suivis associés .....	20
5.6	Poste central de supervision .....	20
5.7	Bases structurantes de la trame d'exploitation .....	21
5.8	Impact sur les passages à niveau .....	22
5.9	Conditions de gestion du personnel roulant .....	22
5.10	Conditions de gestion du matériel .....	23
5.11	Traitement des données .....	23
5.12	Scénarios de situations perturbées .....	23
<b>6</b>	<b>MATÉRIEL ROULANT .....</b>	<b>25</b>
6.1	Généralités .....	25
6.2	Composition de la rame .....	26
6.2.1	Efforts au démarrage et puissance nécessaires pour un coupon .....	26
6.2.2	Cas de la traction autonome .....	27
6.2.3	Attelages .....	27
6.2.4	Position de l'engin de traction .....	27
6.2.5	Transport des conducteurs routiers .....	28
6.3	Vitesse de circulation du convoi .....	29
6.3.1	Aspects traction .....	29
6.3.2	Aspect freinage .....	30
6.3.3	Aspect stabilité/efforts sur la voie .....	30
6.4	Longueur du train .....	31
6.4.1	La commande du freinage .....	31
6.4.2	Les efforts longitudinaux de traction et de compression .....	32
6.5	Aérodynamique .....	32
6.5.1	Vents traversiers .....	32
6.5.2	Comportement des remorques routières .....	32
6.6	Points divers .....	33
6.6.1	Freinage par récupération .....	33
6.6.2	KVB .....	33

<b>7</b>	<b>CONSÉQUENCES SUR LES INFRASTRUCTURES .....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>CERTIFICATION DU SYSTÈME .....</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>ÉVOLUTION DU SYSTEME D'AUTOROUTE FERROVIAIRE .....</b>	<b>34</b>
9.1	Quelques étapes plausibles.....	36
9.2	Les évolutions opérationnelles.....	36
9.3	Les évolutions techniques .....	37
9.4	Applications pratiques .....	37
9.4.1	2005 : Folkestone – Aiton .....	37
9.4.2	2007 : extension de l'expérimentation Aiton – Orbassano .....	37
9.4.3	2007 : Axe Atlantique .....	38
9.4.4	2010/2020 : Mise en place du système Languedoc – Vallée du Rhône et développement du service sur l'axe Atlantique.....	38
9.5	Études complémentaires .....	38

# 1 SYNTHÈSE

À partir des éléments exposés ci-après, la nouvelle autoroute ferroviaire conjugue l'optimisation du couple matériel roulant / exploitation, en s'appuyant sur les technologies les plus récentes.

Les technologies préconisées sont, soit déjà utilisées en exploitation, soit en capacité d'être industrialisées, soit à un stade de recherche permettant raisonnablement d'envisager une mise en exploitation dans la décennie à venir.

- La création d'axes nouveaux à gabarit adapté à l'autoroute ferroviaire n'a pas débouché en raison du coût de construction ou d'adaptation des lignes. Il faut donc retenir une démarche ne nécessitant pas la construction de lignes nouvelles à gabarit "fret".
- Le volume du fret ferroviaire n'a pas réussi à décoller depuis une dizaine d'années dans les technologies traditionnelles du transport ferroviaire. Il convient de concevoir un nouveau produit permettant de conserver la souplesse routière tout en utilisant le système ferroviaire sur une partie significative du parcours.
- Le nouveau produit doit être capable d'acheminer par rail sur une grande partie du trajet les porteurs routiers qui sont le mode choisi par les chargeurs. L'objectif est d'acheminer sur quelques grands axes et à longue distance éventuellement des trafics pouvant atteindre en cumulé plusieurs dizaines de milliards de tonnes - kilomètres.
- Le système à concevoir doit permettre au pouvoir politique de s'engager dans les deux années qui viennent.
- La rentabilité de l'exploitation doit être rapidement obtenue, le fonctionnement courant ne pouvant pas faire l'objet de subventions durables.
- Le péage d'infrastructure est à prévoir à un niveau suffisamment significatif, compte tenu de ce qui est payé par les autres types de transports ferroviaires.
- Le promoteur du système d'autoroute ferroviaire devra probablement être constitué avec une participation importante de la profession routière. L'exploitant de ce système, qui en assurera la commercialisation, pourra être différent de ce promoteur qui néanmoins en assurera la mise en place. De même, l'opérateur ferroviaire ainsi que ceux des chantiers pourront être distincts de l'exploitant et retenus en fonction de leurs compétences techniques. Le montage final est donc ouvert et pourra combiner les diverses options.

## ➤ **Caractéristiques du système**

Les caractéristiques du nouveau concept d'autoroute ferroviaire sont les suivantes :

- **Circulation sur le réseau existant**
- Compatibilité avec le réseau existant afin de limiter le coût d'investissement.
- Capacité des infrastructures actuelles à accueillir un débit d'une trentaine, voire d'une quarantaine de trains journaliers par sens, ce qui impose de limiter ce système sur le réseau existant aux axes essentiels des flux routiers.

- Capacité de circuler à la fois sur les lignes classiques et le cas échéant, sur des portions limitées de lignes nouvelles, ces dernières pouvant présenter des déclivités plus importantes.
- Afin de pouvoir s'inscrire aisément dans les sillons des trafics régionaux de voyageurs, l'aptitude circuler à 120 km/h devra être retenue, une réflexion sera toutefois menée pour valider la pertinence de porter cette vitesse à 140 km/h.
- La distance à parcourir avec les trains doit correspondre pour les transports accompagnés aux périodes de repos des conducteurs routiers fixées par la réglementation sociale européenne, soit un parcours de neuf heures au moins pour disposer d'un repos journalier. Toutefois les conditions de rémunération des temps de non conduite pouvant varier selon le pays d'origine des entreprises de transport et des conducteurs, il en résulte une variété de situations aux quelles l'autoroute ferroviaire doit pouvoir répondre grâce à sa souplesse et sa gamme de services offerts.

- **Traction**

- Capacités dynamiques du train (accélérations, freinage) se rapprochant des caractéristiques des trains de voyageurs.
- Aptitude à la remorque de trains d'une longueur de 1 500 m ou plus, sur une durée d'environ 9 heures.

La relève d'agents de conduite ne se fera que dans les chantiers spécialisés, sans arrêts techniques ailleurs sur le réseau.

- **Exploitation des rames**

- Constitution de rames blocs afin de réduire les mouvements de manœuvre.
- Ménager la possibilité de couper cette rame en coupons de 750 m, voire 375 m, pour d'une part, s'adapter au marché et, d'autre part, pouvoir gérer les situations en service dégradé.
- Charge à l'essieu maximale : 22,5 tonnes, compatible avec à la masse admissible par les ensembles routiers, la profession routière étant très attentive à l'acceptation d'ensembles routiers de 44 tonnes.
- Mise à disposition d'une capacité de transport des conducteurs routiers, offrant un niveau de sécurité élevé et un confort satisfaisant qui permet de prendre à bord le repos journalier fixé par la réglementation du travail.

- **Exploitation des terminaux**

- Aménagement de terminaux présentant le maximum de souplesse pour le transfert intermodal, et la mise en ligne rapide des trains à la sortie du chantier.
  - o Avec entrée et sortie directe sur la ligne principale à une vitesse minimale de 80 km/h ou 90 km/h, sans cisaillement, de façon à faciliter l'inscription au graphique.

- Configuration en boucle, de manière à toujours conserver le même sens de circulation des trains et garantir ainsi la bonne orientation des tracteurs routiers.
  - Chargement des camions de façon latérale, en s'inspirant du concept Modalohr.
  - Automatisation et télécommande des opérations de formation des trains et de mise en place des coupons dans les chantiers, pour réduire les coûts d'exploitation et la durée des opérations de chargement/déchargement.
- Capacité à prendre ou laisser des coupons en un point intermédiaire.
  - Permettre éventuellement une exploitation en Y si l'analyse des matrices de flux en montre la pertinence.

## 2 CONTEXTE

La Direction des Transports Terrestres engage un débat national concernant l'évolution des infrastructures de transport de marchandises sur la vallée du Rhône, car leur saturation devrait intervenir au cours de la prochaine décennie, compte tenu de l'augmentation prévisionnelle des trafics.

Avant d'envisager une augmentation de la capacité autoroutière, il est examiné la part que le transport ferroviaire pourrait prendre sur les transports empruntant cet axe. Pour atteindre un objectif significatif de part de marché ferroviaire il faut étendre la réflexion, au-delà des offres traditionnelles du transport ferroviaire de fret, vers des systèmes nouveaux de transport par rail s'adressant non pas aux chargeurs mais directement à la profession routière.

Le débat sur la vallée du Rhône et les analyses qu'il suscite, peu aussi devenir l'occasion d'une réelle réflexion sur l'aménagement dans le domaine des transports de ce quart sud-est en pleine croissance.

### ➤ **Concevoir un produit innovant**

Le nouveau produit ferroviaire susceptible de répondre à la demande doit ainsi présenter les caractéristiques permettant d'offrir une capacité de transport suffisante à une vitesse commerciale élevée, en prenant en compte les aspects environnementaux, tout en étant parfaitement adapté aux conditions économiques du marché.

Il doit être élaboré à partir des éléments que le ferroviaire saura mettre en œuvre d'ici 8 à 10 ans pour apporter une réponse réaliste et pertinente. Ensuite, en fonction de la réponse du marché, des évolutions techniques et des possibilités économiques et financières, ce produit pourra être étendu dans la cohérence avec le système déjà en exploitation.

### 3 HISTORIQUE

L'importance de plus en plus forte prise par les transports routiers dans le marché du transport des marchandises, avec les impacts sur la circulation sur le réseau autoroutier et sur l'environnement, a conduit à la fin des années 1980 à une volonté politique de rééquilibrer la part des divers modes de transport vers les plus respectueux de l'espace et de l'environnement. Le transport intermodal est la réponse actuelle du monde ferroviaire pour combiner le transport ferroviaire à la souplesse routière ; mais il s'adresse, outre le marché du conteneur terrestre et maritime, seulement à une partie du marché routier. Il nécessite en effet que l'entreprise routière investisse en matériel adapté à la saisie par pince et s'organise pour faire assurer par le ferroviaire la partie centrale de son transport et un système de reprise de la caisse routière et de desserte terminale à chaque extrémité.

#### ➤ **Le concept des années 1990**

Afin d'offrir à l'ensemble des entreprises routières la possibilité de faire effectuer une partie du voyage en technique ferroviaire, il était nécessaire de concevoir un système avec un minimum de contraintes pour l'entreprise routière utilisatrice et permettant de conserver à l'ensemble du transport la souplesse et la qualité du transport par route.

Cette recherche conduisit au début des années 1990 au concept d'autoroute ferroviaire sur une infrastructure spécifique aux divers transports de fret. Le choix d'une infrastructure nouvelle spécialisée pour le fret avait été retenu comme un élément permettant d'accroître fortement les possibilités sur l'axe Nord Sud et de transit en France tant pour le transport de fret ferroviaire classique que pour des produits innovants comme le transport de véhicules routiers accompagnés ou le double niveau pour les conteneurs. La nouveauté de la réalisation de la ligne était l'occasion, pour un surcoût modeste, de choisir un gabarit généreux qui seul permettait le chargement simple de véhicules routiers sur des wagons plateaux ferroviaires avec roues normales, soit à 1 mètre du rail environ, ainsi que du double niveau en conteneurs voire du trois niveaux pour les véhicules automobiles légers.

