Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Innovation en fret ferroviaire : les moyens de renforcer les incitations au report modal du trafic lourd transalpin

Rapport du Conseil fédéral en exécution du Postulat 12.3331 de la CTT-N

Décembre 2014

Table des matières

Condensé 3

1. Mandat / teneur du postulat 4

2. Point de la situation 4

3. Évaluation des options d'innovation en fret ferroviaire 5

3.1 Catégories d'innovation 5

3.2 Évaluation générale des innovations en question 6

4. Stratégies d'introduction d'innovations prometteuses dans toute l'Europe 7

4.1 Communication intra-train 7

4.2 Alimentation en courant dans les wagons 8

4.3 Raisons de la stagnation de l'innovation 8

4.4 Nécessité d'encourager financièrement l'innovation 9

5. Bases légales de l'encouragement d'innovations 12

5.1 Refonte de la loi sur le transport de marchandises 12

5.2 Loi fédérale sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer 13

5.3 Loi sur le fonds d'infrastructure ferroviaire (LFIF) 14

6. Projets en cours 14

7. Estimation du Conseil fédéral 14

Annexe 16

Condensé

Le Parlement a voté un postulat qui charge le Conseil fédéral d'étudier les innovations en fret ferroviaire susceptibles de favoriser le report modal à travers les Alpes. Dans son rapport, le Conseil fédéral conclut que les innovations examinées ne bénéficieraient pas spécifiquement au trafic transalpin, mais au fret ferroviaire en général. La révision totale de la loi sur le transport de marchandises, déjà entamée, prévoit des options d'encouragement des innovations techniques.

Plusieurs innovations techniques pourraient bénéficier au fret ferroviaire : l'attelage automatique avec tampon central, qui simplifie la composition des trains, l'essai de frein automatique effectué depuis la locomotive, qui rend superflue l'inspection du train sur toute sa longueur, ou l'alimentation en courant dans les wagons, pour n'en citer que quelques unes. Le Conseil fédéral conclut que ce type d'innovation pourrait bénéficier globalement au fret ferroviaire. Mais il n'est pas possible de déceler une innovation qui soit utile exclusivement au transport de marchandises transalpin, comme le souhaitait la Commission des transports et des télécommunications du Conseil National dans son postulat. Le Conseil fédéral conclut également qu'il ne convient pas à la Suisse de faire cavalier seul en matière d'innovations techniques, vu la complexité des interdépendances en fret ferroviaire international.

Les bases légales de l'encouragement des innovations étudiées existent déjà ou sont en préparation: le message du 30 avril 2014 concernant la révision totale de la loi sur le transport de marchandises, qui sera probablement soumis au conseil prioritaire lors de la session de printemps 2015, prévoit une base légale à l'encouragement financier d'innovations techniques. Au demeurant, il existe d'autres subventions fédérales d'encouragement, par exemple dans le cadre du programme d'assainissement phonique des chemins de fer.

1. Mandat / teneur du postulat

Le postulat 12.3331 remis par la Commission des transports et des télécommunications du Conseil National invitait le Conseil fédéral, le 20 mars 2012, à dresser un rapport sur les potentiels de diverses options d'innovation en fret ferroviaire (entre autres attelage automatique avec tampon central, instruments de surveillance active du chargement et surveillance du véhicule, essai de frein automatique par introduction de la communication intra-train), à octroyer le cas échéant des mandats d'exécution d'essais-pilotes ou de tests et à élaborer une stratégie d'introduction dans toute l'Europe des innovations les plus prometteuses.

Le 9 mai 2012, le Conseil fédéral proposait d'adopter le postulat, ce que le Conseil National a fait le 12 juin 2012.

2. Point de la situation

Pour accroître sa productivité, le fret ferroviaire doit innover. Ce faisant, il peut, dans l'optique du mandat de transfert du transport de marchandises transalpin de la route au rail, formulé dans l'art. 84 de la Constitution fédérale et de sa loi d'exécution, la loi sur le transfert du transport de marchandises (LTTM ; RS 740.1), renforcer sa compétitivité par rapport à la route en faveur d'un report modal durable du trafic lourd transalpin. Dans le présent rapport, le Conseil fédéral passe en revue plusieurs options d'innovation, leur faisabilité de principe et leur potentiel de transfert. Il traite également la question de la faisabilité des essais-pilotes ou des tests demandés par l'auteur du postulat ainsi que de la stratégie d'introduction dans toute l'Europe des innovations les plus prometteuses.

En exécution du postulat 12.3331, l'Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) de l'EPF Zurich a été spécialement chargé d'évaluer, selon des critères uniformisés, les diverses innovations techniques proposées par les experts et la politique dans l'optique des conditions de production spécifiques et des exigences commerciales du transport de marchandises transalpin. Cet institut s'est basé d'une part sur les résultats d'une série d'enquêtes précédentes[1], et d'autre part sur les conclusions d'un atelier organisé dans le

[1] Exemples :

cadre de l'étude, qui a réuni des représentants de la branche du fret afin qu'ils y apportent leurs avis d'expert quant au potentiel d'innovation.

3. Évaluation des options d'innovation en fret ferroviaire

Concrètement, l'étude a analysé le potentiel de diverses options d'innovation en fret ferroviaire évoquées sur le marché ou dans les milieux politiques. Des représentants de la branche se sont réunis en atelier sous la direction de l'IVT afin d'évaluer les innovations techniques retenues qui ont atteint un stade quasi-opérationnel et que l'on a jugé pertinent d'étudier.

