

20 avril 2016

Efficacité énergétique : la filière ferroviaire mobilise tous ses métiers.

Rapport de la filière ferroviaire en application de la mesure 31f
issue de la table ronde « Transport et mobilité propres »
de la Conférence Environnementale 2014

Lors de la table ronde "Transports et mobilité propres" qui s'est tenue dans le cadre de la conférence environnementale de 2014 du Conseil national de la transition énergétique, un certain nombre de mesures concernant le secteur des transports ont été décidées. La « mesure 31f » prévoit ainsi que « la filière ferroviaire conduira les travaux afin d'améliorer l'efficacité énergétique des matériels roulants, des infrastructures, de leur maintenance, de leur régénération et des systèmes d'exploitation dans les transports ferrés. Les acteurs de la filière produiront une note annuelle sur les travaux mis en œuvre pour améliorer l'efficacité énergétique dans la filière ferroviaire ». C'est l'objet du présent rapport.

La première partie dresse un constat des enjeux et précise les données économiques et environnementales liées à l'enjeu énergétique dans le secteur des transports.

La seconde partie présente les objectifs et les solutions mises en œuvre par la filière en 2015, pour le matériel roulant, l'infrastructure, l'optimisation globale du système et l'incitation au report modal.

Lecture rapide

Les transports ont **un rôle central dans la transition énergétique et la maîtrise des changements climatiques**.

En France, le secteur des transports représentait, en 2011, 32 % de l'énergie finale consommée et 27,6 % des émissions de gaz à effet de serre (132,5 Mt CO_{2eq}¹), ce qui en fait **le premier secteur émetteur**. Dans le monde, le transport est responsable de 22,7% des GES dus à la combustion de carburant². De plus, malgré les évolutions technologiques, les émissions de dioxyde de carbone liées au transport vont s'accroître, en particulier en raison de l'augmentation du niveau de vie dans les pays émergents et en développement, qui va se traduire par une forte croissance de la mobilité. **Ainsi, d'après l'OCDE, les émissions de GES liées au transport pourraient doubler entre 2010 et 2050.**

¹ Source : Synthèse des politiques et mesures d'atténuation du changement climatique, DGEC, 2013.

² Source : Railway Handbook 2014 on Energy consumption and CO2 emissions, UIC, IEA, 2014.

Nous sommes donc confrontés à un défi majeur : faire face à la croissance des besoins de mobilité tout en réduisant globalement les émissions de GES, les consommations d'énergie et les nuisances environnementales. Or **le train est, de loin, le mode de transport (motorisé) qui consomme le moins d'énergie et émet le moins de GES au voyageur-km transporté.**

Développer l'usage du train est donc une nécessité. **Le train jouera un rôle majeur dans le système de transports post-transition énergétique, partout où les flux sont massifiés**, en complémentarité avec les autres modes « doux ». Pour cela il faut inciter les voyageurs et les chargeurs à utiliser le transport ferroviaire. **Cela passe par un effort constant d'amélioration de ses performances, mais cela ne suffira pas : il est nécessaire d'établir une concurrence équitable entre les modes.**

Aujourd'hui l'automobile et le transport routier de marchandises ne payent pas pour les coûts sociétaux (congestion, pollution atmosphérique, émissions de GES) qu'ils engendrent, particulièrement en milieu urbain et périurbain. De même le transport aérien ne supporte aucune taxe sur les carburants qu'il utilise.

Enfin le transport ferroviaire souffre d'un déficit de financement public récurrent, maintes fois démontré, qui affecte en particulier le réseau et entraîne, de plus en plus, une dégradation des performances offertes.

Dans l'attente des évolutions nécessaires des politiques de transports, **l'ensemble de la filière se mobilise** pour rendre le transport ferroviaire encore plus efficient :

- Améliorer la conception des trains ;
- Rétroagir sur les engins déjà construits ;
- Définir et mettre en œuvre des solutions nouvelles pour l'infrastructure et les trains eux-mêmes ;
- Optimiser l'usage du système ferroviaire, pour que l'infrastructure absorbe les trafics de façon plus fluide, et que la régulation du système écrête les besoins énergétiques à trafic égal, et les couvre de façon économe, notamment en récupérant l'énergie.

L'ensemble de ces technologies, dont la note donne des exemples de mises en œuvre concrètes et déjà engagées, rend accessible **une décroissance du besoin énergétique de l'ordre de 20 % à l'horizon 2022.**

La dimension internationale est essentielle de ce point de vue. D'abord parce que le sujet est planétaire. Ensuite parce qu'elle confronte les acteurs français à la diversité des situations, et augmente ainsi leur maîtrise des sujets. Enfin parce qu'elle permet des effets d'échelle sur les développements et les pousse à aller très au-delà de ce que le seul marché français leur permettrait de développer et de mettre en œuvre. Tel est le sens de l'engagement de la filière dans le cadre de la COP21, sans attendre que soient mis en œuvre des mécanismes incitatifs sur l'empreinte carbone qui aujourd'hui n'existent pas encore, mais sont des signaux économiques absolument essentiels.

Fer de France et la filière promeuvent le rôle central de la filière ferroviaire pour assurer la transition énergétique dans les transports, grâce à son bilan carbone maîtrisé, ses faibles émissions par passager, et son faible besoin énergétique. Elle mobilise les autorités organisatrices, les ingénieries et les opérateurs au profit d'un mode de transport ferroviaire toujours plus attractif, en recherchant une intermodalité capable de lever l'obstacle du « dernier kilomètre », et conservant le mode ferré comme colonne vertébrale de la mobilité.

Partie 1- L'enjeu :

Le rail au cœur du combat pour l'efficacité énergétique face au changement climatique

3

1- Le rôle central des transports dans la transition énergétique et la maîtrise des changements climatiques

Le débat de la consommation énergétique et des effets polluants qui en résultent est d'une importance cruciale. Il ne se réduit pas aux seules questions de productions industrielles, agricoles ou énergétiques mais appelle aussi une claire vision de l'importance du rôle des transports dans les émissions de gaz à effet de serre :

- En France, le secteur des transports représentait, en 2011, 32 % de l'énergie finale consommée et 27,6 % des émissions de GES (132,5 Mt CO_{2eq}³), ce qui en fait **le premier secteur émetteur** ;
- Dans le monde, le transport est responsable de 22,7% des GES due à la combustion de carburant⁴.

1.1- Une demande croissante de mobilité.

La demande de mobilité pourrait presque tripler d'ici 2050, augmentant d'autant le coût pour la collectivité des externalités des transports : accidents, bruit, changement climatique, congestion urbaine, pollution de l'air.

Il est estimé que **les émissions de dioxyde de carbone pourraient s'accroître de 104% entre 2010 et 2050, notamment du fait des pays en développement**, en raison de l'augmentation de cette demande de mobilité⁵ :

	Evolution des volumes de transport		Evolution des émissions de GES		
	Voyageurs	Fret	Voyageurs	Fret	Total
OCDE	↗ 54 %	↗ 102 %	↘ 21 %	↗ 36 %	→ 0 %
Hors OCDE	↗ 397 %	↗ 324 %	↗ 267 %	↗ 366 %	↗ 274 %
Monde	↗ 184 %	↗ 228 %	↗ 76 %	↗ 185 %	↗ 104 %

Aujourd'hui, **54% de la population mondiale vit dans les zones urbaines**, une proportion qui devrait passer à 66% en 2050. Ainsi, 5 milliards de citoyens vivront dans une trentaine de mégapoles de plus de 10 millions d'habitants, dont 27 seront des villes du Sud⁶.

³ Source : Synthèse des politiques et mesures d'atténuation du changement climatique, DGEC, 2013.

⁴ Source : Railway Handbook 2014 on Energy consumption and CO2 emissions, UIC, IEA, 2014.

⁵ Source : Perspectives des transports, OCDE, 2013. Scénarios centraux basés sur une croissance faible du PIB d'ici 2050.

Or ce sont **les villes qui poseront à l'avenir les problèmes les plus sérieux à l'humanité** : leur développement nécessitera une politique de lutte contre les gaz à effet de serre et contre la pollution atmosphérique, la remise en question de certains modes de transport du fait de la raréfaction des carburants fossiles, et la prise en compte des changements climatiques et des menaces posées par les fractures sociales et par l'insécurité⁷. Les villes représentent 70 à 80% de la production économique, 80% de la consommation d'énergie et 80% des émissions de gaz à effet de serre⁸.