Cette recherche n'a pas pu déboucher sur une réalisation concrète faute de pouvoir dégager des financements suffisants pour réaliser, même partiellement, ces infrastructures dédiées au transport de fret. Toutefois, cette recherche a permis de dégager des éléments qui, indépendants de la réalisation d'une infrastructure spécifique, peuvent servir de point de départ à une nouvelle approche d'un système d'autoroute ferroviaire utilisant le réseau existant.

#### ➤ **Des éléments de concept pour une autoroute ferroviaire**

Le concept d'autoroute ferroviaire est un système nouveau qui, contrairement aux systèmes mis en place pour franchir un obstacle naturel pour lequel il n'existe pas de solution routière (franchissement de la Manche), doit constituer pour le routier une alternative attrayante à l'utilisation de la voirie routière et autoroutière. Ce système doit donc comporter un libre accès et n'être ressenti que comme une technique particulière d'acheminement utilisée pour une partie du trajet d'un transport routier permettant d'en améliorer le coût et l'efficacité.

Les principaux éléments de ce concept issus de l'étude des années 1990 et constitutifs du système d'autoroute ferroviaire sont toujours d'actualité.

- Le lieu d'accès aux services de l'autoroute ferroviaire doit être choisi par le routier en fonction de l'organisation de son parcours total, les parcours routiers en amont en aval du trajet effectué par l'autoroute ferroviaire pouvant être très importants



contrairement aux services actuels de transports intermodaux pour lesquels les parcours d'approche sont situés dans une zone de chalandise. Ceci conduit à retenir des emplacements de chantiers d'échange cohérents avec le réseau autoroutier et les grands flux de transport plutôt qu'avec les zones finales des transports.

- Le temps du trajet effectué en utilisant les services de l'autoroute ferroviaire doit permettre, si nécessaire, aux conducteurs routiers de prendre les temps de repos prévus dans la réglementation du travail. La réglementation sociale européenne dans les transports routiers précise que la règle générale est de 11 heures consécutives de repos avec une réduction possible à 9 heures consécutives 3 fois par semaine et une possibilité de fractionnement en trois au maximum sous 3 conditions :
  - repos total de 12 heures,
  - une période d'au moins 8 heures,
  - pas de période de durée inférieure à 1 heure.

En outre il est prévu que le repos puisse être pris en couchette à condition que le véhicule soit à l'arrêt. Toutefois, les heures de non conduite peuvent être traitées différemment suivant les pays d'origine des entreprises et des conducteurs. Il en résultera une grande variété de situations auxquelles le concept d'autoroute ferroviaire doit pouvoir répondre grâce à sa souplesse et à sa gamme de services offerts, notamment, les conditions de confort de l'autoroute ferroviaire. Ceci devrait permettre de négocier des évolutions de la réglementation qui tiendraient compte du caractère particulier des services de l'autoroute ferroviaire et en particulier qu'il est possible d'appliquer la règle de la couchette de cabine. Ceci permet d'apporter une productivité par rapport à la conduite routière puisque le transport continue à se faire alors même que le conducteur ne conduit pas et peut éventuellement prendre son repos (ce qui est le cas sur la route roulante suisse). Il en résulte que les grilles de dessertes des services doivent répondre aux diverses situations et notamment être orientées sur le respect des temps de repos.

- L'exploitation ferroviaire doit offrir, comme la voirie routière, un service continu, le mieux cadencé possible de façon à optimiser les temps d'attente avant départ, avec une tarification type péage autoroutier et contrôles divers en entrée, puis une sortie libre à l'arrivée de façon à ne pas faire perdre de temps dès que le conducteur reprend le volant. Ceci conduit à une exploitation en navette pour une même origine - destination et à concevoir des chantiers permettant, pour tous, des temps de chargement et de déchargement les plus courts possibles.
- Une attention particulière doit être apportée aux services offerts aux conducteurs tant dans les chantiers que pendant le trajet ferroviaire : lieux de convivialité, de restauration, de repos, de sommeil permettant un confort supérieur à l'utilisation d'une couchette de cabine sur une aire d'autoroute.
- L'exploitation continue de ce système et la souplesse qu'il offre pour charger des remorques routières ordinaires, sans dispositif de préhension par pinces et dans des délais plus courts, peuvent inciter progressivement les entreprises routières à s'organiser pour utiliser les services de l'autoroute ferroviaire en transport non accompagné.

### ➤ **Un système circulant sur le réseau existant**

Avec l'arrivée de wagons ayant un plancher à 20 cm du rail et permettant de charger des véhicules routiers ayant une hauteur de 4 m dans le gabarit GB1 (le plus grand gabarit dégagé sur certains principaux axes français), il est alors possible d'utiliser le réseau actuel pour mettre en œuvre un service d'autoroute ferroviaire basé sur le concept étudié dans les

années 1990 et selon les mêmes principes, alors même que la contrainte de gabarit se trouve en partie résolue sans nécessiter de lourds investissements d'infrastructure que les finances européennes ne pourraient supporter. Cette mise en œuvre d'un tel système sur certaines lignes du réseau actuel aptes, ou rendues aptes dans des délais rapides, au gabarit GB1 ne préjugerait pas à terme de la nécessité de réaliser des éléments de lignes nouvelles pour optimiser et accompagner un fort développement du transport ferroviaire de fret. La réalisation d'un tel réseau demanderait cependant au moins 25 à 30 ans alors que l'utilisation du réseau classique actuel pourrait permettre de proposer les services d'une autoroute ferroviaire dans la décennie qui vient.

L'exploitation d'un tel service sur le réseau existant sera différente de celle qui avait été conçue dans l'étude des années 1990 sur une infrastructure spécifique. Les services de l'autoroute ferroviaire devront partager la capacité des lignes utilisées avec les autres activités Fret et Voyageurs, notamment les TER. En outre, pour pouvoir apporter une réponse rapide aux problèmes du transport de véhicules routiers sur rail, ce service sera bâti à partir des conditions actuelles de l'exploitation ferroviaire en introduisant des évolutions possibles de celle-ci pour répondre aux besoins spécifiques et assurer un niveau de rentabilité suffisant.

Ainsi, après analyse rapide des graphiques de circulation sur les lignes concernées, il est apparu la possibilité de tracer, sous certaines conditions, un sillon par heure pour l'autoroute ferroviaire avec possibilité de sillons supplémentaires en pointe du marché si celle-ci se situe à une période différente de la pointe journalière des TER.

Cette possibilité de sillon est exploitable sous réserve que les sillons soient tracés proches du sillon standard, ce qui implique un choix de vitesse limite compatible avec cette contrainte (120 km/h, voire 140 km/h), une nécessité de pouvoir s'insérer ou sortir de la ligne principale à la vitesse de circulation, de manière à ne pas occuper un sillon supplémentaire pour les phases de décélération ou d'accélération, et des performances de freinage élevées sur les distances d'arrêt actuelles.

Cette limite de capacité d'un train par heure conduit à envisager de constituer des trains longs afin de pouvoir acheminer un maximum de trafic. Une longueur de 1 500 m a été envisagée car elle représente 2 fois la norme de 750 m des trains classiques. Pour pouvoir, d'une part, assurer une souplesse d'adaptation pour répondre aux demandes du marché et, d'autre part, simplifier la gestion opérationnelle des incidents et des aléas, le choix s'est porté sur des rames automotrices permettant de moduler la composition sans modifier les performances de traction et de transformer aisément le train de 1 500 m en deux rames de 750 m.

Cette étude a donc pour objet de définir, sur les bases des éléments structurants du concept des années 1990, un projet de service d'autoroute ferroviaire utilisant les lignes du réseau classique actuel.

## 4 PROBLÉMATIQUE ROUTIÈRE

Le système d'autoroute ferroviaire, en l'absence d'une réglementation environnementale contraignante, constitue en fait pour le routier une alternative à l'utilisation de la voirie routière et autoroutière. La concurrence est donc entre les coûts du transport de bout en bout, les services et les avantages offerts. Ces avantages sont procurés d'une part, par le réseau routier dont l'usage présente une valeur symbolique de liberté et constitue pour un routier la base même de son métier et, d'autre part, par les services de l'autoroute ferroviaire qui, à l'inverse, impactent la raison même du métier de routier longue distance et restent ferroviaires, donc contraignants voire « étatiques » dans l'imaginaire d'un routier.

### 4.1 Le marché routier

Les services de l'autoroute ferroviaire s'adressent plus particulièrement aux routiers effectuant des transports de longue distance comme une alternative à l'utilisation de l'autoroute et en offrant la possibilité de continuer l'acheminement de la marchandise dans son véhicule routier alors même que, soit le conducteur ne conduit pas et peut éventuellement prendre son repos, soit l'entreprise s'organise pour ne pas accompagner le véhicule en modifiant les conditions de relève de ses conducteurs.

Une réflexion complémentaire devra être faite sur la base des éléments statistiques issus, d'une part, des trafics autoroutiers et d'autre part, des éléments statistiques européens sur les échanges de marchandises entre régions européennes. Cette analyse aura pour objectif de bien séparer dans les véhicules circulant sur autoroute ceux qui font de la longue distance de ceux qui ne font que des parcours courts. Le bouclage avec les statistiques des échanges européens permettra l'estimation du potentiel accessible aux services de l'autoroute ferroviaire.

Une étude entre RFF et la SNCF sur la vallée du Rhône a mis en évidence les flux long parcours sur autoroute sur l'axe Perpignan Dijon qui permet une première approche de la trame d'exploitation sur cet axe.

Cette réflexion participera en outre à mieux localiser les chantiers d'échange en fonction de l'optimisation des parcours totaux routiers et des types d'organisation retenus (véhicules accompagnés ou non).

### 4.2 Coûts routiers de bout en bout

Le passage de l'utilisation du réseau routier et autoroutier vers les services de l'autoroute ferroviaire doit, pour le moins, être transparent pour le chargeur qui ne peut pas subir de ce fait une dégradation du service global routier antérieur soit sur le niveau de qualité soit sur le niveau de prix antérieur, une compensation entre la qualité et le prix pouvant être toutefois une solution acceptable par le chargeur final.

Les coûts qui peuvent être modifiés dans le prix de revient routier par le choix du système sont de manière globale :

- les coûts de conduite,
- les coûts de carburant,
- les coûts de maintenance des camions, tracteurs et remorques,
- les péages autoroutiers,
- et dans certains cas les coûts en capital.

## **4.2.1 Les coûts de conduite**

### *4.2.1.1 Le conducteur accompagne son véhicule routier pendant le transport*

Le marché de l'autoroute ferroviaire comme alternative à l'usage de la voirie s'adresse naturellement à ce type de situation qui correspond à la structure naturelle de la production routière.

Les conditions de rétribution du conducteur ne conduisant pas peuvent varier d'un pays à l'autre, ce qui permet une souplesse dans l'élaboration de l'offre pour les véhicules accompagnés. Lorsque celui-ci est rétribué pendant les temps de non conduite, il est indispensable que le temps du transport ferroviaire puisse être un temps de pause réglementaire pour le conducteur, qui correspond au temps réglementaire et se situe après un temps de conduite maximum de 9 heures (voire 10 heures, deux fois par semaine).

L'accompagnement du véhicule par le conducteur selon ces différentes approches par rapport aux règles de rémunération permet, sans organisation spécifique du travail des conducteurs, pour un même prix global de conduite de parcourir des kilomètres supplémentaires et donc de diminuer le prix de revient kilométrique de la conduite ainsi que d'avoir des retombées en terme de temps de transport et donc de rendement du capital. Pour optimiser ce gain, il est indispensable que le temps de parcours ferroviaire majoré du temps d'attente (notion de temps généralisé), lié à la fréquence et de celui lié aux opérations de chargement et déchargement, soit le plus près possible de ceux découlant des règles de la réglementation routière.