3.1 Catégories d'innovation

Les innovations peuvent se classer en quatre catégories :

- **Systèmes** qui constituent des solutions systémiques entièrement nouvelles pour les chaînes de transport par modification de plus d'un domaine (matériel roulant, infrastructure et offre de prestations) du système ferroviaire global ;
- **Véhicules** qui apportent des améliorations dans le domaine du matériel roulant et de ses composants ;
- **Infrastructures** qui améliorent les installations fixes et
- **Processus** qui optimisent les processus ferroviaires sans changement de technologie.

Pour chaque catégorie d'innovation, plusieurs innovations centrales de stade quasi-opérationnel, discutées par les intervenants du marché et par les milieux scientifiques, sont présentées en détail en annexe. On trouvera également en annexe une estimation des innovations avec leur efficience potentielle, les obstacles à leur introduction ainsi que leur potentiel de transfert pour le fret transalpin. Les innovations ont fait l'objet d'une évaluation qualitative, quoique leur utilité relative (gains d'efficience) et les réticences à les introduire (en raison

---

- IVT/CFF Cargo: options d'application de la communication intra-train – étude dans le cadre de la convention d'indemnisation Trafic par wagons complets isolés entre CFF Cargo SA et l'OFT (en allemand)
- IVT/TU Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr/CFF Cargo: communication intra-train. Évaluation économique de systèmes de communication intra-train en trafic par wagons complets isolés en Suisse – étude dans le cadre de la convention d'indemnisation Trafic par wagons complets isolés entre CFF Cargo SA et l'OFT (en allemand)
- Kombiconsult/K+P Transport Consultants: Tendances et innovations en transport combiné non accompagné en Suisse et à travers la Suisse (en allemand)

des coûts initiaux et des frais d'exploitation constants) aient fait l'objet d'une évaluation quantitative.

3.2 Évaluation générale des innovations en question

Les évaluations des innovations en transport transalpin figurent en détail dans le rapport final de l'IVT d'août 2014 (en allemand).

L'étude (en allemand) est publiée sur le site Internet de l'Office fédéral des transports (OFT) à la rubrique www.bav.admin.ch/verlagerung.

L'analyse des innovations révèle qu'il n'y a aucune innovation qui serve exclusivement au trafic transalpin sans profiter au reste du trafic. Il existe plutôt une sélection d'innovations qui promettent des gains d'efficience au fret ferroviaire en général. Une partie de ces innovations n'apporte toutefois des avantages que dans des segments commerciaux qui ne représentent qu'un faible volume en transport transalpin ou qui ne concernent que des marchés de niche. Ces innovations ne peuvent donc pas faire l'objet de recommandations en vue d'un report modal ciblé et efficace du fret transalpin par application de mesures d'encouragement spécifiques.

Il reste cependant des innovations, telles que

- l'optimisation des profils d'espace libre,
- l'uniformisation des prescriptions d'exploitation,
- l'optimisation des systèmes de freinage et
- l'essai automatique du frein et des applications télématiques supplémentaires,

dont il peut valoir la peine de perfectionner et de mettre en œuvre les premières applications pilotes, précisément en vue d'une exploitation dans les corridors transalpins. Vu les interactions internationales en fret ferroviaire, il n'est toutefois pas recommandé à la Suisse de faire cavalier seul, en raison notamment des coûts d'investissement élevés en cas d'application sur tout le territoire, surtout si les véhicules sont étrangers. Ainsi, l'adoption de standards uniformisés tels que l'optimisation des profils d'espace libre et l'uniformisation des prescriptions d'exploitation sont des mesures centrales dans les plans d'action des corridors de fret européens où la Suisse est représentée (Rhine Alpine, North Sea Mediterrenean).

4. Stratégies d'introduction d'innovations prometteuses dans toute l'Europe

Les principales innovations en fret ferroviaire qui recèlent un potentiel de mise en œuvre au niveau européen sont présentées ci-après. En raison de la « dimension européenne » inhérente au système, notamment en fret ferroviaire transalpin, il y a lieu de faire pression dans les organes internationaux où la Suisse est représentée, afin d'obtenir une mise en œuvre et un financement coordonnés des innovations techniques en fret ferroviaire.

Il s'avère que les innovations en fret ferroviaire et leur utilité ne se limitent pas spécifiquement au trafic transalpin. Simultanément, les innovations ferroviaires ne sont pas applicables isolément à ce trafic, car les solutions individuelles non compatibles ne sont rentables que dans de très rares cas. Les innovations sont plutôt polysystémiques par nature et il faut les considérer sous l'angle du système ferroviaire européen.

La communication intra-train et son alimentation électrique dans le wagon sont des *innovations de base*. Ce ne sont pas des innovations en soi, mais l'introduction d'une ou de deux technologies permet l'intégration ou l'application d'un grand nombre d'autres fonctionnalité utiles à l'exploitation ferroviaire, à la sécurité d'exploitation et aux clients.[2]

4.1 Communication intra-train

La communication intra-train désigne des systèmes de communication qui permettent un échange d'information entre les véhicules ferroviaires entre eux et avec le véhicule moteur. Il s'agit par exemple d'informations sur l'état des freins ou de la charge. La communication intra-train requiert une communication bidirectionnelle, à la différence par exemple de la communication à sens unique du frein à air comprimé.

On distingue entre systèmes à fil (par ex. train-bus), systèmes radio analogiques (par ex. télécommande radio) et communication numérique sans fil à distance et à proximité (par ex. GSM ou WLAN). Les différences portent sur la gamme de fonctions en matière de capacité de fonctionner en temps réel, d'alimentation en courant et de fonctionnalités train ou wagon.

La communication intra-train est une innovation de base pour un grand nombre de perfectionnements en fret ferroviaire. Elle est impérativement requise, notamment pour les

[2] Exemples : conduite multiple, essai de frein automatique ou tracking-and-tracing wagon par wagon

innovations avec fonction train – par exemple les freins électropneumatiques, l'essai de frein automatique, la vérification automatique de la configuration du train, la détection de déraillement ou le contrôle d'intégrité du train. En revanche, les innovations incluant une fonction « wagon », par exemple le *tracking-and-tracing*, peuvent être implémentées isolément.