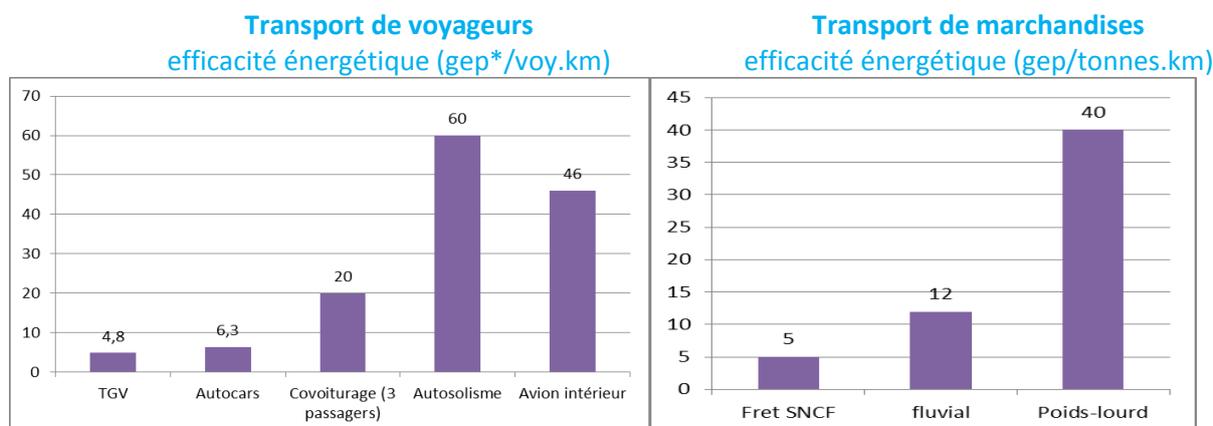
1.2- Face à ce défi, le transport ferré est un atout incomparable.

4

1.2.1- Le train est un moyen de transport économe d'énergie.

La performance énergétique du mode ferroviaire, et donc sa faible production d'émissions polluantes, est « naturellement » excellente. Ceci peut s'expliquer par deux facteurs principaux : d'une part le contact roue-rail qui est peu dissipateur d'énergie, et d'autre part l'effet favorable de la circulation en convoi et la capacité d'emport des mobiles.

Si l'on ajoute à cela l'origine de l'énergie utilisée, notamment en France, qui est électrique pour la majorité des trafics exprimés en unités kilomètre, la consommation d'énergie primaire fossile est particulièrement faible.



Sources : SNCF 2014 et ADEME-Deloitte

*gep : gramme équivalent pétrole

1.2.2- Le train est le champion de la réduction des émissions polluantes.

L'utilisation importante d'électricité pour la traction des trains fait du rail un faible émetteur de gaz à effet de serre (GES) : 78% de la traction ferroviaire nécessaire au transport des voyageurs et 75% de la traction nécessaire au transport des marchandises (90% pour la SNCF) sont en effet électriques. **Le**

⁶ Source : Service des populations du Département des affaires économiques et sociales de l'ONU dans l'édition 2014 du rapport sur les perspectives de l'urbanisation.

⁷ Source : Sénat, Rapport d'information n° 594 (2010-2011) de M. Jean-Pierre SUEUR, fait au nom de la Délégation à la prospective, déposé le 9 juin 2011.

⁸ Source : Index Artelia 2015 des villes durables.

ferroviaire représente en France 1% des émissions totales de gaz à effet de serre, contre 26% pour le transport routier⁹.

En France, le secteur des transports représentait, en 2011, 32 % de l'énergie finale consommée et 27,6 % des émissions de gaz à effet de serre, divisées comme suit par type de transports :

Transports routiers	Transports aériens	Transports fluviaux	Transports ferroviaires
94,8% des GES	3,6% des GES	1,1% des GES	0,4% des GES

A l'échelle européenne, le constat va dans le même sens et c'est le mode de transport ferroviaire qui voit ses émissions de GES baisser le plus sur la dernière décennie (entre 2000 et 2010)¹⁰ :

Transports ferroviaires	Transports aériens	Transports routiers	Transports maritimes
↘ 30% de GES de 10 à 7 Mt CO _{2eq}	↘ 15% de GES De 20 à 17 Mt CO _{2eq}	↗ 2 % de GES de 856 à 877 Mt CO _{2eq}	↗ 6 % de GES de 18 à 19 Mt CO _{2eq}

Même corrigés des effets de volume et de croissance économique, ces chiffres montrent que le transport ferroviaire affiche une performance six fois supérieure à la route en termes de diminution des émissions unitaires de GES¹¹ :

- les émissions unitaires de GES des transports ferroviaires de voyageurs ont diminué de 26% entre 2000 et 2010 contre une diminution de 5% pour les transports routiers de voyageurs,
- les émissions unitaires de GES des transports ferroviaires de marchandises ont diminué de 18% entre 2000 et 2010 contre une augmentation de 1% pour les transports routiers de marchandises.

Ce constat est vrai quel que soit le type de trajet :

- Dans les transports du quotidien et les transports de courte distance, hors mobilités actives, les solutions offertes par les transports collectifs et particulièrement les modes ferrés, sont les plus efficaces en termes d'émission par passager¹² :

Voiture		Bus		Tramway	Métro	Train		
Urbain	Périurbain	Urbain	Périurbain			Banlieue	Régional	
147 gCO _{2eq}	161 gCO _{2eq}	101 gCO _{2eq}	171 gCO _{2eq}	3,7 gCO _{2eq}	3,9 gCO _{2eq}	6,2 gCO _{2eq}	30,7 gCO _{2eq}	Mix énergie français
Sans passager : 205 gCO _{2eq}				10 gCO _{2eq}	14 gCO _{2eq}	20 gCO _{2eq}		Mix énergie mondial

Le train reste même plus compétitif que la voiture électrique dont les émissions dépendent du mix énergétique : 20 gCO_{2eq} en France, 50 gCO_{2eq} en moyenne en Europe, 75 gCO_{2eq} aux Etats-Unis¹³.

⁹ Source : Synthèse des politiques et mesures d'atténuation du changement climatique, DGEC, 2013.

¹⁰ Source : Chiffres clés du climat, 2015.

¹¹ Source : Chiffres clés du climat, 2015 et Eurostat, 2015.

¹² Source : Données SNCF, 2014 et calculatrice ADEME pour le mix énergétique non France, 2014.

¹³ Source : Bilans GES et énergétiques du puits à la roue du véhicule électrique, IFPEN 2009.

- Dans les transports de moyenne distance, le classement est le même : le transport ferroviaire est également le plus efficace en termes d'émission de GES par passager¹⁴ :

Voiture	Autocar	Train		Avion		
		Intercités	Grande vitesse	Intérieur	Long courrier	
89 gCO _{2eq}	41,7 gCO _{2eq}	11,9 gCO _{2eq}	3,4 gCO _{2eq}	168 gCO _{2eq}	360 gCO _{2eq}	Mix énergie français
Sans passager : 205 gCO _{2eq}		20 gCO _{2eq}				

6

- Enfin s'agissant des transports de marchandises, le transport ferroviaire est également le plus efficace en termes d'émission de GES par tonne transportée¹⁵ :

Routier		Ferroviaire	Fluvial	
Urbain	Interurbain			
193,6 gCO _{2eq}	108,5 gCO _{2eq}	16,6 gCO _{2eq}	28,75 gCO _{2eq}	Mix énergie français

1.2.3- Au-delà de l'énergie, le coût d'usage et les externalités.

Appréhender la compétitivité relative des modes de transport, et l'enjeu sociétal qui en résulte nécessite d'aller au-delà de la seule consommation énergétique et de s'interroger sur les conséquences des choix qui pousseraient, à partir de seules considérations énergétiques, à favoriser un report modal d'un mode sur l'autre.

Cette question suppose de modéliser le coût d'usage des modes¹⁶, le coût complet incluant les infrastructures utilisées, et de valoriser également les externalités négatives des modes de transport. Ceci est repris dans les tableaux ci-après,

Par voyageur	Voiture			Transport urbain	Autocar	Train			Avion
	Urbain	Péri urbain	Seul			Régional	Inter cités	TGV	
Cout d'usage	27 c€/km	19 c€/km	24 c€/km	12 c€/km	7 c€/km	8 c€/km	9 c€/km	11 c€/km	12c€/km
Coûts complet	32 c€/km	23 c€/km	29 c€/km	20 c€/km	9 c€/km	20 c€/km	15 c€/km	12 c€/km	15c€/km
coût sociétal	40 c€/km	31 c€/km	37 c€/km	25 c€/km	14 c€/km	23 c€/km	18 c€/km	15 c€/km	20 €/km

¹⁴ Source : Données SNCF, 2014 et calculatrice ADEME pour le mix énergétique non France, 2014.

¹⁵ Source : TK'Blue Agency.