### *4.2.1.2 Le conducteur n'accompagne pas son véhicule*

- (a) L'entreprise a une taille qui lui permet de s'organiser pour avoir un conducteur pour les parcours routiers de chaque extrémité du parcours ferroviaire. La profession routière, dans l'hypothèse d'un service d'autoroute ferroviaire, déclare qu'elle aurait tendance à s'orienter vers cette organisation qui, par différence avec la solution actuelle du transport combiné, ne nécessite pas d'investissement spécialisé, offre une fréquence étendue sur la journée, et est plus adaptée à la souplesse des organisations routières. Ces parcours ne sont pas forcément du camionnage de proximité mais représentent l'équivalent d'une journée de conduite ou d'une demi journée (le conducteur amène et reprend un véhicule différent). Dans ce cas, les coûts de conduite sont diminués de la valeur d'une journée conducteur par voyage en évitant une relève ou un gain d'une ou deux périodes de repos journalier, soit l'équivalent de 1 ou 2 journées conducteur de coût de conduite lorsque la conduite était effectuée auparavant par le même conducteur ; dans ce cas, il y a gain de temps dans l'acheminement.
- (b) L'entreprise est déjà organisée pour faire du transport combiné sans conducteur, type Novatrans. Il n'y a alors que substitution dans le choix du mode de chargement de la semi remorque et dans la pertinence des services offerts vis-à-vis de la relation globale. Il n'y a pas de gain dans les coûts de conduite.

## **4.2.2 Les coûts de carburant**

Les coûts de carburant ne sont directement économisés que pour les situations reprises aux points 4211 et 4212a. Ils doivent être analysés au regard de l'économie réalisée entre le parcours routier global et les parcours routiers restant en cas d'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire, la somme des parcours routiers d'approche et du parcours routier équivalent assuré par l'autoroute ferroviaire pouvant être supérieure au parcours global.

#### **4.2.3 Les coûts de maintenance**

Les coûts de maintenance liés au kilométrage du véhicule, notamment pour le tracteur, ne sont directement économisés que pour la situation reprise au point 4211 et doivent être analysés au regard de l'économie réalisée entre le parcours routier global et les parcours routiers restant en cas d'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire, la somme des parcours routiers d'approche et du parcours routier équivalent assuré par l'autoroute ferroviaire pouvant être supérieure au parcours global. Les coûts liés à l'usure liée au temps restent inchangés.

Dans le cas du point 4212a, il peut y avoir le choix pour des questions d'organisation ou de gestion de flux de laisser le tracteur avec la remorque même sans le conducteur routier, l'économie est alors identique au point précédent. Le choix qui devrait être le plus courant est celui d'utiliser le tracteur pour reprendre une semi arrivant. L'économie de maintenance du tracteur est plus difficile à évaluer pour le routier car cette organisation se traduira par une économie d'investissement à trafic inchangé qui entraîne évidemment une économie de tous les postes liés aux véhicules.

#### **4.2.4 Les péages autoroutiers**

Les péages autoroutiers ne sont directement économisés que pour les situations reprises aux points 4211 et 4212a mais doivent être analysés au regard de l'économie réalisée entre le parcours autoroutier global et les parcours autoroutiers restant en cas d'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire.

#### **4.2.5 Les coûts en capital**

Pour le cas décrit au point 4211, l'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire permet d'acheminer en temps continu le véhicule. Ceci permet d'effectuer dans un temps plus court le parcours global de transport et donc à trafic constant d'avoir moins de véhicules ou à nombre de véhicules inchangé de réaliser un trafic supérieur, ce qui se traduit par une baisse du coût de capital au kilomètre.

Pour le cas décrit au point 4212a, l'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire permet d'acheminer la semi remorque sans son tracteur, ce qui selon l'organisation permet d'économiser des tracteurs ou à nombre de tracteur inchangé, de n'avoir à investir qu'en semi remorque pour assurer un supplément de trafic, soit une baisse du coût de capital au kilomètre.

Pour le cas décrit au point 4212b, l'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire permet à terme de pouvoir renouveler une partie du parc avec des semi-remorques ordinaires au lieu et place de celles spécifiques à la manutention verticale.

### **4.3 Les coûts économisés**

Cette approche de la problématique des coûts routiers économisés qui doivent servir de base aux choix des tarifications retenues met en évidence la diversité des situations. La tarification devra être de type autoroutier, sans notion de marchandises transportées, mais son niveau devra tenir compte notamment de la présence ou non du tracteur.

## **4.4 Services offerts**

### **4.4.1 Services pour les véhicules**

La profession routière est organisée sur la base d'un libre accès quasi permanent à l'infrastructure routière, hors certaines périodes définies (fin de semaine, départ en vacances), même si les conditions de circulation sont parfois difficiles. En outre, en cas de difficultés fortes sur un axe, le maillage du réseau permet le plus souvent de trouver une solution alternative, certes moins performante, mais évitant le blocage du système de transport. C'est cette performance du réseau, alliée à celles des véhicules, qui permet le plus souvent au transport routier de garantir une bonne fiabilité de ses acheminements.

Les services de l'autoroute ferroviaire devront garantir et réaliser un niveau de fiabilité équivalent à celui globalement permis par l'infrastructure routière. L'exploitation de ces services devra être conçue (automatismes, organisations, suivi, gestion des parcs,...) pour minimiser les conséquences du dysfonctionnement d'un constituant de la chaîne. En outre, des scénarios de situations perturbées devront être établis en intégrant le maillage du réseau routier du fait que les véhicules transportés peuvent, s'ils sont accompagnés, continuer, dès l'accès à un chantier, par la voirie routière. Ceci impose aussi une haute performance du système de suivi des transports et d'information de la clientèle.

Cette complémentarité entre la voirie routière et l'autoroute ferroviaire, d'une part, et l'aptitude immédiate pour les utilisateurs de basculer d'un service sur l'autre, d'autre part, limite la gestion des situations perturbées ou de crise :

- aux mesures à prendre pour les services en cours, les véhicules non chargés étant orientés vers la voirie routière,
- aux informations à fournir aux entreprises n'assurant pas l'accompagnement de leurs véhicules sur les mesures immédiates prises et sur les conditions qu'ils souhaitent pour la reprise des acheminements de leurs véhicules par route ou par l'autoroute ferroviaire afin de minimiser l'impact de la perturbation sur la globalité du transport.

### **4.4.2 Services pour les conducteurs routiers**

Le choix pour une entreprise routière entre l'utilisation des services d'autoroute ferroviaire ou de la voirie routière sera basé sur les avantages apportés en terme de coût et/ou délais, mais il devra aussi tenir compte de l'acceptabilité par les conducteurs de modifier ainsi leur manière de travailler en prenant dans la navette de l'autoroute ferroviaire leurs repas et leur repos alors qu'ils sont habitués à exercer eux-mêmes les choix sur les lieux et conditions de réalisation de ces moments de repos, ce qui constitue, d'ailleurs, le sentiment de liberté dont ils se réclament.

Pour faciliter cette acceptation et permettre aux services de l'autoroute ferroviaire d'attirer du trafic, il est indispensable de bien penser au confort des conducteurs, non en référence ferroviaire classique mais en rapport avec leur manière de vivre leur activité professionnelle, notamment, lieu de convivialité à bord, restauration de type relais routier, couchage individuel (au moins équivalent à la couchette de cabine routière).

## **4.5 Avantages offerts**

Pour la profession routière, l'autoroute ferroviaire peut représenter une alternative à l'utilisation des autoroutes à péage et à ce titre peut servir d'élément de concurrence dans les négociations que la profession peut avoir sur les montants des péages.

Les entreprises routières ne viendront utiliser l'autoroute ferroviaire que si les services et les prix offerts leur permettent d'augmenter leur productivité et/ou de se développer avec des investissements plus faibles.

À terme, les entreprises routières se verront de plus en plus confrontées aux problèmes sociaux. Comme aux USA (avec une technologie différente), une alternative ferroviaire simple, sans investissements spécifiques du parc routier et pertinente pour les comptes de leurs entreprises, leur permettra de répondre plus aisément aux problèmes de conditions de travail et/ou de sécurité que pose le transport sur longue distance.

En outre, si la sensibilité environnementale redevient importante, la profession routière souhaitera se donner une image citoyenne que l'utilisation des services de l'autoroute ferroviaire renforcera.

Quels que soient les niveaux de chacune de ces motivations, les entreprises routières ne feront confiance aux services d'une autoroute ferroviaire que si la qualité de service est maximale et permet de maintenir la qualité et la souplesse de la solution uniquement routière.

## 5 SYSTÈME D'EXPLOITATION

### 5.1 Problématique

L'autoroute ferroviaire est un concept nouveau pour le transport des véhicules routiers comme alternative à l'usage de la voirie routière et autoroutière. Son exploitation doit donc lui conférer des conditions d'accessibilité de type « accès libre », une souplesse et une continuité d'utilisation comparables à une autoroute. Même si la technologie et les infrastructures sont ferroviaires, son exploitation ne peut ressembler aux divers systèmes ferroviaires de transport de fret. Il s'agit en effet d'une activité qui s'adresse au marché général du transport routier, et non pas aux chargeurs, et qui ne constitue qu'un élément de production du transport routier.

Ce système ne se conçoit que s'il assure son équilibre financier d'exploitation incluant un péage significatif d'usage de l'infrastructure, une aide publique ne pouvant être admise que pour des investissements de départ, y compris en matériel roulant. Ceci nécessite une exploitation avec des coûts les plus réduits possibles permettant de proposer des prix acceptables par le marché au regard de la part de productivité dégagée répartie entre l'exploitant pour assurer ces services et au routier comme incitateur à les utiliser. Cette problématique économique et financière doit être combinée avec une politique de qualité d'accès aux services. La réalisation de l'optimum entre ces impératifs va être le critère de mesure de l'efficacité des options envisagées pour l'exploitation de ce système d'autoroute ferroviaire.

La première analyse de l'exploitation portera sur les éléments essentiels qui contribueront à définir et à structurer les options de ce système nouveau. Il s'agit principalement :

- des règles de sécurité,
- des conditions de formation des rames,
- des chantiers d'échange entre la voirie routière et les navettes ferroviaires :
  - règles de principe des implantations,
  - infrastructures ferroviaires et routières,
  - conditions d'exploitation du chantier ;
- des conditions de circulation en ligne et des suivis associés,
- du poste central de supervision,
- des bases structurantes du « plan de transport »,
- de l'impact sur les passages à niveau,
- des conditions de gestion du personnel roulant,
- des conditions de gestion du parc,
- du traitement des données liées à l'exploitation du système,
- des scénarios de situations perturbées.

**La construction d'un système d'exploitation** impose qu'il y ait cohérence entre les diverses composantes de celui-ci, notamment celles reprises ci-dessus, pour affiner les options du système. Cette cohérence s'appuie sur une étude de marché qui définit les attentes en terme de qualité et les enjeux en terme de trafic (volume, structure temporelle et géographique,...).

À défaut de disposer d'une telle base, l'analyse mettra en évidence des options ou des possibilités de choix en précisant les zones de pertinence associées en fonction des éléments du marché. Ceci conduira à une esquisse de système qui devra être approfondie dans une phase ultérieure, approfondissement qui pourra faire évoluer certaines options ou en éliminer d'autres.