4.2 Alimentation en courant dans les wagons

Comme le potentiel de dispositifs indépendants en énergie est limité, – citons dans ce contexte les détecteurs de déraillement raccordés à la conduite d'air principale pour les transports de marchandises dangereuses – l'alimentation en énergie électrique des wagons joue un rôle important.

Voici les types d'alimentation en courant qui entrent en ligne de compte : l'alimentation électrique par câble (par exemple ligne de train), le stockage d'énergie (piles, accumulateurs, pile à combustible) et les systèmes producteurs d'énergie (génératrice en bout d'essieu, piles solaires, récolte d'énergie). Ils se distinguent très fortement des appareils qu'ils alimentent par leur performance et par leur gamme de fonctions.

En transport de marchandises, les solutions à piles sont les plus fréquemment employées. Elles conviennent par exemple aux fonctions de détection et ne causent que peu de frais d'entretien supplémentaires. Toutefois, leur performance est limitée, c'est pourquoi elles ne permettent le plus souvent qu'une surveillance ponctuelle/périodique du wagon / de la charge. Les systèmes exploités en permanence requièrent soit des performances plus élevées soit davantage de stockage d'énergie.

4.3 Raisons de la stagnation de l'innovation

Par le passé, la branche du fret ferroviaire en Suisse, mais aussi en règle générale dans toute l'Europe, n'a pas suffisamment développé ni mis sur le marché d'innovations techniques, par exemple pour les wagons. Voici les principales raisons de ce manque de capacité d'innovation dans la branche :

- Le marché des wagons neufs en Europe est relativement restreint (par rapport à celui des camions par exemple). Les frais de développement des innovations sont donc élevés à l'unité.

- La vitesse de mise en œuvre des innovations de base est faible en raison de la longévité des wagons et de leurs composants.
- Les innovations doivent apporter des avantages économiques aux détenteurs de véhicules (qui décident des investissements). Or l'avantage (économique) d'une innovation dans le domaine des wagons ne bénéficie pas forcément aux détenteurs de véhicules. Si l'effet avantageux se déploie ailleurs dans la filière (par ex. chez le gestionnaire d'infrastructure), cela n'a, en règle générale, pas ou très peu d'influence sur la décision de détenteurs potentiels de véhicules d'investir dans une innovation.
- Les innovations ne doivent pas restreindre la compatibilité des wagons en Europe, faute de quoi leur possibilité d'application sur l'ensemble du réseau serait réduite.
- L'effet avantageux de l'innovation ne se produit souvent que lorsque tout le parc de wagons ou presque a été équipé, car cet avantage requiert une transformation complète des processus de production qui n'est pas possible auparavant.
- Les exigences des détenteurs de véhicules en matière d'innovations de base sont souvent insuffisamment définies ou sont dispersées.
- Les innovations techniques qui promettent de grands avantages au trafic par wagons complets isolés (TWCI) (par exemple emploi de l'attelage automatique avec tampon central ou de technologies de communication intra-train), requièrent des investissements préalables importants et doivent être coordonnés entre les divers intervenants de Suisse et de l'étranger. Le besoin en investissement élevé fait notamment supposer que les ressources nécessaires à ce type d'équipements ne pourront pas être réunies à moyenne échéance.

Pour toutes ces raisons, la propension à investir dans l'innovation en fret ferroviaire est nettement plus faible qu'en trafic routier de marchandises par exemple.

4.4 Nécessité d'encourager financièrement l'innovation

Complexité du processus d'innovation chez les chemins de fer

Les processus d'innovation sont généralement caractérisés par une haute complexité, dont il convient de tenir compte lors de leur encouragement. De l'idée première jusqu'à l'introduction d'une innovation, les obstacles à surmonter sont nombreux. Vu la structure du système ferroviaire où les intervenants dans le processus d'innovation sont multiples, il existe de grandes divergences avec l'innovation dans l'industrie de production.

Etant donné que ce sont des innovations systémiques dont le domaine ferroviaire a besoin le plus souvent, il n'est pas rare que l'entreprise innovante soit dans l'impossibilité de

compenser les investissements par des recettes. Elle est donc de moins en moins encline à s'engager dans le domaine de la recherche et du développement et à prendre de l'avance en matière d'innovation. C'est pourquoi les entreprises d'expédition, de détenteurs de véhicules, de transport ferroviaire et d'infrastructure ont réduit leur activité de recherche et de développement pour se tourner de plus en plus vers l'appel d'offres fonctionnel de prestations. Il en résulte une perte de savoir et des difficultés croissantes d'ajustage entre les exigences du marché et l'état d'avancement de la recherche et de la science.