¹⁶ Source : Coût d'usage fourni par l'étude de Jean-Marie Beauvais Consultants pour la FNAUT (2013), taux de couverture CERTU, SéTRA (2003) pour la route, étude annuel GART/UTP (2015) pour le transport urbain et rapport Bianco (2013) pour l'exploitation ferroviaire.

- **Le coût d'usage** est celui payé par l'utilisateur
- **Le coût complet** intègre le coût de l'infrastructure et les subventions
- Le coût complet et sociétal intègre en outre le coût des externalités.

Les externalités¹⁷ liées aux transports sont près de trois fois moins importantes pour le ferroviaire par rapport aux autres modes. Ainsi, en cumulant le coût d'usage, le coût complet, et le coût des externalités, **le train est le mode de transport le plus efficace** dans l'écosystème des déplacements courtes distances (par rapport à la voiture, l'autocar) et des déplacements moyennes distances (par rapport à l'avion notamment) comme en témoignent les données du tableau ci-dessous.

Sont pris en compte dans ce calcul d'externalités :

- l'accidentologie : coûts des assurances, des soins médicaux, de l'estimation de la douleur,
- le bruit : coût d'opportunité de la valeur immobilière, santé humaine pour une exposition supérieure à 55dB,
- le changement climatique : coût d'opportunité lié à la prise en compte du marché carbone,
- la compensation : coût de compensation de l'impact des infrastructures sur les paysages,
- la congestion : coûts d'opportunité et monétaires des temps perdus,
- les effets urbains : coûts d'opportunité de la rareté dans les zones urbaines,
- la pollution de l'air : coût de la pollution atmosphérique sur la santé humaine, les matériaux et la biosphère,
- les processus amont/aval dans la chaîne de l'énergie : coûts basés sur la consommation d'énergie, des coûts supplémentaires pour précombustion, la production et la maintenance de matériel roulant et l'infrastructure.

	Routier		Ferroviaire	Aérien
	Voiture particulière	Autocar		
<i>Accidents</i>	3,09 c€/km	0,24 c€/km	0,08 c€/km	0,04 c€/km
<i>Bruit</i>	0,52 c€/km	0,13 c€/km	0,39 c€/km	0,18 c€/km
<i>Changement climatique</i>	1,76 c€/km	0,83 c€/km	0,62 c€/km	4,62 c€/km
<i>Compensations des espaces</i>	0,23 c€/km	0,07 c€/km	0,06 c€/km	0,08 c€/km
<i>Congestion</i>	0,5 c€/km	1,6 c€/km	0,1 c€/km	
<i>Effets urbains</i>	0,16 c€/km	0,04 c€/km	0,13 c€/km	
<i>Pollution de l'air</i>	1,27 c€/km	2,07 c€/km	0,69 c€/km	0,24 c€/km
<i>Processus amont/aval</i>	0,52 c€/km	0,39 c€/km	0,34 c€/km	0,1 c€/km
<i>Total</i>	8,05 c€/km	5,37 c€/km	2,97 c€/km	5,26 c€/km

¹⁷ Source : Handbook on estimation of external costs in the transport sector (2008-2014), Commission Européenne

2- Doit-on modérer le développement du ferroviaire ? Assurément non.

2.1- Infrastructures: les choix sont devant nous.

Dans un scénario au fil de l'eau, et sans développement des transports publics, l'augmentation de la demande de mobilité devrait se traduire par une **augmentation de 60% de la longueur des réseaux routiers et ferroviaires d'ici 2050** (par rapport à 2010)²⁰ c'est-à-dire, à l'échelle mondiale :

- 69 millions de km de routes (contre 44 millions de km en 2010),
- entre 80000 km² et 110 000 km² de parkings (contre 30000 km² en 2010),
- 27000 km de BRT (contre 2500 km en 2010),
- 1,3 million de km de voies ferrées (contre 1 million de km en 2010),
- 43000 km de lignes à grande vitesse (contre 14000 km en 2010).

Le développement des seules nouvelles infrastructures routières nécessiterait un accroissement de surface entre 250000 km² et 350000 km², **soit une superficie de l'ordre de celle du Royaume-Uni.**

Les **coûts de ces infrastructures sont estimés à 45000 milliards de dollars d'ici 2050 pour leur coûts de construction et à 75000 milliards de dollars pour leurs coûts d'opération et de maintenance**, soit 2% du PIB mondial.

- 75000 milliards de dollars pour la route : soit 1500 milliards dollars d'investissements (construction et rénovation) et 650 milliards de coûts de maintenance chaque année,
- 33600 milliards de dollars pour les parkings,
- 48 milliards de dollars pour les BRT: soit 1,2 milliards dollars d'investissement et de maintenance chaque année,
- 6400 milliards de dollars pour le rail conventionnel,
- 1400 milliards de dollars pour les lignes à grande vitesse.

Enfin, la question du bilan carbone des infrastructures ferroviaires est parfois mise en avant par ses détracteurs qui soulignent qu'en termes d'empreintes carbone, la construction d'une infrastructure ferroviaire à un impact évalué entre 1 et 25 gCO_{2eq} par passager.kilomètre ou tonne.kilomètre. Une modélisation effectuée entre Marseille et Valence démontre en effet que cet impact est entre 14 et 16 fois inférieur pour les infrastructures routières et aéroportuaires (4,3 gCO_{2eq}, contre 0,7 et 0,3).

Mais cet impact est compensé en termes de matériel roulant, la construction d'une voiture ayant sur les mêmes bases une empreinte 20 fois plus importante qu'un train, sans prendre en compte les données d'émission en circulation²¹.

2.2- La voitures électrique : oui, mais...

Les émissions du train et de la voiture électrique dépendent du mix énergétique. Mais l'énergie nécessaire pour déplacer un individu reste moindre pour le train, d'abord parce que déplacer une tonne sur le contact pneumatique-asphalte est intrinsèquement consommateur, mais aussi notamment grâce à l'effet du nombre de voyageurs transportés :

²⁰ Source : *Estimating road and railway infrastructure capacity and costs to 2050*, IEA, 2014.

²¹ Source : *Carbon footprint of HSR*, Tuchsmid, UIC, 2011.

- **les émissions de la voiture conventionnelle sont plus de dix fois plus importantes que les transports collectifs.** La voiture conventionnelle sans passer à bord émet en moyenne 205 gCO_{2eq} par kilomètre (ainsi que 147 gCO_{2eq} en urbain et 161 gCO_{2eq} en périurbain en fonction du nombre de moyen de passagers), contre entre 10 et 20 gCO_{2eq} pour les transports ferroviaires urbains et régionaux,
- **les émissions de la voiture électrique sont plus importantes que les transports collectifs**, en raison de la source d'énergie primaire, dépendante du mix énergétique mondial et du coût de diffusion. La voiture électrique émet en moyenne par passager au kilomètre 50 gCO_{2eq} en Europe et 75 gCO_{2eq} aux Etats-Unis.

Il faut ici rappeler la valeur absolue de l'écart qui résulte de ce qui précède : en moyenne en France, **le train représente 10 % du trafic voyageurs et marchandises pour seulement 1 % des émissions de CO₂ des transports.**

Enfin, en termes de développement économique, comme le démontrent les classements internationaux des villes durables, **plus une zone urbaine est durable et plus la qualité de vie y est élevée, plus sa prospérité est importante et moins elle génère d'émissions de gaz à effet de serre par habitant**²². Les performances économiques des grandes mégalo-poles sont liées à leurs niveaux d'infrastructures de transport (ferroviaire, aérien, autre transport public et temps de trajet), la facilité de conduite des affaires, l'importance de la ville par rapport aux réseaux économiques mondiaux, les coûts de la propriété et de la vie, le PIB par habitant et l'efficacité énergétique.

oOo

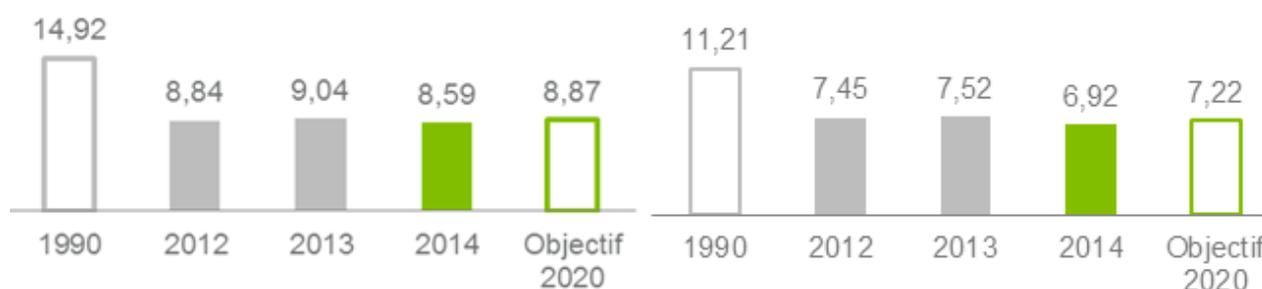
²² Source : *Index des villes durables 2015 d'Arcadis.*

Partie 2- Les preuves de l'engagement : La filière ferroviaire française mobilise toute sa chaîne de valeur.