## 5.2 Règles de sécurité

Pour cette première approche, il sera considéré que les règles actuelles de la sécurité ferroviaire sont appliquées pour tout ce qui est équivalent aux conditions actuelles du système d'exploitation. Chaque fois qu'une option pour le système d'exploitation de l'autoroute ferroviaire amènerait à considérer que ces règles doivent évoluer, l'évolution sera analysée au regard du risque nouveau éventuel et de l'appréciation de ce risque sur la sécurité globale du système ferroviaire. L'augmentation importante du nombre de circulations due à la mise en oeuvre des services de l'autoroute ferroviaire pourrait entraîner des contraintes spécifiques sur l'exploitation globale du réseau. Les mesures éventuelles à mettre en oeuvre devront être mesurées au regard de l'augmentation du risque.

D'ores et déjà, il apparaît qu'il sera nécessaire de préconiser des règles en terme de :

- composition des rames,
- circulation sur le réseau actuel de trains de 1 500 m, ou plus,
- réalisation des mouvements de manœuvres télécommandés,
- règles de chargement et reconnaissance à l'aptitude au transport.

Un dossier de sécurité de ce service devra être réalisé et un certificat de sécurité devra être accordé à l'entreprise ferroviaire pour exploiter ce service, à l'image de ce qui est fait pour l'exploitation du service expérimental entre Aiton et Orbassano.

## 5.3 Formation des trains

Hors les règles de sécurité qu'il sera indispensable de préciser pour la composition des rames, l'exploitation du système implique de définir les procédures pour former des trains de 1 500 m ou plus, à partir de coupons automoteurs d'environ 375 m et d'un élément automoteur pour le transport de conducteurs routiers situé toujours en tête du train formé.

Cette procédure s'appuiera sur un maximum d'automatismes dont seront équipées les rames permettant de réaliser les opérations de formation proprement dites, de contrôles indispensables au regard de la sécurité et de saisies de données pour l'exploitation du système.

Il faut aussi définir les conditions de réalisation de la reconnaissance à l'aptitude au transport et intégrer outre le temps nécessaire pour sa réalisation, le temps éventuel et les conditions pour la modification d'un chargement qui ne serait pas conforme. Cette opération doit prendre en compte aussi les conditions pour la réalisation et/ou la vérification de la mise en position des wagons pour permettre la circulation des rames sur voies principales.

Les conditions de réalisation de l'essai de frein devront permettre que celui-ci soit fait à agent seul (comme sur les TGV).

Le bulletin de composition sera établi de manière informatique. Il comportera le tonnage du train et sa puissance de freinage. D'une façon plus générale, il faut rechercher à s'affranchir des règles de procédures actuelles dans un but de simplification et d'efficacité, ce qui nécessitera de définir un concept d'exploitation innovant.

Enfin, dans l'élément global de formation des trains il faut intégrer les conditions de respect des règles de visite et les conditions pour différer un élément de base pour réforme.

## **5.4 Chantiers d'échange**

### **5.4.1 Règles de principe des implantations**

Le marché de l'autoroute ferroviaire est un marché routier et la logique d'implantation doit intégrer une bonne insertion dans le réseau autoroutier pour optimiser les conditions d'approche (aspects économiques, temps et impacts environnementaux) et situer les chantiers à des endroits pertinents vis-à-vis d'un partage des parcours routiers et ferroviaires harmonieux vis-à-vis du parcours global. Le marché de l'autoroute ferroviaire supporte en effet des parcours routiers longs de part et d'autre du parcours ferroviaire, du fait que le véhicule est accompagné. Cette particularité donne une latitude assez forte dans le choix de l'implantation pour prendre en compte aussi les optimisations ferroviaires.

La qualité et la fiabilité du système d'autoroute ferroviaire nécessitent que le raccordement du chantier se fasse sur une ligne possédant les caractéristiques les plus performantes en terme de circulation. Afin de faciliter les sorties et les insertions des circulations sur la ligne principale, les raccordements avec la ligne principale devront pouvoir être franchis à une vitesse suffisante pour ne pas consommer inutilement des sillons, la ligne de raccordement permettant d'assurer les accélérations et les décélérations utiles avant l'accès aux voies du chantier proprement dit.

Pour minimiser les manœuvres et maintenir les circulations dans le même sens pour des raisons de sécurité liées au transport des conducteurs et à la prise au vent des tracteurs routiers, les chantiers seront conçus le plus souvent en boucle avec un raccordement en triangle à la ligne principale. Bien entendu ce raccordement devra se faire sans cisaillement.

### **5.4.2 Infrastructures ferroviaires et routières**

Les infrastructures routières devront être conçues pour permettre une circulation dans un seul sens sans croisement entre les flux arrivant et les flux partant.

Les conditions de chargement et de déchargement seront analysées afin de pouvoir en optimiser le délai et envisager une opération simultanée de part et d'autre de la rame.

Les quais avec les dispositifs spécifiques à la technique choisie pour le chargement des véhicules seront, si possible, établis pour une rame de 750 m, en optimisant la longueur du chantier à la largeur déterminée par le nombre de quais et de voies ferrées pour un même trafic.

Les conditions commerciales d'accès devraient être du type péage autoroutier avant accès au quai qui sera affecté à une rame et donc à la destination de la rame, l'exploitation étant faite par rame, tous les véhicules chargés le sont pour la même destination.

Le contrôle sécurité des véhicules devra, comme à Aiton, être réalisé à l'entrée du chantier avant les cabines de péage qui trient et orientent les véhicules et pour éviter qu'un véhicule refoulé perturbe tout le chargement.

Des parkings gardiennés devront être conçus à l'entrée et à la sortie facilitant en particulier le dépôt et la reprise des semi-remorques non accompagnées.

La sortie des quais après déchargement est libre.

Les installations ferroviaires sont constituées de voies le long des quais de chargement permettant de traiter une rame de 750 m ou, exceptionnellement, des coupons de 375 mètres en cas de difficulté d'implantation du site.

Les quais sont conçus dans le même sens, afin de les structurer de la même manière pour les conducteurs notamment pour les conduire (ou les ramener) vers les voitures qui leur sont affectées et qui seront toujours en tête de la rame.

Ces installations seront complétées par les voies pour les voitures à voyageurs, les voies de garage à déterminer pour différer une rame réformée ou garer une rame de réserve ainsi que pour les opérations de maintenance et de station-service.

Les installations de sécurité seront télécommandées depuis un poste unique qui devrait pouvoir aussi gérer les flux routiers et la signalétique complète du chantier.

Les installations seront complétées par celles destinées aux conducteurs sur les quais et en zone de parking avec tous les aménagements de type aire d'autoroute.

Une signalétique de type routier sera mise en place et télécommandée depuis le poste unique.

### **5.4.3 Conditions d'exploitation du chantier**

Chantier d'échange entre la route et la voie ferrée, le bon fonctionnement du chantier sous ses deux composantes est essentiel pour optimiser les surfaces utiles et éviter des pertes de temps préjudiciables à l'attractivité même des services de l'autoroute ferroviaire. Pour que cette coordination route/fer soit la plus performante, il est retenu une exploitation unique du chantier sous la direction d'un responsable unique.

Sur le plan routier, cette exploitation regroupe la gestion des parkings avant chargement, la gestion des péages d'entrée et des orientations des véhicules vers les quais, la gestion des conducteurs venant chercher ou ayant laissé un véhicule non accompagné, la gestion de la signalétique.

Sur le plan ferroviaire, cette exploitation gère la commande des installations de sécurité, les conditions de réception et de départ des rames, les manœuvres télécommandées des éléments de rames, les opérations de reconnaissance à l'aptitude au transport et/ou de visite, les manœuvres de garage ou de remise en circulation de rames, la mise en place du personnel roulant (conduite et accompagnement commercial), la prise en charge des conducteurs à l'arrivée et au départ et la gestion des éléments participant au confort des conducteurs dans les voitures à voyageurs.

L'exploitation du chantier a aussi en charge les conditions de la saisie des données d'exploitation (commerciales et techniques).

La télésurveillance des installations tant routières que ferroviaires ainsi que leur télécommande seront effectuées depuis le poste unique, qui assure aussi, grâce aux relations avec les responsables circulation et régulation du gestionnaire d'infrastructure ferroviaire, une aide à l'exploitation pour tout ce qui concerne la circulation sur le réseau principal et les entrée/sortie avec le chantier.

## **5.5 Conditions de circulation et suivis associés**

L'exploitation des services de l'autoroute ferroviaire se fera sur des lignes bien déterminées du réseau existant avec des rames de 1 500 m ou plus composées de coupons de 375 m identiques. Les conditions de commercialisation vont impliquer une desserte cadencée qui devra être offerte 24 heures sur 24 et éventuellement tous les jours si un produit adapté aux interdictions de circulation routière du dimanche est mis en oeuvre.

Pouvant atteindre la vitesse de 140 km/h, les sillons de ces services devraient pouvoir être inscrits dans le cadencement Voyageur et TER là où il existe. Sur les autres lignes, l'arrivée de ce service devrait être l'occasion de reconfigurer le graphique, éventuellement selon les principes du cadencement.

Il convient sur les lignes concernées de s'assurer des conditions de faisabilité de ces circulations de 1 500 m ou plus qui ne devraient pas avoir d'arrêt en conception, ailleurs que dans les chantiers spécialisés.

Dans la gestion normale de la circulation, le caractère spécifique de ces rames et des services de l'autoroute ferroviaire implique qu'une priorité de circulation leur soit attribuée, notamment si la circulation est dans son sillon. Ceci implique de pouvoir disposer d'un suivi exhaustif de ces rames en temps réel ainsi que d'un système d'annonce entre les chantiers et le gestionnaire de l'infrastructure pour permettre à ces rames de partir du chantier dans les conditions leur permettant de s'insérer sur la ligne principale dans leur créneau.

Afin de minimiser les conséquences d'incidents de circulation pour l'ensemble des utilisateurs de ces lignes, il conviendrait que celles-ci soient toutes équipées d'installations permanentes de contre sens (IPCS) et de systèmes intégrant les évolutions dans les règles et dispositifs de contrôle commande.

Les mesures en cas d'incident sur ces trains ou de situation perturbée devront être précisées et notamment les possibilités de secours et de détournement en tenant compte de la possibilité de fractionnement. Pour permettre de fractionner ces trains et de garer par rames de 750 m, le personnel en charge du service à bord pour les conducteurs, donc situé en tête du train dans la rame voyageurs, devrait être habilité à la conduite des rames (système Eurostar), en cas d'incident ou pour une relève temporaire du conducteur titulaire.

La « réquisition » du personnel de conduite de ces rames devrait n'être qu'exceptionnelle et uniquement après accord explicite du gestionnaire de ce service.

La possibilité de faire circuler des trains de 2 250 m par ajout d'une rame de 750 m devra être retenue, et les modalités prévues, dans le cadre de situation perturbée ou pour assurer la capacité de transport à long terme.

En cas de situation perturbée grave, en concertation avec l'exploitant des services, une suspension ou une restriction de l'acceptation des véhicules routiers pourrait être envisagée pendant la durée de la perturbation.