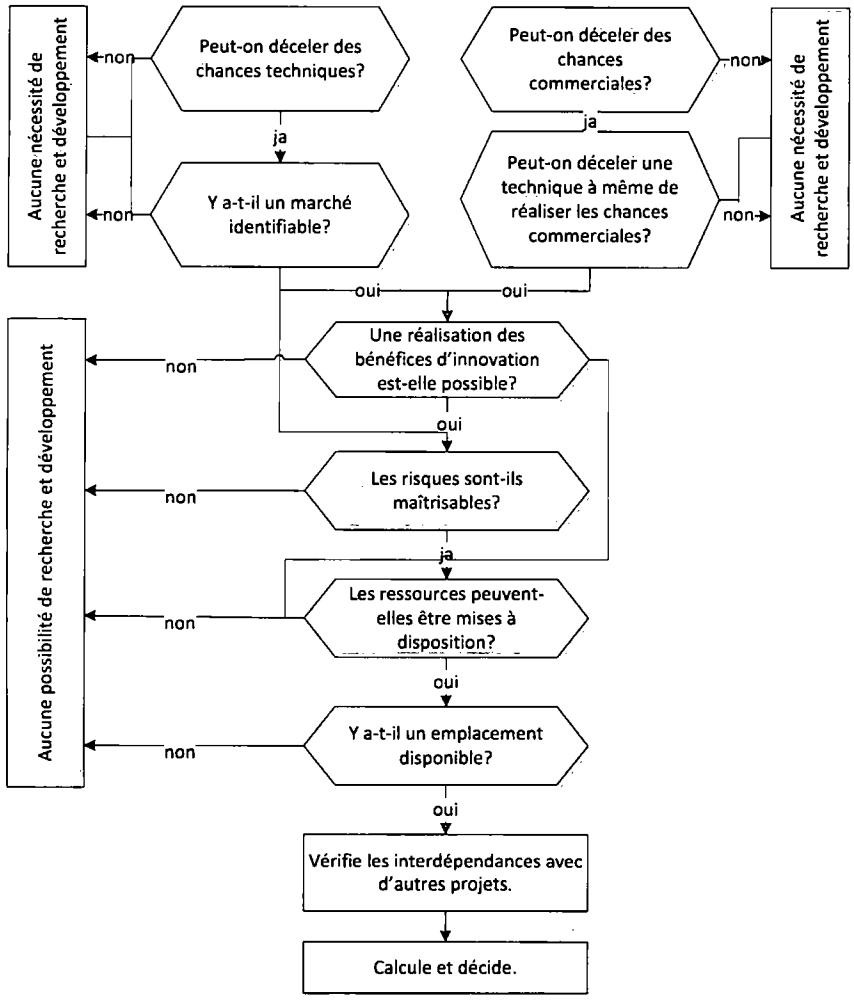

Figure 1: schéma de décision Recherche et Développement (R & D) de l'économie privée selon Brockhoff (IVT)

Cette complexité croissante n'est maîtrisable que par une coopération intensive entre les divers intervenants des chemins de fer. C'est pourquoi les risques inhérents au développement doivent si possible être pris en charge par plusieurs intervenants ou diminués par le régulateur. Cependant, si un intervenant doit assumer seul le risque lié à l'innovation, il aura plutôt tendance à abandonner l'innovation possible afin de diminuer les risques.

Financement de l'innovation

L'investissement dans l'innovation et son refinancement sont un problème central de la branche ferroviaire. La recherche et le développement, ainsi que le lancement sur le marché, impliquent des coûts sans générer immédiatement des produits correspondants. Ce n'est que lorsque le produit finit par s'imposer sur le marché que les coûts sont compensés par des produits dus à l'innovation. Les innovations systémiques requièrent dans la plupart des cas, pour s'imposer sur le marché et générer les bénéfices d'innovation escomptés, une participation d'autres intervenants du marché – et donc une imitation. Les bénéfices d'innovation – si celles-ci sont réalisables – sont donc partagés entre tous les participants au marché, mais les investissements dans l'innovation ne le sont pas forcément.

Le rail est confronté à une difficulté supplémentaire : sa subdivision, inhérente au système, en infrastructure, matériel roulant, production et offre. Les flux de paiement réguliers en circulation ferroviaire – par exemple le prix du sillon, la location de wagons ou les indemnités – se répartissent le plus souvent entre plusieurs intervenants dans divers secteurs. La divisionnalisation des entreprises de chemin de fer a encore accentué cette problématique, de même que la réduction des parcs de wagons liée à la location temporaire ou le leasing de matériel roulant de détenteurs de véhicules externes.

Ainsi, les bénéfices d'innovations ne sont répercutables sur les canaux traditionnels que partiellement ou qu'au moyen d'un système de contrats complexe. Le prix du sillon n'a qu'un effet de régulation limité, notamment sur la technologie des wagons; il n'existe pas d'avantage transféré directement entre les détenteurs de véhicules et l'infrastructure.

Flux de paiements en transport de marchandises

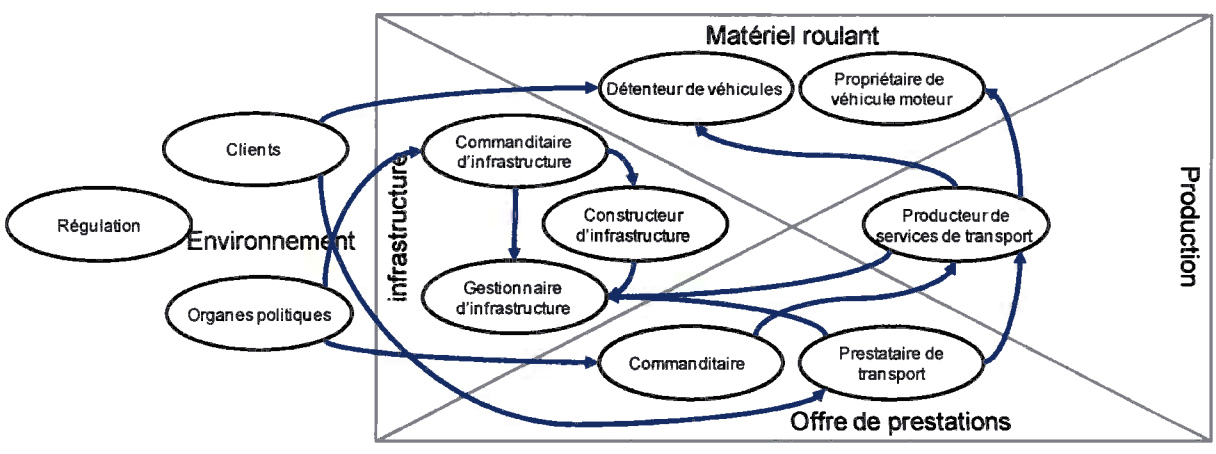

Figure 2 : flux de paiement en fret ferroviaire (IVT)

5. Bases légales de l'encouragement d'innovations

5.1 Refonte de la loi sur le transport de marchandises

Les innovations prometteuses en fret ferroviaire impliquent le plus souvent des investissements très élevés et doivent être coordonnées avec des intervenants de Suisse et de l'étranger (par exemple l'emploi de l'attelage avec tampon central automatique ou de technologies de communication intra-train). Par conséquent, la branche ne peut pas réunir à moyenne échéance les ressources nécessaires à de tels équipements, et les processus de migration ne peuvent pas avoir lieu.