10

1. Améliorer la bonne performance du rail par un surcroît d'innovation

Au cours des 25 dernières années la performance énergétique du rail s'est constamment améliorée grâce à des efforts sur l'efficacité de la production ferroviaire (notamment fret) et à l'importante augmentation des trafics voyageurs. Le schéma ci-dessous montre l'amélioration de la performance CO₂ des mobilités voyageurs et marchandises par SNCF depuis 1990, qui a permis de respecter dès 2014 les engagements 2020 pris au niveau européen par la profession (UIC-CER) :



Évolution des émissions de CO₂ par voy.km / Évolution des émissions de CO₂ par tonne.km

1.1- Aller plus loin : une ambition de haut niveau

En pointe dans l'engagement des acteurs de la société civile dans la lutte contre le changement climatique, les principaux acteurs de la filière se sont donné des objectifs ambitieux. A titre d'exemple, SNCF et Alstom, deux majors de la filière française, envisagent de réduire :

- leurs consommations énergétiques de 20% entre 2013 et 2022
- et leurs émissions de CO₂ de 20% entre 2014 et 2025.

1.2- Une nécessité : mobiliser tous les métiers.

La filière ferroviaire engage résolument un faisceau d'initiatives dans tous ses métiers. Il n'y a pas d'alternative à cette mobilisation globale si l'on veut atteindre les objectifs.

Les champs ci-dessous sont donc abordés :

- **Mise en œuvre au plus tôt d'innovations matures dans les projets de matériels neufs ou les rénovations de matériels anciens** : nouveaux matériels plus sobres, partenariats pour des matériels du futur plus légers ou plus innovants,
- **Développements technologiques** : lancement de programmes de R&D et d'innovation sur l'efficacité énergétique du système ferroviaire et des trains,
- **Optimisation des principes d'exploitation** : investissements massifs en compteurs électriques, programmes d'éco-conduite et d'éco-stationnement, moindre recours à la traction thermique pour le fret.

2. Améliorer la performance énergétique du matériel roulant actuel et futur.

L'accroissement de l'efficacité énergétique du matériel roulant repose sur la modernisation du parc existant, la recherche et développement pour le parc futur, et une meilleure connaissance de ses consommations énergétiques.

2.1- Modernisation des matériels.

2.1.1- *Cahier des charges et réponse technique : un progrès continu.*

La SNCF a intégré une amélioration constante des critères de développement durable dans ses cahiers des charges des matériels roulants au cours des dix dernières années. Les trains récents sont ainsi plus capacitaires, moins gourmands en énergie, tout en étant plus confortables (climatisation, informations à bord, accessibilité).

Pour satisfaire à ce besoin d'amélioration de l'efficacité énergétique, les constructeurs de trains, principalement en France Alstom et Bombardier, mais aussi les opérateurs comme la SNCF et la RATP développent des solutions qui visent sur tout le cycle de vie :

- **la réduction de la masse**, par l'utilisation de matériaux composites et la re-conception de pièces ; le projet européen ULTIMAT, coordonné par Alstom, EADS, Arcelor et Stratiforme, a ainsi pour objectif une diminution de la masse des matériels roulants de l'ordre de 20% ;
- **l'optimisation de l'aérodynamisme** ;
- **une meilleure efficacité des systèmes de traction électrique ou diesel** (moteurs à aimants permanents, système de pilotage des blocs-moteur optimisé, nouvelles chaînes de traction, auxiliaires de traction performants) ; les matériels roulants achetés sont systématiquement équipés d'une gestion électronique de la puissance motrice et de la récupération de l'énergie de freinage ;
- **des équipements auxiliaires de confort à faible consommation et à régulation optimisée** (éclairage, chauffage et conditionnement de l'air) comme l'amélioration de l'énergie consommée pour le conditionnement d'air par modulation de l'apport d'air neuf à réchauffer ou à refroidir en fonction du taux d'occupation de la rame, l'élargissement des consignes de régulation de température lorsque la rame n'est pas en service commercial, la fermeture temporisée des portes d'accès, ou encore l'éclairage à faible consommation ;
- **l'amélioration du freinage électrique** incluant le freinage électrique jusqu'à l'arrêt complet ;
- **les solutions de stockage de l'énergie** ;
- **des modes de veille optimisés.**

De façon générale, les trains livrés aujourd'hui sont jusqu'à **20% plus efficaces** que les générations précédentes.

L'intégration d'outils d'assistance au conducteur adresse directement la question de la réduction de la consommation d'énergie et des coûts de maintenance tout en améliorant la ponctualité et la sécurité. Ce point sera abordé au paragraphe 4.

2.1.2- *Rétroagir sur les matériels existants.*

Les activités de rénovation des trains anciens visent aussi à améliorer la performance énergétique dans les principaux sous-systèmes consommateurs tels que la traction, l'éclairage, le chauffage et la ventilation ou la récupération d'énergie de freinage. Les solutions techniques à maturité sont donc intégrées par les ingénieries de la SNCF, de la RATP ou des constructeurs dès lors que le bilan est favorable : éclairages à LED, système « stop and go » pour l'arrêt des moteurs diesel, évolutions de la régulation des auxiliaires, etc.

Les constructeurs formulent continûment des propositions en ce sens. A titre d'exemple, pour rénover la flotte existante et réduire la consommation d'énergie, ALSTOM Transport a développé une gamme complète de services pour l'efficacité énergétique qui comprend des solutions de « cartographie énergétique », ce qui permet de déterminer les principaux usages de l'énergie pour identifier des écarts et proposer des améliorations, la mise en œuvre d'outils d'éco-conduite, ainsi que des solutions de stockage.

Enfin, pour les TGV, la SNCF a développé la réduction des consommations d'énergies des rames en stationnement. Il s'agit d'un système mis en place sur les rames qui permet, grâce à un positionnement GPS et selon certaines conditions de temps d'arrêt et de conditions météorologiques, de réduire automatiquement la consommation des rames lorsque celles-ci pénètrent dans les zones de stationnement ou de maintenance (par exemple, pilotage des consignes de régulation des températures du conditionnement d'air). Une centaine de rames, de type TGV Atlantique, ont été équipées entre 2014 et 2015. Les études sont en cours pour le déploiement de ce système d'éco-stationnement sur les autres séries TGV.

2.1.3- *Quelques exemples effectifs.*

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples concrets de matériels roulants neufs ou rénovés bénéficiant de systèmes ou équipements améliorant leur efficacité énergétique :

TER Coradia Régionalis (SNCF / Alstom) et Régio2N (SNCF / Bombardier)	Le renforcement des exigences a permis d'obtenir sur les derniers matériels TER Coradia Régionalis et Régio2N en cours de livraison aux Régions depuis 2014, un ensemble de dispositions technologiques améliorant leur efficacité énergétique : un meilleur rendement des chaînes de traction (moteurs à aimants permanents), une résistance à l'avancement réduite (aérodynamisme accru), une récupération d'énergie au freinage renforcée, un mode éco stoppant les consommateurs non utiles (transformateurs, moteurs thermiques), un système de ventilation ajustable et un système de comptage de la consommation d'énergie. Baisse de 10 à 15% de la consommation énergétique atteinte grâce au renouvellement des flottes.
Tramway Citadis X05 (Alstom)	Les nouveaux Tramway Citadis X05 bénéficient d'une chaîne de traction optimisée avec l'utilisation de moteurs à aimants permanents ainsi que d'un nouveau mode de gestion de l'énergie permettant une consommation énergétique plus faible et des coûts d'exploitation réduits.