## **5.6 Poste central de supervision**

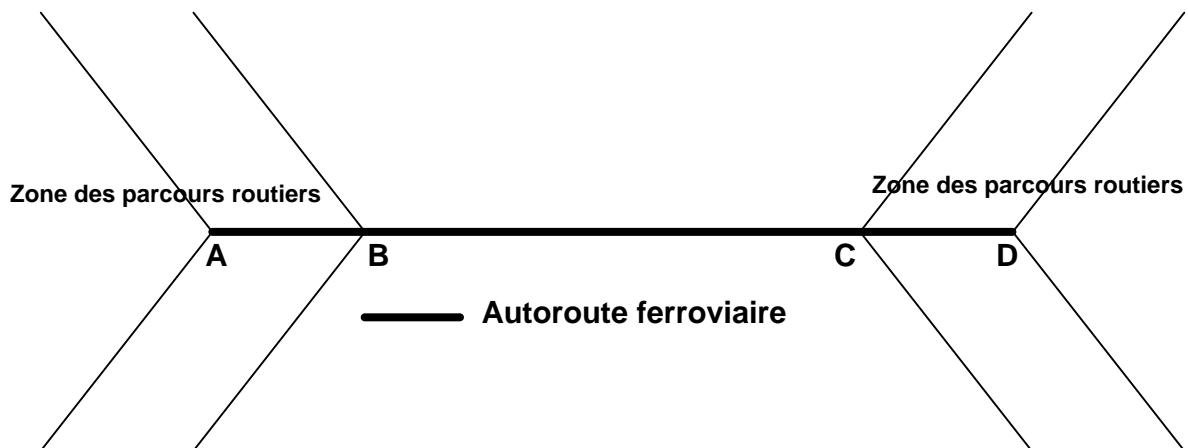
Un système de suivi des trains, en liaison ou pas avec le gérant de l'infrastructure, sera indispensable pour l'exploitant sur la totalité des services assurés.

Un poste central unique de supervision de tout le service d'autoroute ferroviaire sera chargé de coordonner l'ensemble des composantes du service et sera l'interlocuteur des organes centraux opérationnels du gestionnaire de l'infrastructure pour les problèmes opérationnels de circulation, notamment en situation perturbée.

Les services de ce poste central assureront la conception des services et la gestion des évolutions de celle-ci en pré opérationnel. Il sera notamment en charge des relations avec le gestionnaire de l'infrastructure pour la gestion des évolutions des conditions de circulation pour travaux.

## 5.7 Bases structurantes de la trame d'exploitation

La trame d'exploitation devrait être établie à partir de l'étude de marché basée sur l'exploitation de la matrice complète des échanges de marchandises entre régions européennes. Cette analyse permettra de préciser les besoins par origine/destination des chantiers concernés et pour chaque temps de trajet, le niveau acceptable d'attente. La trame sera bâtie en tenant compte du fait que pour un même flux global de transport, le parcours ferroviaire optimisant le parcours total du transport peut être décalé sur le même axe selon les optimisations des parcours routiers amont et aval.



Ainsi pour une même zone géographique de départ des parcours routiers et pour une même zone géographique de destination, l'entreprise routière pourra, en fonction de l'optimisation globale du parcours total, utiliser les services de l'autoroute ferroviaire entre A et C ou entre B et D.

Le niveau de part de marché devrait être modélisé avec comme variables explicatives le prix et le temps généralisé. Ce modèle permettrait de pouvoir évaluer les divers schémas d'exploitation retenus et d'en déduire celui offrant la meilleure efficacité économique.

À défaut de posséder un tel outil, il peut être envisagé de construire une base d'exploitation des services avec un train par heure durant la journée avec renforcement de la desserte pendant les 6 à 8 heures de fort trafic, soit environ 30 trains par jour et par sens.

Sur cette base, une matrice de desserte peut être établie de chantier à chantier à partir des chiffres de circulation sur autoroute fournis et les possibilités seront alors étendues en complétant par des arrêts éventuels pour étoffer les dessertes et le maillage sans nuire à la desserte globale.

Chaque arrêt dans un chantier intermédiaire sera bref pour couper une rame terminus à ce chantier ou/et accrocher une rame origine de ce chantier. Ces arrêts pourraient aussi être mis à profit pour des éventuels échanges d'équipe.

Cette combinatoire devrait permettre d'étoffer les dessertes et/ou les fréquences en gardant le principe d'un sillon autoroute ferroviaire à l'heure.

À ce stade de l'étude, il sera considéré que la possibilité de trouver un sillon toutes les heures avec renforcement en période de fort trafic autoroutier existe.

Enfin la possibilité d'une exploitation en Y à partir d'un chantier devra être approfondie si l'analyse de la matrice des flux démontre qu'il y a une pertinence au vu du marché de mettre en oeuvre sur certaines origine/destination une telle trame d'exploitation qui est souvent moins fiable car nécessitant une gestion de rendez-vous.

## **5.8 Impact sur les passages à niveau**

La mise en oeuvre des services d'autoroute ferroviaire entraînera sur les lignes concernées une augmentation d'environ une trentaine de circulations par sens. Ces circulations seront constituées de trains de 1 500 m ou plus, soit pour une vitesse moyenne de 120 km/h un temps de fermeture du PN au passage de 45 à 50 secondes. En incluant un temps de fermeture avant circulation de 25 à 30 secondes et 5 secondes après le passage, chaque circulation d'autoroute ferroviaire occasionnera une fermeture de 80 secondes soit 80 minutes par jour en cumulant les circulations concernées.

Compte tenu des possibilités de croisement avec un autre train ou entre deux circulations d'autoroute ferroviaire, il est réaliste de considérer que la mise en oeuvre des services d'autoroute ferroviaire occasionnera une augmentation du temps de fermeture cumulé des passages à niveau d'une heure.

## **5.9 Conditions de gestion du personnel roulant**

S'agissant d'un système très spécifique d'exploitation - des trains de 1 500 m ou plus composés de rames identiques, des impératifs de fiabilité de très haut niveau et une circulation sur un réseau très strictement délimité - il doit être envisagé que le personnel de conduite soit exclusivement affecté à ces services. Ce choix permet une approche unique de la gestion des compétences et donc une gestion plus souple, chaque agent ayant les mêmes compétences et connaissances de ligne.

Même si les agents sont répartis dans plusieurs centres Traction situés au sein même des chantiers, la gestion devrait être unique pour l'ensemble du système et supervisée depuis le poste central de suivi du service.

L'exploitation des rames en navette exclut les rentrées systématiques des rames en dépôt, de ce fait les relèves de conducteurs se font dans le chantier même évitant les prises de service en dépôt. Ainsi, l'essentiel du temps de présence sera consacré à la conduite, ce qui permet d'affecter un même conducteur sur un parcours ferroviaire long. Des implantations hôtelières pour le couchage et la restauration des agents mais aussi du personnel affecté au service des voitures voyageurs et éventuellement de conducteurs routiers, assurant les parcours routiers des services non accompagnés, devront être réalisées au sein des chantiers.

Le personnel affecté au service à bord des voitures à voyageurs sera géré de la même manière.

L'équipage des trains sera constitué de deux agents, un conducteur et un maître d'hôtel habilité à la conduite du train, ce qui permet d'assouplir l'exploitation lors des manœuvres, et en cas d'incident en ligne.

### **5.10 Conditions de gestion du matériel**

La spécificité du matériel et les conditions de son exploitation conduisent à une gestion unique de ce parc au sein d'un centre de gestion situé au sein du poste central de supervision. Cette gestion est faite à la rame.

Ce centre assure la conception des roulements et le suivi opérationnel de leur déroulement. Il décide des conditions de mise en œuvre de rames supplémentaires. L'exploitation en navette excluant les rentrées systématiques en dépôt, ce centre devra gérer les conditions de réalisation des opérations courantes d'entretien et les optimiser au regard aussi de l'utilisation du matériel.

Il assure les relations avec les organismes de maintenance et suit les conditions de réalisation de celle-ci.

### **5.11 Traitement des données**

Le système d'exploitation retenu, plutôt centralisé, et la nécessité d'une réactivité forte pour assurer la qualité de la prestation au regard du transport complet, vont nécessiter la mise en œuvre d'un système d'information permettant deux types de traitement des données.

1. Un système d'exploitation opérationnelle en charge de concevoir le service et de suivre sa réalisation en temps réel, de donner des aides à la décision pour les situations perturbées, de participer à la gestion de ce service (suivi de l'utilisation des moyens, suivi de la maintenance du matériel,..) et de communiquer avec les systèmes des entreprises routières clientes pour qu'elles puissent suivre en temps réel leur propres transports. Ce système devra pouvoir échanger facilement avec le système d'information du gérant de l'infrastructure.
2. Un système de gestion pour les aspects commerciaux, financiers, statistiques, ... qui sera cohérent au niveau des données avec le système d'exploitation qui lui fournira l'ensemble des données issues de la réalisation de la production.

C'est donc un système totalement intégré au niveau des données qu'il faudra concevoir et réaliser pour obtenir efficacité et réactivité.

### **5.12 Scénarios de situations perturbées**

La réactivité sera indispensable en cas de situation perturbée et les récents incidents autoroutiers ont montré combien cette réactivité est une attente forte de la profession routière. Cette réactivité doit permettre de valoriser pour les services de l'autoroute ferroviaire la possibilité de remettre sur route les véhicules pour qu'ils continuent ainsi leur voyage au mieux.

Une manière d'améliorer cette réactivité est de concevoir les types de mesures à prendre dans divers scénarios de situation perturbée. Même si chaque perturbation peut paraître unique, il existe de grandes familles de perturbations auxquelles doivent être associées de grandes orientations de réaction face à ces perturbations. La conception de ces scénarios, puis leur mise à jour permanente, devront être un élément de la garantie de qualité. Ils ne pourront être élaborés que sur la base d'un plan d'exploitation précis et leur élaboration devra être faite en relation avec le gestionnaire de l'infrastructure.

Toutefois les principes suivants devront sous-tendre les scénarios :

1. Les services de l'autoroute ferroviaire sont un élément d'un transport routier et, pour les véhicules accompagnés notamment, il suffit pour minimiser l'impact global en cas de situation perturbée, de les remettre sur route dans le chantier le plus proche plutôt que de vouloir impérativement les amener à la destination finale.
2. Le matériel devra être conçu pour pouvoir circuler, sous certaines contraintes, au moins jusqu'au chantier le plus proche avec un coupon de 375 m isolé.
3. La présence de deux agents susceptibles d'assurer la conduite rend toujours possible de scinder en deux le train en évacuant par l'avant ou par l'arrière une rame de 750 m, transformant ainsi le train de 1 500 m en deux trains « classiques », ayant chacun un agent de conduite, ce qui permet d'appliquer les règles habituelles.
4. Les conditions de secours pour la rame de 750 m seront les mêmes que celles appliquées pour tous les trains ayant un attelage automatique (TGV, rames de banlieue ou rames TER).
5. En cas d'incident par absence de courant, les dépannages par engin diesel se feront sur chaque rame de 750 m en scindant le convoi. Les conditions de maintien en réserve et de localisation d'engins thermiques pour assurer ces secours devront être examinées avec le gestionnaire de l'infrastructure qui a mission de dégager les voies pour rétablir la circulation. Ces engins pourront être soit la propriété du gestionnaire de l'infrastructure comme actuellement pour les secours TGV sur ligne à grande vitesse, soit la propriété de l'activité en charge d'exploiter les services de l'autoroute ferroviaire qui pourrait éventuellement les utiliser pour la traction de trains d'autoroute ferroviaire sur des lignes non électrifiées. De toute façon les conditions financières seront à débattre avec le gestionnaire de l'infrastructure du fait qu'il a mission de rétablir la circulation sur le réseau.
6. Dans tous les cas, il devra être recherché un acheminement vers le chantier d'échange le plus proche pour remettre sur route les véhicules routiers.