Le Conseil fédéral propose donc, dans son message du 30 avril 2014 concernant la révision totale de la loi sur le transport de marchandises, de créer une base légale des contributions aux investissements dans les innovations techniques en transport des marchandises par le rail.

Si la nouvelle réglementation proposée est décidée dans le cadre des délibérations parlementaires, la Confédération pourra, à partir de l'entrée en vigueur de la nouvelle disposition (probablement pour le début de 2016), encourager financièrement des innovations techniques par le versement de contributions, d'une part aux investissements dans des applications-pilotes et d'autre part à l'accélération de processus techniques de migration.

Le Conseil fédéral a l'intention, par cette réglementation, d'encourager aussi complètement que possible le développement de solutions techniques jusqu'à la maturité du produit et des applications commerciales qui promettent de grand effets de gain de productivité et de gestion économe et efficiente des ressources du fret ferroviaire. Vu le haut degré de réseautage du fret ferroviaire, les innovations ne peuvent souvent déployer tous leurs effets que si elles trouvent une application très large et standardisée pour une grande partie du matériel roulant utilisé et des processus de production. Une application non coordonnée par des intervenants isolés n'apporte que rarement des avantages notables, car la majeure partie du matériel roulant doit être interchangeable et les processus de production aussi standardisés que possible. Le soutien financier du processus de migration technique doit accélérer le passage à de nouveaux standards pour que les avantages d'une innovation se déploient aussi rapidement que possible.

Il faut donc que les divers intervenants de la branche coordonnent entre eux les innovations dont doivent résulter de grands avantages pour le marché du fret ferroviaire. Le Conseil fédéral prévoit à cet effet un suivi institutionnalisé par des représentants de la branche du transport des marchandises et de la science. La tâche de ce groupe de suivi est d'analyser et d'identifier les innovations techniques qui promettent au fret ferroviaire des progrès de productivité grâce à des transformations techniques. Ce n'est que lorsque ce genre d'innovations pourra être identifié que le Conseil fédéral proposera, dans le cadre de l'établissement du budget, des ressources de soutien d'essais-pilotes ou de tests et d'applications-test ainsi que de processus de migration. Le Conseil fédéral évaluera l'efficacité de l'encouragement financier des innovations techniques au plus tard 10 ans après l'entrée en vigueur de la loi sur le transport de marchandises révisée et rendra compte à l'Assemblée fédérale de l'efficacité de cet instrument de promotion.

5.2 Loi fédérale sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer

Depuis la révision de la loi fédérale du 24 mars 2000 sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer, entrée en vigueur le 1er mars 2014 (RS 742.144), art. 10*a*, la Confédération peut allouer des aides à l'investissement dans du matériel roulant particulièrement silencieux et encourager les essais et l'homologation de produits silencieux. Le crédit disponible à cet effet est de 40 millions de francs (prix d'oct. 1998). Cet encouragement est temporaire : il prendra fin en décembre 2028.

Le DETEC élabore actuellement les critères d'évaluation des demandes déposées sous le titre « Matériel roulant particulièrement silencieux » et les critères de fixation des contributions d'encouragement. Le Conseil fédéral a l'intention de s'orienter sur les objectifs suivants :

- La principale exigence est de perfectionner notablement la construction en matière de bruit de circulation par rapport au niveau sonore admissible fixé dans les Spécifications techniques pour l'interopérabilité (STI), tout en maintenant les coûts d'acquisition dans le domaine du commercialisable.
- Parallèlement, on évaluera également le potentiel d'innovation dans les secteurs du rendement énergétique (poids, aérodynamique), de l'exploitation (sécurité, vitesse, accouplement de wagons) et le potentiel de marché (coût du cycle de vie ou *Life Cycle Cost*).

Les coûts seront pris en charge jusqu'à concurrence des surcoûts d'investissement par rapport à du matériel roulant traditionnel comparable. Les conditions imposées au requérant

doivent exclure tout double encouragement du même objet sur des fonds publics de recherche.

5.3 Loi sur le fonds d'infrastructure ferroviaire (LFIF)

L'encouragement d'innovations en fret (par ex. applications-pilotes ou de test, ou procédés d'accélération de processus de migration) sera basé sur le futur art. 10 LTM. Si ces encouragements concernent l'infrastructure, ils pourront être financés conformément à la loi fédérale sur le fonds de financement de l'infrastructure ferroviaire (LFIF), art. 4, al. 1, dès l'entrée en vigueur du fonds d'infrastructure ferroviaire (FIF) à partir du 1er janvier 2016.

6. Projets en cours

Au cours des dernières années, l'OFT a confié à CFF Cargo un mandat d'étude des innovations potentielles en trafic par wagons complets isolés dans le cadre des conventions annuelles d'indemnisation du TWCI.