EURODUPLEX™ (SNCF/Alstom)	L'EURODUPLEX™ est le seul train à très grande vitesse à deux niveaux dans le monde. Il est considérablement plus léger que ses concurrents. Il additionne l'effet de baisse de la consommation intrinsèque à l'augmentation de la capacité d'emport. La consommation à la place est 20% plus faible que celle des trains à un seul niveau et il peut transporter 20 à 40% de passagers supplémentaires.
MP14 (RATP / Alstom)	Le métro sur pneus MP14 de dernière génération pour équiper le réseau de Paris a été conçu pour maximiser l'efficacité opérationnelle et réduire l'empreinte environnementale. Son freinage 100% électrique récupère l'énergie et la réinjecte sous forme d'électricité dans le réseau, limitant ainsi l'émission des particules fines provenant des plaquettes de frein. Ce système contribue à réduire la pollution de l'air et jusqu'à 20% la consommation énergétique des rames.
RER A (RATP / Alstom / Bombardier)	Depuis 2013, d'importants efforts de modernisation du parc de matériels roulants sont engagés par la RATP : le remplacement progressif du matériel de la ligne A du RER par de nouveaux trains permet d'obtenir un gain de consommation d'énergie de 20% à 55% en fonction des matériels remplacés.
MF01 (RATP / ALSTOM-BOMBARDIER/AnsaldoSTS/AREVA)	La mise en service du nouveau matériel roulant MF01 sur les lignes 2, 5 et 9 génère une économie d'énergie de l'ordre de 30% par rapport aux anciens matériels. Les relevés effectués, sur les lignes 2 et 5, confirment cette baisse de consommation. A production égale (VK ou Voiture.Kilomètre) par rapport aux anciens matériels, la baisse de consommation s'élève à près de 25% pour la ligne 5 et 35% pour la ligne 2. Le déploiement est en cours sur la ligne 9. <i>Les écarts constatés s'expliquent par des différences de profil de ligne, la longueur des inter-stations et les charges voyageurs.</i>
Y 9000 (matériel ancien rénové / SNCF)	Afin de réduire les consommations d'énergie des locomotives de maintenance de l'infrastructure, SNCF Réseau a déployé le système « stop & start » sur la série de locotracteurs Y 9000 (coupure et démarrage automatiques du moteur lors des phases d'arrêt et de reprise du véhicule) et exige désormais cette fonctionnalité dans ses spécifications standards (intégration dans le cahier des charges générique) pour les projets neufs. L'effet positif sur la santé des employés des chantiers s'ajoute à l'effet d'économie d'énergie

2.2- Recherche et développement pour les matériels roulants futurs.

La filière veut renforcer un des avantages déterminants du train : sa faible consommation énergétique. Elle entend conserver cet avantage vis-à-vis des autres modes, de façon à proposer des voies pérennes de mobilités, face à une demande internationale en forte croissance. L'enjeu est donc bien mondial, même si le marché français doit demeurer le premier à pouvoir bénéficier d'innovations en ce sens.

La R&D a l'objectif d'accroître l'efficacité énergétique des matériels roulants futurs en portant à maturité des approches nouvelles. De nombreuses technologies innovantes sont actuellement en phase de test sur des matériels en service commercial. Le tableau suivant présente les principales technologies :

Technologie innovante de climatisation	Depuis l'été 2015 et pour 2 ans, une rame AGC exploitée pour le compte de la Région Midi-Pyrénées	Cette rame est équipée d'une technologie innovante de climatisation proposée par LIEBHERR. Issu de l'industrie aéronautique, le système à turbine utilise l'air comme fluide frigorigène au lieu des gaz fluorés habituellement employés, à fort pouvoir de réchauffement climatique. Ce dispositif devrait permettre une diminution des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie.
---	---	---

Technologie innovante de conditionnement d'air	Depuis l'été 2015 également, une rame Régiolis exploitée pour le compte de la Région Alsace	Cette rame est équipée d'une nouvelle technologie de conditionnement d'air proposée par ALSTOM et fabriquée par ThermoKing. Le système, basé sur une pompe à chaleur associée à une régulation innovante, pourrait permettre de réduire la consommation d'énergie annuelle du système « chauffage, ventilation, froid » de 30%, comme semblent l'indiquer les premières mesures.
CPL : Système de transfert de chaleur à très haute performance (Capillarity Pump Loop : boucles fluides diphasiques à pompage capillaire)	Un système a été testé pendant 2 ans par la RATP sur les métros MP05 (ligne 1)	Pour le refroidissement des chaînes de traction, ces équipements CPL peuvent être installés sur tous les types de trains en remplacement des systèmes de refroidissement classiques (ex : ventilateurs, pompes). Cette technologie ne consomme pas d'énergie, est silencieuse, compacte et nécessite très peu d'entretien. La solution a été développée par Calyos, partenaire d'ALSTOM Transport spécialisé dans l'application de cette technologie pour l'industrie spatiale et adapté pour le ferroviaire par l'équipe du site ALSTOM Transport de Tarbes en collaboration avec la RATP.
Utilisation du carbure de silicium dans le convertisseur auxiliaire du train	Une démonstration commerciale a eu lieu fin 2014 sur la ligne 3 du métro de Milan en coopération avec ATM (Azienda Trasporti Milanese S.p.A) et dans le cadre du programme européen Osiris.	Les convertisseurs auxiliaires, éléments clé de la conversion d'énergie, permettent d'alimenter les équipements essentiels des trains (climatisation passagers et conducteur, chargeur de batteries, ventilations, éclairage passagers, panneaux d'informations...). Alstom a développé un nouveau convertisseur auxiliaire permettant un refroidissement entièrement naturel et exploitant les performances techniques des semi-conducteurs de technologie carbure de silicium. Ce nouveau convertisseur auxiliaire est à la fois plus compact et de rendement plus élevé. La démonstration commerciale à Milan a démontré une masse de l'équipement divisée par 2, un volume réduit d'un tiers, une économie d'énergie réelle supérieure à 5% et un fonctionnement silencieux.
Train à zéro émission	Deux prototypes seront testés en 2018.	En 2014, ALSTOM Transport a signé une lettre d'intention avec les Länder allemands de Hesse, Basse-Saxe, de Rhénanie-Du-Nord-Westphalie, de Bade-Wurtemberg, et avec la Région de Calw, en vue de l'utilisation d'une nouvelle génération de trains à zéro émission, équipés d'une motorisation par pile à combustible. Le nouveau train sera issu de la gamme CORADIA™, le train régional d'ALSTOM Transport. Il ne produira aucune émission et le niveau de bruit sera radicalement réduit. De plus, grâce à un système de stockage, ainsi qu'à un système intelligent de gestion de l'énergie, le nouveau train consommera moins d'énergie qu'une rame diesel conventionnelle.
Hybridation des matériels roulants	Une dizaine de trains régionaux circulant en Alsace et Midi-Pyrénées	Des études menées par la SNCF sont en cours concernant l'optimisation de l'hybridation des matériels roulants : mesures, simulations numériques, études techniques. Les mesures effectuées en 2015 sur une dizaine de trains régionaux circulant en Alsace et Midi-Pyrénées ont montré que 30% de l'énergie produite par les moteurs thermiques ou captée à la caténaire 1500V étaient dissipés sous forme de chaleur dans des rhéostats lors des phases de freinage par absence de dispositif récupératif. Une démarche de conception innovante, intitulée « LAB ÉNERGIES TER », a été organisée au premier semestre 2015 pour établir un dialogue ouvert sur le sujet de l'énergie et du

		transport régional avec les acteurs de SNCF, d'ALSTOM et du Conseil Régional Alsace intéressés par les enjeux énergétiques des transports. Ce LAB a permis de générer de multiples idées innovantes pour utiliser la quantité d'énergie stockée à bord d'un train hybride. Ces pistes sont en cours de sélection avec des régions intéressées. La finalité d'usage de l'énergie stockée à bord conditionnera le choix technologique de l'équipement. Il sera alors possible d'identifier l'atteinte des différentes performances techniques et économiques attendues qu'apportera un train hybride, puis de lancer un projet de réalisation d'un démonstrateur échelle 1 préalable à l'industrialisation à moyen terme de cette innovation sur le parc actuel et futur.
--	--	---

Un des terrains d'implémentation de telles technologies sera le programme TGV du Futur, proposé par ALSTOM Transport et ses partenaires de la filière ferroviaire française (ADEME). L'objectif visé consiste à permettre des économies d'énergie allant jusqu'à -35% par passager par rapport aux TGV actuels grâce à :

- la réduction de la masse via l'utilisation de nouveaux matériaux ;
- l'optimisation de la résistance à l'avancement à très grande vitesse (design de motrice plus aérodynamique et innovant ; carénages de toiture motrice, etc) ;
- l'utilisation de nouveaux composants électroniques à base de carbure de silicium.

2.3- Procédés de fabrication : diminuer l'énergie pour produire... et pour démanteler.

Les acteurs industriels français sont mobilisés sur l'amélioration de leurs procédés de fabrication et de maintenance, eux même soumis à des objectifs de décroissance du besoin énergétique.

Favorisant le développement de l'économie circulaire, les matériaux utilisés pour la conception des trains Alstom sont recyclables à 90% et récupérables à 97% (incluant la récupération d'énergie). L'objectif est d'en améliorer la recyclabilité et coût de fin de vie du matériel.

3- Améliorer la performance intrinsèque des infrastructures et des gares.