## 6 MATÉRIEL ROULANT

### 6.1 Généralités

Le matériel roulant est à définir à partir des quatre types suivants :

- Le matériel de base est conçu pour des lignes avec une déclivité maximale de 15 pour mille,
- Une option pour la circulation en Italie est à envisager (tracourant, et déclivité de 33 pour mille), un prolongement de l'électrification italienne en 3000 V pourrait être envisagé jusqu'à St Jean de Maurienne ou une électrification en 25 kV dans la Maurienne,
- L'intérêt d'une option intermédiaire capable de circuler sur des déclivités de 25 pour mille est à déterminer (ligne Perpignan - Barcelone),
- Une version en traction autonome pourra aussi être envisagée pour la circulation sur des lignes non électrifiées.

Le train est apte à circuler à la vitesse de 120 km/h ou 140 km/h pour faciliter son inscription dans les trames des trains de voyageurs, et pour maximiser la vitesse moyenne des acheminements routiers. Sa masse maximale est de 4 000 tonnes.

Le matériel roulant est exploité en navettes et les trains sont composés de rames indéformables d'une longueur unitaire résultant du meilleur compromis entre la longueur totale du train, la circulation sur ligne classique (rames isolées), la disponibilité des rames et les terminaux.

La longueur totale envisagée de chaque train étant de 1 500 m ou plus, et la circulation isolée sur ligne classique étant limitée à 750 m, il paraît raisonnable de disposer de rames autonomes.

Le freinage des wagons doit tenir compte de la décélération voisine de celle des trains de voyageurs, des masses brutes et des contraintes environnementales, notamment le bruit.

Le chargement / déchargement des véhicules routiers doit tenir compte des impératifs externes au wagon, tel le gabarit ferroviaire qui exclut les transferts longitudinaux.

La circulation des trains sur lignes classiques exclut le chargement des véhicules routiers de façon longitudinale pour des raisons de gabarit, étant donné que le plancher serait à 20 cm du niveau du rail, ce qui imposerait un passage des roues difficile, le chargement étant séquentiel, et non simultané.

En effet, le gabarit français est plus réduit que celui des pays de langue allemande. Ces derniers peuvent charger longitudinalement les wagons qui sont, pour l'occasion, dotés de roues de très faible diamètre.

Les seuls moyens de transbordement possibles sont donc :

- Le levage des camions par portique,
- Le transbordement latéral par plate-forme pivotante.

La première solution est exclue, car elle nécessite d'équiper tous les camions de systèmes de manutention (zones de prises par pinces,...), ce qui n'est pas envisageable.

La seconde solution correspond à celle de l'autoroute ferroviaire trans alpine mise en service à la fin de l'été 2003.

Elle consiste à équiper les wagons d'une plate-forme pivotante qui permet le chargement et le déchargement latéral du camion sur le wagon.

Le référentiel de l'analyse du matériel roulant est celui des décrets et arrêtés ministériels légiférant les autorisations de circulation des trains non innovants, en particulier l'arrêté du 5 juin 2000.

## **6.2 Composition de la rame**

### **6.2.1 Efforts au démarrage et puissance nécessaires pour un coupon**

Pour respecter le programme de traction, il faut disposer d'un effort de traction au démarrage de l'ordre de 300 kN répartis sur au moins 4 essieux et la puissance de 4000 kW sur chaque coupon.

#### **Traction concentrée**

La solution la plus simple est de disposer de façon traditionnelle d'une locomotive télécommandée (avec ou sans cabine) située à un endroit quelconque du coupon. Une télécommande filaire est mieux adaptée sur des éléments indéformables dont les seuls points de connectique sensibles sont situés aux extrémités des coupons. La télécommande radio n'est pas pertinente dans ce cas, car ses défauts de transmission sont largement compensés par l'amélioration de la fiabilité de la transmission filaire.

#### **Traction répartie**

Son avantage réside dans le fait que l'effort total de traction est réparti sur un nombre plus important d'essieux moteurs, ce qui a pour effet de moins solliciter l'adhérence et de diminuer le risque de patinage.

Par contre, il faut disposer les équipements de traction : moteurs, réducteurs, convertisseurs de puissance, contrôle-commande, transformateur, pantographes, ...

Les bogies utilisés dans l'autoroute ferroviaire alpine ne peuvent pas recevoir des moteurs-réducteurs. Il faudrait définir des nouveaux bogies avec un empattement plus important et de ce fait les engagements de gabarit seraient plus importants.

Les coques étant à une distance d'environ 20 cm du plan de roulement, l'installation d'équipements de conversion d'énergie et de contrôle-commande est exclue sous la caisse ainsi qu'au niveau des bogies, la place nécessaire n'existant pas. De plus, la répartition sur les wagons de ces équipements nécessiterait l'emploi de bogies qui puissent offrir une qualité de marche supérieure à ceux utilisés actuellement pour l'autoroute ferroviaire alpine.

Au-dessus des bogies, l'espace est occupé par les coques.

Le captage nécessite un élément de toiture à une hauteur de 3,50 m environ, aucun emplacement a priori ne peut recevoir un tel élément.

Pour abriter les équipements électroniques de puissance, de contrôle commande, le captage et le transformateur, il est donc nécessaire de prévoir un véhicule spécifique dans le train et de concevoir l'alimentation des moteurs de traction à partir de ce véhicule.

Dans ce cas, la solution traction répartie présente peu d'intérêt, d'autant que la longueur disponible pour le chargement des véhicules routiers serait réduite.

La solution « locomotive » paraît donc la plus adaptée, d'autant que des moyens de traction 4 000 kW, 300 kN existent chez plusieurs constructeurs. Dans la suite de ce document, la BB 427000 est la locomotive de référence, car ses performances sont bien connues.

### **6.2.2 Cas de la traction autonome**

Dans le cas de circulation sur lignes non électrifiées, il faut avoir recours à la traction autonome.

L'industrie peut construire des locomotives de 3 MW en traction diesel. Cette locomotive peut servir de base pour la traction de ce type de train, mais la vitesse de circulation sera plus faible.

Un projet de recherche PREDIT regroupant Alstom, Turboméca et la SNCF étudie une locomotive de 3 MW, de configuration BB.

Du fait des rabattements éventuels de puissance imposés par les installations fixes de traction électrique en cas de convois composés d'un nombre de locomotives électriques important, la solution de la traction autonome peut s'avérer intéressante même si, à la base, la puissance jante développée par les locomotives à traction autonome reste largement inférieure à celle rencontrée sur les locomotives électriques.

Une combinaison de coupons en traction thermique et électrique peut être une réponse temporaire à un manque de puissance des équipements fixes de traction électrique, en attendant un renforcement.

### **6.2.3 Attelages**

Pour les attelages entre wagons d'un même coupon, la solution « barre d'attelage » est la plus pertinente car elle a un meilleur comportement vis-à-vis des efforts longitudinaux de traction et de compression. Ces barres d'attelage existent et sont proposées dans les catalogues des fournisseurs ferroviaires.

Entre coupons, il faut prévoir un attelage automatique assurant les liaisons mécaniques, pneumatiques (conduite générale (CG) et éventuellement conduite principale (CP)) et électriques (télécommande des locomotives, freinage).

Plusieurs types d'attelage pourraient convenir en demandant plus ou moins d'adaptation. Il peut s'agir d'attelages usuellement utilisés pour les automotrices voyageurs ou de matériel plus dédié au fret. Dans tous les cas, il existe des solutions pour répondre aux demandes de secours en utilisant, suivant les attelages, soit un dispositif intégré, soit un attelage de secours embarqué.

Entre locomotive et wagons, un attelage automatique est aussi le mieux adapté, lorsque la locomotive est fréquemment décrochée.

### **6.2.4 Position de l'engin de traction**

L'engin de traction peut se situer à n'importe quelle place dans le train, cependant certaines places comportent des contraintes.

Les deux hypothèses suivantes sont basées sur le fait qu'un élément automoteur de transport des conducteurs routiers est situé en tête de convoi, et comporte une cabine de conduite assurant la télécommande des locomotives situées dans le corps du train.

#### **Engin moteur en extrémité de coupon.**

Pour résoudre les situations perturbées, il est nécessaire de prévoir deux cabines de conduite simplifiées situées d'une part sur la locomotive, et d'autre part à l'autre extrémité de la rame, sur la plate-forme du dernier wagon.

La vitesse du convoi peut être limitée si deux locomotives de deux coupons sont mises côte à côte (120 km/h en mettant les deux pantographes monophasés au plus éloigné, voire 80 km/h si les pantographes sont au plus proche). On a donc des contraintes d'orientation des coupons et des locomotives.

### **Engin moteur au milieu de coupon**

Pour résoudre les situations perturbées, il est nécessaire de disposer d'une cabine de conduite simplifiée à chaque extrémité de la rame, la locomotive ne disposant plus de cabine.

L'écartement des pantographes étant d'au moins 350 m, la circulation à 140 km/h est possible, quelle que soit l'orientation de la locomotive.

L'extraction de la locomotive en cas d'avarie demande plus de manœuvre, mais il faudra privilégier la maintenance en rame (comme pour les automotrices de transport de voyageurs), ce qui peut simplifier l'attelage entre l'engin moteur et les wagons par une simple barre d'attelage.

Sur le plan de l'exploitation, cette solution est plus séduisante car elle entraîne peu de contraintes.

### **6.2.5 Transport des conducteurs routiers**

Tout ou partie des semi-remorques sera accompagné par les tracteurs et les conducteurs routiers. Il faut donc prévoir un ou plusieurs véhicules pour transporter ces derniers. Ils seront situés en tête de convoi, et comporteront une cabine de conduite.

Les espaces réservés aux conducteurs routiers comporteront :

- Un espace "nuit" équipé de cabines individuelles comportant une couchette et un coin toilette, présentant ainsi un niveau de confort comparable à celui des tracteurs routiers,
- Un espace "jour" permettant la prise de repas et la détente pendant le voyage.

### **Type de véhicule de transport de conducteurs routiers**

Dans le cas d'un incendie en tunnel, les autorités gérant la sécurité exigeront que ces véhicules soient situés en tête de train comme c'est le cas de l'autoroute ferroviaire alpine. Elles demanderont probablement que ces véhicules puissent être facilement détachés du reste du train pour être évacués en cas de danger.

Il faut donc utiliser un engin automoteur, dont la traction n'est pas assurée par la caténaire, puisqu'en cas d'incendie, il est fort probable que le feu mettra les installations électriques hors service, et éventuellement fera fondre la caténaire.

Deux solutions sont donc possibles :

- Un engin thermique,
- Un engin électrique alimenté par batterie.

Si l'exploitant souhaite non seulement évacuer les conducteurs routiers en cas d'incendie, mais également les amener à un point situé à plusieurs dizaines de kilomètres du reste du train en situation perturbée, la solution thermique reste la seule valide.

### **Sécurité passive de cet automoteur**

Les rames de 750 m doivent répondre aux exigences définies dans l'arrêté du 05/06/2000 concernant tous les matériels dont la circulation sur le réseau ferré national est envisagée. La sécurité passive du matériel avec des voyageurs dans la première moitié du véhicule de tête doit être conforme à la SAM C201, si ce matériel circule à plus de 160 km/h. Cependant une nouvelle version de la SAM C201 du 01/03/2003 prévoyant l'admission des matériels de type « TRAM TRAIN » englobe la totalité des matériels quelle que soit leur vitesse de circulation sans que l'arrêté du 05/06/2000 prenne en compte la totalité des matériels.