En juin 2014, sur la base de ces résultats, une convention d'indemnisation a été signée pour un train-pilote sur lequel l'essai automatique du frein sera effectué à partir de l'implémentation d'une forme de communication intra-train. Les conclusions seront remises à l'OFT au printemps 2015. L'OFT résumera les résultats des courses d'essai, traitera les aspects déterminants pour la sécurité et les questions d'économie d'entreprise, puis il produira une recommandation sur la marche à suivre en vue de l'introduction du système ou de mesures.

7. Estimation du Conseil fédéral

Du point de vue du Conseil fédéral, si la nouvelle réglementation sur l'encouragement financier d'innovations techniques est adoptée dans le cadre de la révision totale de la loi sur le transport de marchandises, les conditions-cadre nécessaires à l'innovation et à son encouragement seront créées et compléteront les autres options d'encouragement de la Confédération. Il incombe désormais au Parlement de délibérer sur ladite refonte et de créer la base juridique nécessaire. Ensuite, la Confédération aura pour tâche, en concertation

avec les intervenants de la branche, d'identifier les innovations importantes et de lancer des programmes d'innovation et de migration ad hoc.

Annexe

1. Innovations systémiques

Trains-navette		
Pour éviter de déplacer la locomotive à l'autre extrémité du train à chaque rebroussement, on peut atteler une locomotive supplémentaire, un actionneur ou une motrice de tête. Pour pouvoir piloter la locomotive depuis l'autre extrémité, il faut une conduite multiple, par câble ou par radio. Alors qu'en transport de voyageurs, la plupart des rames sont des trains-navette, c'est rarement le cas en transport de marchandises. D'une part la composition des wagons n'est guère modifiable par la navettisation – ou seulement à grands frais –, d'autre part les conditions requises pour la conduite multiple en transport de marchandises sont rarement réunies.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Amélioration du temps de transport par accélération du sillon et du rebroussement Besoin en personnel réduit par élimination du changement de locomotive Moins de mouvements de manœuvre par élimination du changement de locomotive Pas besoin de voie de tiroir pour le déplacement lors d'un rebroussement	Longueur des trains réduite Installation de transbordement nécessaire, car la formation ne peut pas être modifiée. Cabine de conduite supplémentaire et conduite multiple nécessaires Haute prestation kilométrique du matériel roulant nécessaire Effets des forces à la poussée (au lieu de la traction)	Faible, à la rigueur dans des marchés de niche

Optimisation de la marche des trains		
L'optimisation de la marche des trains décrit la régulation optimale de la circulation des trains en fonction de la capacité, ce qui évite des arrêts imprévus aux feux rouges et augmente la stabilité des horaires. L'idée de base est la création d'une «onde verte» par ralentissement de la course du train si le franchissement du prochain signal n'est pas encore autorisé. On évite ainsi un freinage complet au signal présentant l'image d'arrêt et le train peut franchir le point conflictuel à une vitesse maximale.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Moins d'arrêts imprévus aux feux rouges, donc moins de perte de temps. Meilleure viabilité des passages de nœuds critiques Plus faible consommation d'énergie par réduction des arrêts imprévus aux feux rouges. Plus faible usure par diminution du nombre d'arrêts Augmentation de la fiabilité par prévention de conflits de sillon	Équipement infrastructurel, notamment centrales d'exploitation Formation nécessaire du personnel de l'entreprise et des conducteurs de véhicule moteur Testé sur des applications de niche Équipement embarqué (par ex. affichage de la vitesse-cible en cas de régulation adaptive)	L'optimisation de la marche des trains apporte des avantages à l'ensemble du système ferroviaire global, notamment en augmentant la stabilité des horaires dans les nœuds très fréquentés. Pas d'effet directement perceptible sur le TMTA.

Essai de frein automatique		
Lors de l'essai de frein automatique principal, les freins de tous les wagons d'un train sont testés depuis la cabine de conduite du véhicule moteur, ce qui rend superflu l'essai manuel des freins et l'inspection du train sur toute sa longueur. Ce procédé requiert la communication intra-train, ainsi qu'un dispositif de contrôle y compris l'alimentation en courant sur chaque wagon. En transport de voyageurs, la plupart des véhicules sont dotés de ces équipements, qui font entièrement défaut en transport de marchandises.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Réduction des dépenses de personnel et du temps consacrés à la composition des trains Meilleure sécurité au travail par réduction du travail «sur le terrain» Durée de transport réduite à condition de pouvoir adapter la visite technique du train Réduction du taux d'occupation de l'infrastructure lors de la composition des trains	Les véhicules doivent être équipés de capteurs et de moyens de communication. Formation nécessaire des conducteurs de véhicule moteur et du personnel de manœuvre Contrôle (RID/ADR) de frein d'immobilisation tiré pas (encore) possible	L'essai de frein automatique est actuellement effectué dans le cadre d'un projet-pilote en transport combiné intérieur. Une introduction sur tout le territoire national aurait une grande influence sur l'ensemble du système des entreprises de fret ferroviaire. On s'attend à un effet positif sur le TMTA en transport combiné avec ses compositions de navette. Toutefois l'effet est plutôt faible par rapport au total des coûts d'un train marchandises transalpin.

Traction hybride et traction à deux sources d'énergie

Les locomotives à deux sources d'énergie sont des véhicules moteurs qui peuvent circuler soit avec l'alimentation en courant du fil de contact soit indépendamment de celui-ci. Sur les tronçons sans fil de contact, les véhicules circulent en règle générale en traction diesel ou diesel-électrique. Les véhicules hybrides se distinguent des locomotives à deux sources d'énergie par leurs deux stockages d'énergie indépendants. Habituellement, le réservoir diesel est complété par une batterie pour la récupération de l'énergie de freinage.