Plusieurs éléments des infrastructures peuvent être conçus de manière à permettre des économies d'énergie. Actuellement, des solutions innovantes sont notamment développées par les industriels et les exploitants.

3.1- Réversibilité des sous-stations.

Une meilleure efficacité énergétique peut être atteinte par l'amélioration de la réversibilité des sous-stations électriques d'alimentation d'un réseau ferroviaire, la réversibilité étant la fonction qui leur permet de récupérer l'énergie dissipée par les trains.

Ainsi, ALSTOM Transport a développé la sous-station réversible HESOP™ pour les réseaux urbains et suburbains permettant de réaliser des économies significatives en opération. En effet cet équipement permet de réinjecter dans le réseau la quasi-totalité de l'énergie électrique susceptible d'être récupérée sur les trains équipés d'un système de freinage renvoyant l'énergie dissipée sous forme d'énergie électrique produite. La solution HESOP™ optimise le système d'alimentation en plusieurs points

- Elle recycle une partie de l'énergie et diminue la consommation globale.
- Elle offre la possibilité de réduire le nombre total de sous-stations électriques pour une ligne jusqu'à 20%.
- Elle permet également de limiter la dispersion de chaleur pour les opérations souterraines et réduit donc également les besoins de ventilation associés. A ce jour, les convertisseurs HESOP ont été commandés ou livrés, comme pour le tramway T1 de Paris en service depuis Juillet 2011).

La sous-station électrique réversible est également développée pour la Victoria Line du métro de Londres. Ainsi, avec sa solution de métro Axonis, Alstom évalue les économies d'énergie de 30 à 40 % par rapport à un système traditionnel, notamment par l'utilisation des sous-stations de récupération d'énergie.

Citons enfin le programme de recherche IP3 (Innovation program 3) "*Cost efficient and reliable high capacity infrastructure*" de Shift²Rail, programme européen d'innovation et de recherche ferroviaire, en cours de démarrage. Ce programme comporte une composante efficacité énergétique importante pour la partie infrastructure traitant entre autres de l'amélioration de la réversibilité des sous-stations et de la valorisation de cette fonction, ainsi que du développement d'installations fixes intelligentes permettant d'adapter automatiquement l'alimentation en énergie au besoin réel.

3.2- Autres voies de récupération de l'énergie.

La RATP travaille à renforcer les opportunités de valorisation énergétique sur le réseau. Parmi les exemples de projets engagés, on peut citer :

- une expérimentation visant la récupération de la chaleur du métro afin d'alimenter en énergie des logements situés à proximité d'une station ;
- la récupération de l'énergie du sol par l'installation d'un système de captage géothermique au sein de parois moulées dans le cadre des travaux de prolongement de la ligne 14.

3.3- Eco-conception.

La RATP s'est dotée d'un référentiel développement durable qui est systématiquement appliqué pour les opérations de conception dans le cadre du développement du réseau ferroviaire, métro et tramways. Ce référentiel comprend des exigences relatives à la sobriété et à l'efficacité énergétiques des infrastructures.

3.4- Déploiement de LED pour les gares et les stations.

La RATP a engagé un vaste programme de « *relamping* » à LED de l'ensemble des gares et stations du réseau de transports RER et métros d'Ile-de-France. Ce programme prévoit le déploiement de 50 millions de LED pour remplacer et recycler les 250 000 points lumineux des 369 gares et stations.

Engagé en 2013, le programme a été finalisé au 1er trimestre 2016. Il doit permettre une réduction de 50% de la consommation d'énergie nécessaire à l'éclairage des espaces voyageurs du métro et du RER et une réduction également de 50% des émissions de gaz à effet de serre associées. A terme, cela représente une économie de plus de 77 GWh par an.

3.5- Utilisation de nouveaux matériaux.

Le projet APMC (Armement Caténaire en Matériaux Composites), coordonné par SNCF Réseau et Stratiforme a conduit au développement d'une caténaire composite, diminuant de moitié les composants nécessaires à l'armement d'une caténaire.

4. Améliorer la performance énergétique du système.

Ce qui précède a montré les efforts soutenus en matière de performance technologique, au service de la baisse de consommation énergétique intrinsèque des matériels ou de l'infrastructure.

L'expérience d'autres secteurs, en particulier les autres industries de réseau ou l'aéronautique, ou les initiatives d'autres pays comme la Suisse, montrent que des progrès significatifs sont obtenus en gérant plus intelligemment les trafics et en fluidifiant leur écoulement dans les zones denses ce qui permet de limiter les consommations et les déperditions (moins de freinages et de reprises d'accélération).

L'analyse ne doit donc pas être limitée à la consommation individuelle d'un train, ou à la performance intrinsèque des composants d'infrastructure, mais bien examiner le bilan global du fonctionnement du système incluant la recherche du rendement optimal de l'infrastructure, que seul le gestionnaire du réseau peut évaluer.

4.1- Mesurer les consommations énergétiques.

Dans une telle approche, l'amélioration de l'efficacité énergétique du système suppose d'abord de caractériser la consommation énergétique, et appelle donc le déploiement de méthodes et outils de mesure énergétique et de la demande d'énergie.

Avec environ 500M€, l'énergie électrique de traction représente 40% de la facture énergétique annuelle totale du groupe SNCF et plus de 80% de sa facture énergétique de traction. Par conséquent, un processus global de mesure de l'énergie électrique a été mis en place par la SNCF :

<p>Programme pluriannuel d'équipement des matériels roulants en compteurs d'énergie électrique</p>	<p>Un programme pluriannuel d'équipement des matériels roulants en compteurs d'énergie électrique a été initié par la SNCF en 2013. La première phase de ce programme, qui a débuté en 2015, consiste à équiper l'ensemble de la flotte TGV (plus de 300 rames) d'ici à 2020. La deuxième phase, qui est en cours d'appel d'offres, a pour objectif d'équiper les trains de fret, les rames Transilien et les rames TER. Il convient de souligner que le déploiement des compteurs pour les activités subventionnées doit se traduire au préalable par des accords techniques et financiers avec les autorités organisatrices.</p>
---	---

Campagnes de mesures de consommations d'énergie	Des campagnes de mesures inédites de consommations d'énergie ont été lancées et analysées par la SNCF en 2015 sur matériels TGV et TER. 200 paramètres ont été mesurés pendant plusieurs mois et les centaines de millions de données collectées sur des dizaines de milliers de kilomètres parcourus ont permis de développer une vision complète des postes de consommation des matériels roulant en conditions réelles d'exploitation et d'identifier des postes de réduction des consommations. Une campagne de mesure similaire sera engagée en 2016 sur matériel TRANSILIEN. Les données ont permis d'une part d'améliorer la fiabilité des modèles de simulation de la consommation d'énergie de traction et d'autre part d'alimenter un outil innovant de simulation de la consommation du conditionnement d'air. Ce nouvel outil couple plusieurs modèles (technologies, conditions météorologies, conditions d'exploitation, prix de l'énergie) et permet de calculer une consommation annuelle pour fournir des données fiables de retour sur investissement de solutions d'économie d'énergie.
Système d'Information des Economies d'Energie de Traction (SI EET)	Par ailleurs, ce programme inclut la mise en place de systèmes d'information permettant la collecte et le traitement des données de consommation . En 2015, le Système d'Information des Economies d'Energie de Traction (SI EET) a été mis en place. Il permet, d'une part, de croiser les données de consommations, qui lui sont envoyées par la plateforme de télérelève, avec les données de circulations ; chaque trajet est donc associé à une consommation d'énergie et des indicateurs de performance vont être mis en place. Enfin, ce système fournit les éléments nécessaires au déploiement de la facturation réaliste des activités (celles-ci étaient jusqu'à présent facturées selon des modèles de calcul théoriques). Ce programme de mise sous contrôle des consommations d'énergie de traction du parc SNCF va améliorer l'efficacité du pilotage des projets d'économies d'énergie par : <ul style="list-style-type: none"> - une meilleure estimation des gains potentiels de chaque projet ; - une communication objective basée sur des chiffres en volumes et en montant incontestables ; - un pilotage par le résultat.
Expérimentation du comptage d'énergie thermique	Des études sont également en cours à la SNCF afin de mettre en place un système de mesure et d'analyse des consommations thermiques , pour les matériels – principalement TER et FRET – roulant au gasoil non routier.
Mesure et cartographie des consommations	Une méthode innovante de mesure et de cartographie des consommations a été expérimentée puis déployée en collaboration avec une startup dans plusieurs gares en 2015. La connaissance des consommations est une étape nécessaire pour investiguer les pistes d'économies d'énergie. L'objectif est d'identifier et d'engager des actions dès 2016.