Type de circulation	Scénarios de collision		
	Type I	TYPE II	TYPE III
Véhicules à grande vitesse circulant à plus de 250 km/h	Conforme STI	Conforme STI	Conforme STI
Véhicules circulant à plus de 140 km/h et au plus 250 km/h	Collision contre un véhicule ou rame identique à 36 km/h	Collision contre un wagon de 80 tonnes à 36 km/h	Collision contre un camion à 110 km/h
<b>Véhicules circulant à plus de 100 km/h et au plus 140 km/h</b>	<b>Collision contre un véhicule ou rame identique à 36 km/h</b>	<b>Collision contre un wagon de 80 tonnes à 36 km/h</b>	<b>Collision contre un camion à 65 km/h</b>
Véhicules circulant au plus à 100 km/h et TRAM TRAIN	Collision contre un véhicule ou rame identique à 36 km/h	Collision contre un wagon de 80 tonnes à 25 km/h	Collision contre un camion à 40 km/h

L'autoroute ferroviaire correspond au cas : **Véhicules circulant à plus de 100 km/h et au plus 140 km/h.**

Les scénarios des types II et III ne posent pas de problème, des dispositifs connus sont de nature à répondre à ces exigences.

En revanche, le scénario I n'est pas directement atteignable aujourd'hui. Il faudra améliorer le niveau de sécurité active pour respecter les critères de sécurité, par exemple en équipant l'ensemble des signaux de KVB. Ce point nécessite une étude globale du système de transport pour traiter cet écart par rapport au référentiel.

Ainsi, pour transporter les conducteurs routiers, il faut utiliser un automoteur thermique, si possible dérivé d'un engin existant et respectant les exigences de sécurité passive. Une définition plus précise ne sera possible que lorsque les études de marketing donneront le nombre de conducteurs routiers qui accompagneront leur semi-remorque.

### 6.3 Vitesse de circulation du convoi

Le promoteur souhaite une vitesse d'exploitation de 140 km/h. Actuellement, les trains de l'autoroute ferroviaire alpine sont autorisés à circuler à une vitesse de 120 km/h au maximum. Une circulation à une vitesse supérieure nécessite l'examen de plusieurs aspects.

#### 6.3.1 Aspects traction

Une simulation de parcours entre Lille et Avignon via Metz, Dijon et la rive gauche du Rhône donne les éléments suivants :

Type de train et nombre de locomotives	Vitesse limite 120 km/h et 4 BB 427000	Vitesse limite 140 km/h et 4 BB 427000	Vitesse limite 120 km/h et 6 BB 427000	Vitesse limite 140 km/h et 6 BB 427000
Temps de parcours en marche de base en minutes	621	612	603	578
Consommation d'énergie en MWh	90,3	93,3	98,3	107,5

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

Le convoi est supposé hétérogène composé de wagons divers à essieux et bogies. La résistance à l'avancement du matériel remorqué vaut  $R_{av} \text{ (daN/t)} = 1,2 + 0,01V + 0,00035V^2$ . Le train est seul sur la ligne et toute la puissance appelée par le train est fournie par les caténaires. Si les sous-stations ne peuvent pas fournir la puissance appelée, l'écart entre les

trains à 120 km/h et ceux à 140 km/h va s'amenuiser. Dans ces conditions, il est fort probable que les équipements de traction électrique ne pourront pas fournir autant d'effort du fait de la limitation de puissance, ce qui aura pour conséquence un allongement des temps de parcours.

Une étude détaillée de consommation électrique est indispensable.

Une solution temporaire avec adjonction d'une certaine puissance thermique telle que celle décrite en 6.2.2, permet de démarrer l'exploitation en attendant le renforcement de l'alimentation.

### **6.3.2 Aspect freinage**

Le freinage des wagons doit satisfaire les exigences suivantes :

- La puissance du freinage doit être suffisante afin d'optimiser l'insertion du train en ligne,
- Le bruit lié au freinage doit être le plus faible possible pour faciliter l'intégration de ces trains dans l'environnement.

Ces contraintes engendrent des dispositions constructives de plusieurs ordres :

- Freins à disques pour accroître la puissance de freinage, et diminuer le bruit de roulement.
- Freinage simultané le long du train pour obtenir les performances des trains de voyageurs, et ainsi réduire notablement les efforts internes de compression du train préjudiciables à son comportement dynamique. Ce freinage simultané est commandé par un bus de train.
- Défreinage simultané de tous les wagons afin d'obtenir les performances des trains de voyageurs et de limiter les efforts internes de traction du train qui pourraient entraîner des ruptures d'attelages. Ceci nécessite la mise en place d'un frein à commande électronique qui ne nécessite qu'une conduite d'air, et est particulièrement adapté aux trains longs.
- Freinage proportionnel à la charge réelle du wagon afin d'obtenir les caractéristiques optimales de freinage, quelle que soit la masse transportée par le wagon.

Les wagons de l'autoroute ferroviaire alpine ont été testés à 120 km/h, les essieux médians étant chargés à 22,5 tonnes, et les bogies extrêmes à 17 tonnes.

Suite aux essais, il semble qu'il reste de la réserve en performance de freinage pour assurer une circulation à 140 km/h. Néanmoins, pour s'en assurer, des essais au banc et en ligne seront à mener.

En cas d'échec, il faudrait modifier les bogies en ajoutant des disques, par exemple sur les bogies extrêmes. Cette solution est techniquement réalisable.

C'est un point important qui nécessitera des études et des essais pendant deux ou trois ans dans le cas où l'équipement actuel ne serait pas suffisant.

### **6.3.3 Aspect stabilité/efforts sur la voie**

De l'avis des experts, en se basant sur les résultats de comportement dynamique à 120 km/h des wagons de l'autoroute ferroviaire alpine, les bogies actuels pourraient respecter les exigences vis à vis des critères de sécurité de la fiche UIC 518, si l'on considère que la circulation à 140 km/h ne se pratique qu'en alignement et courbes de grand rayon (supérieur à 600m). En effet, vis à vis de ce critère, les valeurs atteintes à 120 km/h sont au maximum de 86 % des limites. Pour ce qui concerne la qualité de marche, les limites sont déjà atteintes à 120 km/h.

Néanmoins, si le projet se réalise, il faudrait prévoir des simulations numériques au sens de la fiche UIC518 à la vitesse maximale prévue de 140km/h.

Les essais en ligne seront nécessaires pour l'admission sur le réseau ferré national.

## **6.4 Longueur du train**

Deux points techniques sont impactés par la longueur du train : la commande du freinage et les efforts longitudinaux de traction et de compression.

### **6.4.1 La commande du freinage**

Compte tenu du fait que la longueur envisagée du train est supérieure à 750 m (1 500 m ou plus), que le freinage se fait en régime « voyageurs » et que la vitesse maximale de circulation pourrait être de 140 km/h, la commande du freinage doit se faire de manière quasiment simultanée le long du train et cette commande doit être réalisée en toute sécurité.

Pour cela, 3 solutions sont envisagées :

- Télécommande de la vidange de la conduite générale sur les engins moteurs répartis le long du train,
- Frein électropneumatique,
- Frein à commande électronique.

De manière générale, pour de telles longueurs, le freinage réalisé en tête du train par la conduite générale en régime « voyageurs » ne convient pas.

#### **Télécommande de la vidange de la conduite générale sur les engins moteurs répartis le long du train.**

La première solution est une version rustique du frein électropneumatique qui nécessiterait la mise en place d'une boucle filaire de commande sécurisée le long du train. Les ordres de freinage seraient réalisés simultanément au niveau de chaque locomotive uniquement, mais pas au niveau de chaque wagon. De la même manière, des retards au desserrage pourraient apparaître sur certains véhicules à cause des délais de remplissage de la conduite générale par les engins moteurs (cet effet pourrait être atténué par la mise en place d'une conduite principale en charge du remplissage des réservoirs auxiliaires).

L'ergonomie de conduite ainsi que les performances de freinage de ce système sont médiocres. Par ailleurs, des essais de circulation de trains longs avec freinage en tête et au milieu du train avaient mis en évidence des efforts longitudinaux importants.

Le remplissage à 5 bars et le maintien à cette pression de la conduite générale en marche normale par le seul robinet de mécanicien de tête devrait limiter la longueur du train à environ 1 500 m, tout en obligeant à avoir un système de frein plus étanche qu'aujourd'hui. Par ailleurs, ce système ne permet pas de répondre à la fonctionnalité d'un essai de frein à agent seul (EFAS).

#### **Frein électropneumatique.**

Pour la deuxième solution, le frein électropneumatique type fiche UIC 541-5 avec boucle de sécurité n'est pas homologué et maîtrisé au-delà de 750 m et, de plus, les chutes de tension électrique le long de la ligne de commande ne devraient pas permettre d'atteindre une longueur de 1 500 m.

En revanche, un frein électropneumatique du type de celui monté sur les automoteurs et les TGV (commande à courant de repos et relaiage électrique de la commande sur les engins moteurs le long du train – non UIC) est certainement réalisable pour des grandes longueurs de train, mais il demande à être développé (la mise en place d'une conduite principale est évidemment indispensable). De plus, comme pour la solution précédente, le remplissage de

la conduite générale à 5 bars et la compensation des fuites d'air le long du train en marche normale par le robinet de mécanicien en tête du train devrait limiter la longueur à environ 1 500 m.

Ce système ne permet pas de répondre à la fonctionnalité d'un essai de frein à agent seul (EFAS).

### **Frein à commande électronique.**

La dernière solution est le frein à commande électronique qui devrait permettre de répondre à pratiquement toutes les exigences (commande simultanée, boucle de sécurité, essai de frein à agent seul...).

Hormis le cas du freinage d'urgence, au desserrage l'inépuisable du frein est garantie, mais non UIC (en l'absence de conduite principale, la pression à la conduite générale est inférieure à 5 bars et le remplissage est moins efficace qu'avec une conduite principale). Il pourrait être nécessaire de compléter le système avec une conduite principale pneumatique, pour répondre aux exigences de longueurs.

Ce projet en est au stade d'adaptation, suite au test d'un premier prototype sur banc d'essai.

Ainsi, en ce qui concerne la commande du frein, un système nouveau doit être développé.

Le développement qui présente le moins de risque est le frein électropneumatique type automoteur ou TGV mais il ne permet pas de réaliser directement un essai de frein à agent seul.

Le seul système permettant de répondre totalement aux exigences est le frein à commande électronique filaire.

### **6.4.2 Les efforts longitudinaux de traction et de compression.**

Pour des trains de 1 500 m ou plus, comme il a été décrit précédemment, il est nécessaire de disposer d'une commande simultanée des freins de l'ensemble du train, soit par une commande « frein électropneumatique » ou par un frein à commande électronique.

Les attelages sont de type barres de traction ou attelages automatiques, ce qui augmente considérablement la résistance des wagons au risque de déraillement.

L'ensemble de ces deux choix permet de pouvoir garantir des niveaux d'efforts longitudinaux de traction et de compression acceptables.

## **6.5 Aérodynamique**

### **6.5.1 Vents traversiers**

Comme il a déjà été constaté pour le transport des conteneurs, des études ont montré que les trains composés de wagons plats dont la plate-forme est située à environ 1 m du plan de roulement, pouvaient être sensibles à des vents traversiers :

- Renversement des camions pour des vitesses de vent supérieures à 115 km/h,
- Renversement de l'ensemble wagon + camion pour des vitesses de vent supérieures à 125 km/h.

Des simulations sur le train futur devront être effectuées dès que sa définition ainsi que son parcours seront plus précis pour définir les vitesses au-delà desquelles un arrimage des semi-remorques sera nécessaire.

Toutefois, la conception du wagon type autoroute ferroviaire alpine semble plus favorable que les wagons de transport combiné classiques.

### **6.5.2 Comportement des remorques routières**

Des essais précédents ont montré que des remorques routières bâchées subissaient des déformations lors de croisement dans un tunnel avec un train circulant à plus de 180 km/h.