En principe, on reconnaît trois régimes d'exploitation distincts avec des véhicules à deux sources d'énergie et des véhicules hybrides:

- Locomotive électrique de ligne à moteur auxiliaire thermique, qui permet de piloter à prestation réduite sur le dernier kilomètre.
- Locomotive de manœuvre à deux sources d'énergie ou hybride pour la desserte de voies de raccordement non électrifiées, et avec suffisamment de prestation (électrique) pour le service de ligne léger à partir du fil de contact.
- Navettisation d'une unité fixe de train marchandises avec divers véhicules moteurs (par exemple locs électriques et diesel séparées).

Toutes ces approches sont pratiquées en Suisse en exploitation commerciale

Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Suppression des mouvements de manœuvre sur les voies de raccordement / installations de transbordement Moindre besoin de personnel et de matériel de manœuvre Év. gain de temps par élimination de mouvements de manœuvre	Entretien nettement plus cher Prix d'achat élevé	Les trains avec traction à deux sources d'énergie peuvent simplifier notablement les processus dans les chantiers de transbordement à portique. Il n'est pas certain toutefois qu'ils soient aussi économiques : cela dépend de l'évolution des prix de ce type de véhicule spécial, ainsi que de la protection des prestataires locaux de services de manœuvre par des réglementations. Dans l'ensemble, la traction à deux sources d'énergie contribue à faciliter la concurrence en trafic transalpin et permet à de nouveaux prestataires d'entrer sur le marché.

Harmonisation des longueurs de train		
La longueur maximale d'un train est un critère déterminant d'efficience et de rentabilité en fret ferroviaire. C'est précisément en trafic transfrontalier que les différentes restrictions de longueur de train conduisent à des pertes de productivité, car les trains ayant la longueur maximale usuelle en Europe centrale d'environ 750 mètres en trafic international ne peuvent pas circuler sur tout le territoire national : les restrictions concernent notamment le trafic transalpin vers l'Italie, où la longueur maximale autorisée sur de nombreux tronçons est 550 mètres. C'est pourquoi il est prévu d'uniformiser les longueurs maximales sur les tronçons TEN du réseau central au niveau des « STI infrastructure » (2011/275/UE, p. 66 ss). La longueur maximale autorisée sera au moins 750 mètres pour les nouveaux tronçons et 600 mètres pour les tronçons aménagés. Comme les tronçons non modifiés ne sont pas mentionnés et puisque les STI ne portent que sur le réseau central, il y a lieu de craindre que l'uniformisation des longueurs de train ne progresse que lentement. L'harmonisation sur tout le territoire des longueurs de train maximales serait cependant la condition indispensable à un fret ferroviaire transfrontalier efficace. Il n'est toutefois pas envisagé d'augmenter considérablement les longueurs de train maximales, car, entre autres à partir d'une certaine longueur (environ 1000 mètres), les exigences relatives aux organes de choc et traction et à la commande des freins sont plus sévères.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Hausse de productivité par taux d'utilisation uniforme Hausse de productivité par emploi optimisé des ressources	Les adaptations nécessaires de l'infrastructure représentent des coûts d'investissement élevés. Adaptations des installations de conduite et de sécurité nécessaires Les installations d'exploitation ne sont pas conçues pour de grandes longueurs. Mesures nécessaires au niveau de la technologie de freinage et des organes de choc et traction Mise en œuvre nécessaire sur tout le territoire	Les longueurs de train sont une question centrale, notamment en TMTA. Après l'ouverture des tunnels de base, il sera possible de faire traverser les Alpes à des trains d'environ 750 mètres (longueur usuelle en Europe centrale) sans qu'il soit nécessaire de les recomposer et de les équiper d'une traction supplémentaire. Suivant l'évolution du réseau ferroviaire italien, la hausse de productivité pourra atteindre jusqu'à 30 %. La branche estime dans un premier temps nécessaire d'autoriser partout une longueur de train de 750 m (ou 700 m plus locomotive) en trafic transalpin.

Nouvelles technologies en TCNA (Modalohr et Cargobeamer)		
Dans le contexte de la discussion sur le corridor 4 m en Suisse, on a également proposé des ébauches de solution avec un matériel roulant spécial qui permet le transbordement de semi-remorques non grutables. Le système Cargobeamer est exploité commercialement en Allemagne, le système Modalohr en France. Les deux systèmes se passent de grues dans les terminaux de transbordement, mais requièrent d'autres installations fixes.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Les courses d'essai révèlent que le transport de semi-remorques de 4 m de hauteur aux angles n'est pas possible en principe sans adaptations de l'infrastructure. Faible besoin de personnel sur les terminaux de transbordement automatisés. Transport de semi-remorques non grutables	Matériel roulant et installations onéreux Importante emprise au sol des terminaux Certaines installations de transbordement ne seraient plus utilisables. Véhicules spéciaux non combinables avec d'autres trafics.	En transport combiné non accompagné transalpin, la proportion de semi-remorques atteint actuellement environ 20 %. Le potentiel de transport supplémentaire par extension du TCNA aux semi-remorques non grutables est toutefois jugé minime. Les systèmes spéciaux sont surtout considérés comme un complément de l'offre de transport transalpin.

2. Innovations sur les véhicules

Télématique de wagon

La télématique consiste en général à rédiger, transmettre, traiter ou éditer de l'information. En transport de marchandises, le terme se rapporte à des applications installées sur un wagon et doit donc être distingué de la communication intra-train. La télématique de wagon vise à fournir un avantage supplémentaire aux clients par la transmission de données de localisation (*tracking & tracing*) et la saisie de l'état du matériel roulant et de la marchandise transportée au moyen de capteurs appropriés. Le consommateur en fin de chaîne sait alors où et dans quel état se trouve sa marchandise et obtient le plus souvent une prévision de l'heure d'arrivée. En trafic routier de marchandises, cette technologie « *tracking & tracing* » est standard, alors qu'en fret ferroviaire, ce service n'est fourni que rarement. Le détenteur de véhicules – le plus souvent différent de l'opérateur de traction – obtient grâce à la télématique de wagon des données précieuses pour l'optimisation de la maintenance du véhicule.

Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Réduction de l'usure par détection des wagons défectueux en temps utile Év. réduction du parc de wagons grâce à une disposition optimisée Maintenance possible en fonction des km parcourus Amélioration des fonctions de surveillance de la marchandise transportée (=avantage pour le client en fin de chaîne)	Divers appareils sur le marché, applications de niche seulement Équipement/post-équipement des véhicules nécessaire Maintenance des unités de télématique nécessaire dans le cadre des travaux d'entretien usuels Clients peu enclins à payer	Un aménagement de la télématique de wagon bénéficie à l'ensemble du fret ferroviaire et offre une plus-value aux utilisateurs. Il n'y a lieu de s'attendre à des effets spécifiques en TMTA que dans quelques cas particuliers.

Attelage avec tampon central		
L'attelage avec tampon central s'est imposé depuis longtemps en transport de voyageurs, mais n'a pas encore pu s'établir en transport de marchandises européen. Les raisons en sont d'une part la nécessité d'une introduction simultanée sur l'ensemble du système, d'autre part les sévères exigences du transport de marchandises en matière de robustesse d'un attelage. Divers projets-pilote ont été conduits par le passé en vue de l'emploi des attelages avec tampon central. Quelques applications sont en exploitation commerciale en Europe, notamment dans l'industrie minière.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Suivant la technologie employée, baisse des frais d'installation de composition des trains Moindre usure de l'infrastructure grâce à une meilleure répartition des forces longitudinales Meilleure sécurité au travail du personnel de manœuvre Réduction de la tare grâce à une construction optimisée des wagons, d'où une maximisation de la charge utile À traction égale, poids du train supérieur	Nécessité d'une introduction simultanée sur l'ensemble du système pour obtenir un avantage Incompatibilité totale ou partielle des systèmes avec les systèmes actuels Changement complet de système requis	Si les trains s'allongent et si le poids par essieu augmente, l'attelage avec tampon central pourrait contribuer à une hausse de productivité du transport de marchandises. L'effet en TMTA est toutefois minime.

Communication intra-train		
La communication intra-train – à la différence de la télématique de wagon – consiste à saisir, à traiter et à transmettre des données du train. La communication intra-train sert de base technologique à de nombreuses applications, par exemple la saisie automatique de la place des wagons et le calcul de freinage automatique. Elle comprend aussi des processus urgents tels que la commande électropneumatique des freins ou la constatation de l'intégrité du train. Elle requiert des capteurs spéciaux et des moyens de communication sur chaque véhicule de la rame. Alors que la communication intra-train par conduites représente l'état d'avancement de la technique en transport de voyageurs, il n'existe en transport de marchandises que des applications de niche. En transport de marchandises, les premiers essais de systèmes avec communication intra-train sans fil sont en cours. Les synergies avec l'innovation « télématique de wagon » sont considérables, car on peut, dans certains cas, employer les mêmes systèmes.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Divers processus de composition et de conduite des trains sont automatisables et rationalisables. Base technologique par exemple pour l'essai automatique du frein ou le contrôle d'intégrité du train en temps réel Permet l'ETCS Level 3 en transport de marchandises sur les tronçons très fréquentés Réduction du séjour du train dans l'installation de composition des trains Réduction des frais d'enregistrement des données des wagons Moins de travail «sur le terrain» pour la formation des trains Év. réduction de la durée du transport grâce à la rapidité de composition des trains	En règle générale, l'équipement complet de tous les aller wagon d'un train est nécessaire. Difficultés d'introduction dues à l'hétérogénéité du matériel roulant Frais de coordination et d'investissement élevés Nécessité d'un post-équipement complet des wagons Nécessité de former le personnel des locomotives	La communication intra-train bénéficie à l'ensemble du fret ferroviaire. Il n'y a pas lieu de s'attendre à des effets spécifiques en TMTA.

Freins		
En transport de marchandises, on utilise surtout des freins à sabot ou à double sabot, dont la pression s'exerce directement sur la bande des roues. Celles-ci subissent donc une forte sollicitation thermique, la rugosité de la bande augmente de même que le bruit de roulement. On peut réduire ces inconvénients en employant des garnitures de frein d'un autre type. En Suisse, le montage de sabots MS est bien avancé et, depuis juin 2013, les semelles de frein composites LL sont autorisées dans toute l'Europe. Les semelles LL augmentent l'usure de la roue. L'emploi de freins à disques est une solution : ils n'agissent pas sur les surfaces de roulement et leur puissance de freinage est meilleure. Mais il faut pour cela que tous les wagons d'un train soient équipés de freins à disques.		
Potentiel d'efficience	**Entraves à l'introduction**	**Potentiel de report modal du TM transalpin**
Réduction des bruits de roulement grâce à des bandes de roulement plus lisses Moindre usure du rail grâce à des bandes de roulement plus lisses Possibilité d'utiliser év. de meilleurs sillons Possibilité d'améliorer le taux d'utilisation du réseau par réduction de la distance de freinage	Coûts supplémentaires élevés (sabots et garnitures de frein) Freins à sabots : équipement en cours, freins à disques peu répandus en TM Nécessité d'adapter les plans de maintenance	Comme l'utilité de systèmes de freinage perfectionnés bénéficie surtout à l'infrastructure et aux riverains de tronçons ferroviaires exposés au bruit, il n'y a pas de potentiel de transfert immédiat. Toutefois, les freins silencieux augmentent le degré d'acceptation des aménagements de tronçons et des prestations supplémentaires en TMTA.