4.2- L'approche « Smart grids » (réseaux électriques intelligents)

Les « Smart Grids », ou réseaux de distribution d'électricité intelligents, utilisent des technologies informatiques et de mesure en temps réel pour optimiser la production, la distribution et la consommation d'électricité. L'objectif est d'améliorer l'efficacité énergétique de l'ensemble. Ils permettent notamment de lisser les pointes de consommation qui sont les plus coûteuses, de sécuriser le réseau et d'en réduire le coût.

4.2.1- Tous les acteurs sont engagés.

SNCF a mis en place un **programme de recherche et d'innovation sur la thématique des « Smart Grids »** visant à élaborer des solutions et méthodes de développement novatrices pour le pilotage des différents flux énergétiques, et ainsi optimiser :

- les réseaux électriques de transport, de distribution et ferroviaire grâce au stockage,
- le coût de l'énergie pour l'ensemble des consommateurs,
- la réduction des pertes en lignes des réseaux électriques,
- l'efficacité du système ferroviaire en valorisant l'énergie de freinage.

Cette approche de « hub énergétique ferroviaire » est déclinée sur deux principaux périmètres d'étude : les gares et l'alimentation électrique des trains.

ALSTOM travaille également en partenariat avec des organisations majeures à l'intégration d'éléments des réseaux intelligents «Smart Grids» dans les systèmes ferroviaires.

La RATP quant à elle participe à l'institut de R&D pour la transition énergétique de la ville EFFICACITY et pilote son programme « Pôle gare hub énergétique », visant à développer des outils de conception et de pilotage d'une gare optimisée sur le plan énergétique tout en la connectant au quartier environnant.

4.2.2- Des outils se développent, des prototypes sont déployés.

La réduction de la consommation électrique passe nécessairement par une compréhension plus fine du bilan énergétique et de ses facteurs d'influence en fonction des paramètres d'activité (matériel, parcours...). A partir des données de consommation collectées, il est en effet possible d'associer un profil de consommation à chaque rame, gare ou ligne et de déterminer les éléments expliquant l'évolution de cette consommation. L'étude de ces facteurs permet ainsi de mieux contrôler et facturer l'électricité réellement consommée, et d'identifier les leviers à actionner dans une démarche d'économie d'énergie.

La SNCF déploie entre autres les projets suivants avec ses partenaires, qui s'ajoutent aux initiatives décrites ci-dessus :

Logiciels applicatifs	Des travaux de recherche ont été menés sur le dimensionnement du Smart Grid ferroviaire au service de l'exploitation des trains. Ils ont donné lieu à plusieurs thèses et ont permis d'engager en 2015 le développement de logiciels applicatifs . Ces études ouvrent la perspective d'intégrer au système ferroviaire de nouvelles technologies optimisées, en vue de rationaliser les investissements nécessaires dans les années à venir.
Installation industrielle de stockage électrique	A ce titre, à partir des études conduites en 2015, une première installation industrielle de stockage électrique devrait être déployée en 2017 au niveau de la gare de Sarcelles Saint-Brice. Ce système devrait permettre de doter une partie du système ferroviaire (signalisation, gare) d'une flexibilité permettant de tester différents scénarios d'efficacité énergétique.
Récupération d'énergie de freinage	Au même horizon, la récupération d'énergie de freinage sous courant continu au travers la mise en place d'un démonstrateur sur le RER C au niveau de la gare de bibliothèque François Mitterrand devrait également permettre d'accroître la performance énergétique du matériel roulant.

4.2.3- Un engagement européen des acteurs.

Par ailleurs, SNCF, la RATP et Alstom participent ou ont participé à d'importants programmes de recherche visant à développer une gestion intelligente de l'énergie dans les systèmes ferroviaires :

IN2RAIL	54 partenaires dont la SNCF et Alstom	Ce programme financé à hauteur de 18 M€ par la structure européenne Shift2Rail, se déroulant de mai 2015 à avril 2018, travaille notamment sur les infrastructures intelligentes, le management intelligent de la mobilité, et la gestion de la fourniture en énergie du rail (comptage intelligent du Système Ferroviaire).
Osiris	17 partenaires dont RATP et Alstom	Ce programme entamé en janvier 2014 et clos en mars 2015, financé par l'Union européenne, visait à développer des technologies permettant des économies de CO2 et d'énergie dans le transport urbain, par exemple des solutions de centre énergétique (« <i>energy hub</i> »).
Merlin	19 partenaires dont Alstom	Ce programme, s'étant déroulé d'octobre 2012 à septembre 2015, bénéficiant d'un budget de 7 M€ financé majoritairement par l'Union Européenne, visait à démontrer la viabilité d'un système de management intégré pour parvenir à un usage de l'énergie optimisé et durable sur le réseau ferroviaire européen. Il s'agissait de développer des solutions de gestion de trafic efficaces sur le plan énergétique et notamment une nouvelle génération de sous-stations pour la grande vitesse (avec SNCF).

Enfin, les progrès technologiques doivent également s'accompagner d'une forte présence sur le terrain normatif, afin de participer à l'élaboration des standards européens qui régiront le secteur.

Les industriels ferroviaires sont donc très impliqués dans le développement des normes relatives à la mesure d'énergie au plan européen et international. Ainsi la série des normes EN 50463 relative à la mesure d'énergie embarquée à bord des trains publiée en 2013 constitue le principal référentiel pour la conformité aux exigences correspondantes des spécifications techniques d'interopérabilité. Cette série est actuellement en cours de reprise comme norme internationale par la Commission électrotechnique internationale (IEC). La normalisation de ces équipements permet de donner une base reconnue et fiable pour les clients et de favoriser l'harmonisation des marchés pour les fournisseurs, capables ainsi d'offrir des solutions standards toujours moins coûteuses.

4.3- Agir sur les modes d'exploitation.

4.3.1- Automatisation et éco-conduite

La filière développe ainsi des modes d'exploitations écoresponsables, grâce à l'éco-conduite et à la mise en **place de compteurs et d'outils d'assistance au conducteur** intelligents :

- pour le TGV, SNCF a intégré un module d'éco-conduite dans l'outil informatique des conducteurs. Ce logiciel fournit au conducteur une vitesse conseillée permettant de maîtriser sa consommation énergétique tout en assurant la ponctualité du train. Ce nouvel outil, en test depuis plus d'un an, est déployé sur l'ensemble de la flotte TGV en 2015. Les économies attendues devraient être de l'ordre de 5 à 10%. Le groupe Faiveley fournit en outre à la SNCF un système de compteur d'énergie embarqué qui permet à l'opérateur d'analyser les profils de conduite de ses agents et de mettre en place des mesures d'éco-conduite susceptible de réduire les consommations d'énergie jusqu'à 15 %.
- Alstom a développé des outils d'éco-conduite et des solutions de contrôle automatique des rames pour les métros tel que URBALIS™ Fluence, en optimisant l'utilisation de la marche sur l'erre, la régénération d'énergie au freinage, et la synchronisation des flottes.

- Pour les lignes automatisées, la RATP intègre dans les logiciels de conduite des objectifs d'optimisation énergétique (marche sur l'erre en heure creuse). Les lignes de métro 1 et 14 utilisent désormais un logiciel de conduite qui pilote les trains en marche économique pendant les heures creuses de façon à améliorer la synchronisation des départs et arrivées en station pour favoriser la récupération d'énergie.
- Un logiciel est en cours d'installation dans toutes les locomotives du Groupe Eurotunnel pour fournir au conducteur en temps réel son avance par rapport à l'horaire théorique prévu afin d'ajuster la vitesse du convoi, ce qui permet d'optimiser finement sa consommation d'énergie de traction. Des formations à l'éco-conduite sont également dispensées sur la conduite douce,

4.3.2- Autres systèmes d'automatisation permettant des économies d'énergie

D'autres systèmes d'exploitation automatisés permettent une économie d'énergie et une optimisation des ressources. La RATP a développé **MARCADET**, un logiciel de simulation innovant permettant de dimensionner des infrastructures électriques au plus proche des besoins et en intégrant des objectifs d'optimisation énergétique. Dédié aux réseaux urbains et interurbains alimentés en courant continu, il a été développé à partir des expertises et retours d'expériences de l'exploitation et de la maintenance du réseau RATP (métro, RER et tramways).

Enfin pour les TGV, la SNCF a développé la réduction des consommations d'énergies des rames en stationnement, ainsi qu'il est indiqué en paragraphe 2.1.2.

4.3.3- Organisation des activités : le fret.