## 6.6 Points divers

### 6.6.1 Freinage par récupération

Les locomotives peuvent freiner par récupération, mais il est nécessaire que l'énergie récupérée puisse être réutilisée.

### 6.6.2 KVB

Une adaptation embarquée du KVB est nécessaire pour tenir compte du mode de freinage du train.

## 7 CONSÉQUENCES SUR LES INFRASTRUCTURES

En raison des conditions particulières du système, les trains de l'autoroute ferroviaire pourront circuler sur les infrastructures existantes, sous réserve d'adaptation concernant :

- Le dimensionnement de l'alimentation électrique,
- La pertinence du maintien des passages à niveau,
- La gestion du bruit,
- Le système de contrôle commande,
- Le dégagement du gabarit GB1 et bas.

Le coût d'éventuels travaux n'est pas négligeable mais ne représente qu'une fraction des coûts d'une ligne nouvelle sur les mêmes parcours. En outre, ces aménagements peuvent être réalisés dans des délais courts et sans procédures administratives.

La cadence envisagée des trains est de l'ordre de 1 par heure hors blancs travaux, augmentée de 8 sillons facultatifs, soit un ordre de grandeur d'environ 30 circulations par sens et par jour ce qui posera le problème de la pertinence du maintien de certains passages à niveau.

La traversée des agglomérations sera traitée pour réduire au minimum les nuisances sonores. Le service nouveau devra se soumettre aux directives relatives au bruit.

Les installations seront éventuellement adaptées pour permettre la cohabitation des trains longs avec les trains de voyageurs régionaux. En cohérence avec l'évolution des systèmes de contrôle commande et de suivi opérationnel exhaustif des trains assurant les services de l'autoroute ferroviaire, un système de fluidification et/ou d'anticipation devra être conçu pour éviter des arrêts intempestifs des trains longs dans les zones de bifurcation.

Le problème du couple frein à disque, qui paraît s'imposer sur ce matériel, et shuntage des circuits de voie, devra être examiné spécifiquement.

## 8 CERTIFICATION DU SYSTÈME

Ce produit sera considéré comme un nouveau système (au titre du décret D2000 286 sur la sécurité ferroviaire), et devra faire l'objet d'une procédure d'autorisation de circulation.

La conception du produit devra tenir compte de ces exigences, notamment pour la sécurité de transport des conducteurs routiers, et le comportement dynamique du train du fait de ses caractéristiques (longueur, masse, vitesse,...).

Les trains de l'autoroute ferroviaire doivent être considérés comme des trains normaux dans le cadre de l'étude de sécurité. Les matières dangereuses feront l'objet d'un examen particulier compte tenu des mesures spécifiques susceptibles de leur être appliquées.

## **9 ÉVOLUTION DU SYSTEME D'AUTOROUTE FERROVIAIRE**

Le point de départ est le lancement de l'expérimentation des wagons Modalohr sur la relation transalpine entre Aiton dans la vallée de la Maurienne et Orbassano à côté de Turin. Cette expérimentation permettra de vérifier le bon fonctionnement et la fiabilité du système Modalohr. Elle n'utilise pour l'instant que les techniques ferroviaires classiques qui ne permettraient pas de répondre à une augmentation importante des services.

La présente étude a pour objet de définir les paramètres d'un système d'exploitation d'autoroute ferroviaire sur le réseau existant avec un niveau de service important, répondant à la demande du transport routier, au désir des pouvoirs publics de transférer une part significative du transport de fret sur le rail et aux besoins de l'opérateur ferroviaire du système qui bénéficiera de l'effet d'échelle pour cette activité.

La principale conclusion de cette étude est que nous disposons dès maintenant des technologies nécessaires à la mise en œuvre d'un tel système. Il faut cependant les assembler de façon harmonieuse et efficace, ce qui prendra forcément du temps. Des études plus précises seront nécessaires : selon les difficultés techniques ou économiques qui seront rencontrées, il conviendra d'examiner les adaptations qui pourraient être rendues nécessaires, tout en gardant la cohérence globale du système proposé.

Les options proposées dans ce rapport pour mettre en œuvre des services d'autoroute ferroviaire paraissent aujourd'hui nécessaires pour en assurer la pertinence commerciale, économique et technique, mais pour autant, il serait présomptueux en l'état actuel de la réflexion de prétendre qu'elles sont indispensables ou suffisantes.

Le développement des services d'autoroute ferroviaire sur le territoire français sera progressif et, si l'expérimentation technique Aiton – Orbassano est satisfaisante, il ne devrait pas y avoir d'interruptions entre cette expérimentation et le système complet qui pourrait se développer tout au long de la prochaine décennie selon un processus incrémental.

Le présent chapitre a pour but d'esquisser ces évolutions qui sont synthétisées par la carte ci-après qui résume ce que pourrait être au terme de cette décennie le schéma de ce système.



Il faut tout d'abord repérer les étapes du développement du système, puis distinguer les ruptures techniques et opérationnelles qui seront nécessaires à chacune de ces étapes. On pourra ainsi définir pour chaque étape des installations et des équipements cohérents avec le schéma final de développement du système.

## 9.1 Quelques étapes plausibles

Dans l'état actuel des réflexions de la société CME (qui regroupe la SNCF et Modalohr), ainsi que des informations qui ont pu être rassemblées en provenance de la SNCF, de RFF ou des collectivités territoriales, il semble plausible d'envisager les étapes ci-après :

- 2005 : Création d'un service d'autoroute ferroviaire non accompagné avec quelques allers et retours par jour entre Aiton – Dourges et éventuellement Folkestone en Grande Bretagne.
- 2007 : Extension de l'expérimentation Aiton – Orbassano avec passage à un cadencement horaire, après la mise au gabarit GB 1 des tunnels de l'axe du Fréjus.
- 2007 : Mise en place d'une première expérimentation d'un service d'autoroute ferroviaire à gabarit limité (3,90 m) avec quelques allers et retours par jour sur l'axe Atlantique (Hendaye – Tours ou Orléans).
- 2008/10 : Extension du service Aiton – Orbassano vers Lyon ou Dijon d'une part et Novara d'autre part.
- 2010/12 : Mise en place progressive d'un service d'autoroute ferroviaire complet sur l'axe Languedoc – Vallée du Rhône : Perpignan – Orbassano – Novara et Perpignan – Dijon, - Dourges, en fonction de la réalisation du contournement Nîmes – Montpellier.
- 2012/2015 : Développement du service d'autoroute ferroviaire sur l'axe Atlantique avec cadencement horaire et extension du service vers le nord qui pose le problème de la traversée de la région Ile de France.
- etc.

## 9.2 Les évolutions opérationnelles

Sans que cette liste ait la prétention d'être exhaustive, les ruptures opérationnelles ci-après accompagneraient le développement des services.

- L'existence de chantiers intermédiaires : dès 2007, Aiton sur l'axe Dourges/Folkestone/ – Orbassano ; en 2010, sur l'axe Languedoc – Vallée du Rhône.
- La gestion du service et la spécialisation des personnels : apparemment, ceci pourrait intervenir dès 2007, avec l'extension du service Aiton – Orbassano.
- La nécessité de trains longs de plus de 750 m : en 2010, sur l'axe Languedoc – Vallée du Rhône, en 2012 avec le développement du service sur l'axe Atlantique.
- La création de services à longue distance exigeant des « voitures-couchettes-routières » pour l'acheminement des conducteurs routiers dès 2007 sur l'axe Atlantique si l'expérimentation porte sur un service accompagné, en 2010 sur l'axe Languedoc – Vallée du Rhône.
- Les problèmes de gestion de chantier et les manœuvres qui en résulteront : dès la circulation de trains longs.

- La circulation des trains de l'autoroute ferroviaire sur des lignes chargées, proches de la saturation : apparemment ceci interviendrait avec l'extension du service Aiton – Orbassano vers Lyon ou Dijon, ainsi que sur l'axe Languedoc – Vallée du Rhône ou sur l'axe Atlantique.

### **9.3 Les évolutions techniques**

Pour ce qui concerne le matériel roulant, elles portent sur :

- Le système de freinage (frein à disque, frein à commande électronique,...),
- Le concept train formé de coupons automoteurs, y compris pour le transport des conducteurs routiers,
- L'automatisation des manœuvres dans les chantiers,
- Le concept de maintenance associé,
- La vitesse maximale,
- Utilisation de Cerajet en remplacement du sable (ce qui diminue les contraintes de remplissage des sablières),
- Etc.

Pour les installations fixes, les évolutions nécessaires pour l'exploitation des services de l'autoroute ferroviaire concernent l'alimentation en énergie électrique et la mise en place d'un système de contrôle commande et de suivi adapté à la circulation en coexistence des trains longs et des trains classiques. Elles interviendront avec le développement du service, la circulation de trains longs et la construction de nouveaux chantiers qui se situeront d'abord à Folkestone ou Dourges puis sur l'axe Languedoc – Vallée du Rhône, l'axe Atlantique, enfin, peut-être en Italie : Novara .

Concernant les chantiers, le concept même d'un chantier entièrement automatisé pour les commandes d'itinéraires et les manœuvres constitue l'évolution la plus importante par rapport aux méthodes actuelles d'exploitation des chantiers de transport combiné.

### **9.4 Applications pratiques**

#### **9.4.1 2005 : Folkestone – Aiton**

Le service peut être traité selon les mêmes règles que celles retenues pour l'expérimentation Aiton – Orbassano.

#### **9.4.2 2007 : extension de l'expérimentation Aiton – Orbassano**

La montée en puissance de l'expérimentation en fonction de la réponse positive du marché conduira à bâtir le service avec un cadencement horaire et éventuellement l'allongement des trains pour les porter à 750 m. Cette dernière hypothèse nécessite l'achèvement du renforcement de l'électrification côté italien.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour accompagner cette montée en puissance dont l'étude serait à entreprendre rapidement.

### **9.4.3 2007 : Axe Atlantique**

L'importance du trafic de cet axe conduira à faire des choix pour les chantiers terminaux. On peut envisager de démarrer l'expérimentation avec des chantiers simplifiés comme celui d'Aiton ; on peut aussi se placer dans la perspective d'un système plus développé à cadencement horaire qui nécessitera des schémas plus complets qui sont esquissés dans le présent rapport.

### **9.4.4 2010/2020 : Mise en place du système Languedoc – Vallée du Rhône et développement du service sur l'axe Atlantique.**

Dès que l'exploitation d'un axe se fera avec des chantiers intermédiaires, il semble que le système devra évoluer vers le schéma présenté dans ce rapport.

## **9.5 Etudes complémentaires**

Elles concernent tout d'abord l'approfondissement des aspects système :

- Concept fonctionnel d'un chantier,
- Approfondissement des études du matériel roulant,
- Le concept de maintenance associé,
- L'alimentation en énergie électrique,
- Modes d'exploitation.

Ces études complémentaires sont à mener en parallèle avec celles concernant les aspects relatifs au marché (commerciaux et économiques), ainsi qu'à la conception d'un plan de transport.

En particulier, la part à attendre des transports accompagnés par les conducteurs routiers sera un élément déterminant pour la conception du système.

**En conclusion, la mise en place de ce système peut être réalisée au cours des 8 à 10 prochaines années, ce qui paraît raisonnable par rapport à des expériences antérieures du système ferroviaire comme la création du système TGV pour le trafic voyageurs. De toute façon, il semble souhaitable d'étudier dès maintenant les matériels à construire, les chantiers et les équipements dans la perspective du système final pour que des mises à niveau soient possibles le moment venu.**