Les efforts sont également poursuivis dans le secteur du fret. Ainsi, au cours des dernières années :

- SNCF a réussi à réduire significativement son empreinte carbone (empreinte dite spécifique, rapportée à la tonne.kilomètre). Cette politique, mise en œuvre par Fret SNCF, se poursuit. Cela se traduit notamment par l'industrialisation de la production (massification des trains, optimisation des parcours, allongement des trains y compris à terme trains doubles), et par une conception visant à privilégier la traction électrique (par rapport à la traction thermique). Ceci constitue un marqueur fort de Fret SNCF qui se situe nettement au-dessus de la moyenne du secteur en réalisant déjà 90% des tonnes.kilomètres transportées en traction électrique.
- Colas Rail a conçu EcoRail®, un outil de calcul adapté aux métiers du ferroviaire qui permet de valoriser des éco-variantes concernant la mobilisation de moyens ferroviaires pour un chantier. Cet outil est disponible sur internet gratuitement.

5- Convaincre : une mobilisation générale pour les atouts du mode ferré.

Produire à faible consommation d'énergie ne suffit pas. Il faut également faire décroître la part des modes polluants. La lutte contre le réchauffement climatique et la maîtrise de l'énergie poussent tous les acteurs à rechercher un transfert modal vers les modes électriques et économes en énergie, c'est-à-dire les modes ferrés.

Les acteurs de la filière encouragent résolument la prise de conscience citoyenne pour **un report modal vers les modes économes en énergie et plus respectueux de l'environnement**, dont le

chemin de fer est la colonne vertébrale. Les initiatives pour cette intermodalité vertueuse sont nombreuses et on ne compte plus les interventions ou initiatives des membres de la filière.

L'amélioration de l'information voyageurs, de la billettique, de l'intermodalité sont des chantiers de long terme qui associent tous les membres de la filière en France et à l'étranger. Ceci dépasse le cadre de 2015.

Chaque année, la **Semaine Européenne de la Mobilité** est une campagne de sensibilisation du grand public qui valorise l'usage des pratiques de transports durables et responsables. Le principe est de communiquer vers le public en fédérant les différents acteurs de la mobilité - autorités organisatrices de transport, collectivités locales, entreprises exploitant des réseaux de transport, établissements scolaires, associations, entreprises, DDE... - pour une action collective en faveur du développement d'une mobilité durable et responsable.

5.1- COP21 : Une initiative de filière pour démontrer le rôle vital du rail.

Face à une expression des modes routiers attendue comme extrêmement offensive, la présence du mode ferroviaire a été essentielle à l'occasion de la 21ème conférence des Nations Unies sur les changements climatiques « Paris Climat 2015 » :

- d'une part, les entreprises de la filière (SNCF, RATP, industries, Autorités organisatrices) ont pris des initiatives dès avant la conférence de Paris (colloques, débats, manifestations) ;
- d'autre part, l'initiative des « trains to Paris » de l'Union Internationale des Chemins de Fer a marqué les esprits.

Enfin, Fer de France a organisé du jeudi 3 décembre 2015 au mercredi 9 décembre 2015 au sein de La Galerie des solutions une série de **Matinales de débats** sur la thématique de l'impact des transports collectifs et du ferroviaire dans la transition énergétique.

L'idée a été d'inviter des leaders d'opinion d'envergure internationale afin d'exprimer leur vision des enjeux, et pour faire réagir des dirigeants de premier plan de la filière ferroviaire.

Le retour attendu de cet événement pour les promoteurs du ferroviaire était d'augmenter la prise de conscience de l'importance du secteur dans la problématique générale de l'énergie et du climat. 3 messages clefs ont ainsi été délivrés :

1. **Affirmer que les transports sont un élément central du débat** et doivent être entendus. Démontrer le rôle des transports urbains et interurbains,
2. Au sein des transports, **affirmer la place et l'avenir du ferroviaire**, ne pas laisser accaparer le débat au seul mode routier, extrêmement pro-actif,
3. **Démontrer la maîtrise et l'engagement des acteurs français** sur le marché national, mais aussi à l'échelle mondiale aux côtés des pays tiers pour des solutions multimodales donnant au ferroviaire toute sa place.

3 décembre 2015		<p>Est-ce que nous avons encore besoin de transports collectifs avec les smart-cities et la mobilité connectée ?</p> <p>Invité : Pierre Guislain, Senior Director transports et IT à la Banque Mondiale</p> <p>Autres intervenants : Elisabeth Borne, PDG de RATP, Jean-Pierre Loubinoux, DG de l'UIC</p>
-----------------	---	---

7 décembre 2015		Mobilité durable d'ici 2030 : quels modèles pour le transport ferroviaire ? , Invité : Julio Gómez-Pomar , Secrétaire d'Etat espagnol aux infrastructures et aux transports Autres intervenants : Henri Poupart-Lafarge , Vice-Président exécutif d'Alstom, et Jean-Pierre Farandou , Président de l'UTP
8 décembre 2015		Comment les transports publics contribuent-ils au développement durable et sociétal des villes ? Invité : Aníbal Gaviria Correa , Maire de Medellín Autre intervenant : Jean-Marc Janailac , Président directeur général de Transdev
9 décembre 2015		Est-ce que nous pouvons développer des villes et des régions sans transports collectifs ? Invité : Jon Lamonte , Directeur de l'autorité publique Transport for Greater Manchester Autres intervenants : Nicolas Jachiet , Président de Fer de France et Louis Nègre , Sénateur des Alpes-Maritimes, Président du GART
		Les Matinales étaient animées par Sasha Twining , journaliste et animatrice anglophone de renommée internationale

Un plan de communication a été organisé, qui a consisté :

- À informer de l'événement un millier de journalistes français et internationaux dès le mois de septembre ;
- À filmer les débats pour retransmission sur Internet et mise en ligne *a posteriori* de versions raccourcies sous-titrées. Ces vidéos sont disponibles sur le site de Fer de France www.ferdefrance.fr. Ces films seront utilisés en 2016, jusqu'au salon Innotrans de septembre ;
- A relayer l'événement par 2 lettres business, Contexte (France) et Euractiv (Europe) en amont de l'événement, puis début 2016.

5.2- Vers la « Proximobilité » : une initiative de la SNCF pour éclairer les choix.

En marge des travaux pour la conférence de Paris pour le climat, la SNCF a décidé de lancer un important travail de réflexion pour caractériser les choix possibles pour l'avenir et les inscrire dans un cadre décisionnel plus large. Elle a donc diligenté en 2015 puis présenté **une réflexion approfondie, sur les évolutions possibles de la mobilité des personnes en France à l'horizon 2050 et leurs impacts environnementaux comparés.**

Cette étude s'appuie sur les réflexions d'experts français et internationaux ainsi que sur les résultats d'une enquête menée par l'IFOP à l'été 2015 auprès de 1800 personnes. A partir d'hypothèses identiques d'évolutions de l'économie, de la démographie et de la technologie, l'étude a dégagé 3 futurs possibles, fonction des évolutions de la demande de mobilité et de l'offre de transport. La réalisation de l'un ou l'autre de ces scénarios dépend des choix collectifs et individuels qui viendront accentuer les tendances de mobilité observées actuellement.

Parmi les 3 scénarios étudiés, **un seul, celui dénommé de « Proximobilité » permet d'atteindre l'objectif national de réduction par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon de 2050.**

Compte tenu des coûts réels des différents modes de transport, dont les caractéristiques comparées ont été rappelées en première partie de ce rapport, ce scénario permet d'économiser près de 100 milliards d'euros par an par rapport à la situation actuelle et aux autres scénarios.

- Il suppose que soit établi progressivement un système « altermobile » en France, notamment pour résoudre le handicap du dernier kilomètre, et que les logiques de déploiement urbain et de choix résidentiel aient profondément évolué à cet horizon, sous l'impulsion notamment de l'aspiration à une vie plus ancrée dans l'environnement local.
- Les espaces urbains et péri-urbains sont densifiés intelligemment, mouvement favorisé par un code de l'urbanisme et un droit foncier en évolution. Dans ce contexte d'urbanité nouvelle les transports actifs, (marche et vélo) et partagés gagnent en attractivité et en efficacité, pour rattraper les niveaux observés dès aujourd'hui dans certains pays d'Europe du Nord, soit un doublement par rapport à la situation française. Pour les trajets principaux ou les longues distances, la préférence va vers les modes qui valorisent le temps de voyage, privilégiant ainsi clairement le train.

De telles études venant de la profession et associant les plus grands experts sont indispensables pour ancrer les raisonnements de mobilité dans le moyen et le long terme et contribuer à faire prendre collectivement les décisions urgentes qui permettront d'éviter des impasses écologiques irréversibles.

Elles renforcent la conviction que les efforts fait dès maintenant et rappelés ci-avant s'inscrivent dans une logique de compétitivité globale du mode, vertueuse et indispensable, qui dépasse les bornes de chacun des métiers pris isolément et de la rentabilité de court terme.

oOo